



УДК 332.3:504.064.37
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-434-449
EDN GHONWD

Опыт изучения динамики землепользования на основе геосистемного подхода на примере Новогрудской возвышенности Беларуси

Червань А.Н., Кислицын Д.А.

Белорусский государственный университет
Беларусь, 220030, г. Минск, пр. Независимости, 4
chervanalex@mail.ru, dimas_13082000@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается типологический учет изменений динамики структуры землепользования с использованием геосистем в качестве единиц геостатистического анализа. Определены устойчивые тренды изменения площади видов земель, соизмеримые с генетическими и морфологическими особенностями геосистем на примере Новогрудской возвышенности в качестве крупного физико-географического района с использованием ГИС-технологий и дистанционных данных мультиспектральной съемки. Результаты картометрического анализа структуры почвенного покрова геосистем, сопоставленные с трендами изменения площадей видов земель, позволили дополнительно обосновать как направление, так и интенсивность динамики природопользования на примере территории Новогрудской возвышенности.

Ключевые слова: геосистемы, виды земель, автоматизированное дешифрирование, структура почвенного покрова, геоинформационный анализ

Для цитирования: Червань А.Н., Кислицын Д.А. 2025. Опыт изучения динамики землепользования на основе геосистемного подхода на примере Новогрудской возвышенности Беларуси. Региональные геосистемы, 49(3): 434–449. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-434-449
EDN: GHONWD

Studying Land Use Dynamics under the Geosystem Approach on the Example of the Belarus Novogrudok Upland

Alexander N. Chervan, Dmitry A. Kislitsyn

Belarusian State University
4 Nezavisimosti Ave, Minsk 220030, Belarus
chervanalex@mail.ru, dimas_13082000@mail.ru

Abstract. The article is focused on typological recording of changes in the land use structure dynamics using geosystems as geostatistical analysis units. Stable trends in the land type area changes commensurate with the genetic and morphological features of geosystems are determined at the example of the Novogrudok Upland as a large physical-geographical region, using GIS technologies and remote sensing multispectral survey data. The land type structure dynamics for the period from 1999 to 2023 is presented. Digital soil maps of agricultural organizations (scale 1:10000) and administrative districts (scale 1:50000), as well as the FABDEM (digital elevation model) were used to identify geosystems within the Novogrudok Upland, based on comprehensive records of orographic, geomorphological, hypsometric, and lithological criteria according to a hierarchical scheme for grouping geosystems. The results of the cartometric analysis of the geosystem soil cover structure compared with the trends in the land type area changes made it possible to additionally substantiate the direction and intensity of the nature management dynamics in the region under study.

Keywords: geosystems, land types, automated interpretation, structure of soil cover, geoinformation analysis

For citation: Chervan A.N., Kislitsyn D.A. 2025. Studying Land Use Dynamics under the Geosystem Approach on the Example of the Belarus Novogrudok Upland. Regional Geosystems, 49(3): 434–449 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-434-449 EDN: GHONWD

Введение

Геосистемный подход к учету и оценке почвенных и земельных ресурсов является методологической основой территориального планирования на разных административных или хозяйственных уровнях. Комплексное изучение почвенно-земельных ресурсов реализуется в рассмотрении почвы и почвенного покрова как биокосной географической системы – геосистемы [Арманд, 1988]. Исследование трендов изменения структуры землепользования в границах закономерно организованных природных единиц позволяет принимать управленческие решения хозяйственного использования, адекватные природно-ресурсному потенциалу. Оперативный пространственный анализ актуальных данных землепользования и ретроспективный учет структуры видов земель целесообразно выполнять с использованием ГИС-технологий геообработки векторных и растровых, в том числе данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) [Непоклонов и др., 2020; Артемьева, Алифанов, 2024].

Использование технологий автоматизированного дешифрирования ДДЗЗ позволяет существенно снизить трудоемкость картографирования структуры и динамики земельных ресурсов [Скачкова, Курлович, 2022; Costa et al., 2022]. Сочетание объектно-ориентированного подхода и контролируемой классификации при обработке снимков *PlanetScope*, *Sentinel-2*, *Sentinel-1*, а также анализ текстуры и сегментация изображений позволяют комплексно учесть мультиспектральные и радиолокационные данные [Vizzari, 2022]. Постклассификационная обработка повышает точность результатов автоматизированного дешифрирования за счет проведения генерализации и применения маскирования для отдельных классов объектов [Dash et al., 2023], а также путем применения дополнительной информации, включая цифровые модели рельефа [Ye et al., 2021; Wasniewski et al., 2023].

Структура землепользования, соизмеряемая со структурой почвенного покрова (СПП), дает основания для выявления устойчивых трендов, обусловленных изменением потенциала почвенных и земельных ресурсов. Оценка пространственно-временной динамики различных классов земельного покрова и прогнозирование вероятных изменений могут проводиться на основе комплексного анализа результатов дешифрирования ДДЗЗ [Зарубин и др., 2020; Воробьев и др., 2023], а применение информации о цифровых моделях рельефа позволяет определить подверженность почв сельскохозяйственных земель процессам водной эрозии [Синельникова и др., 2023; Кузнецова и др., 2024]. Анализ особенностей распределения индекса *NDVI* является перспективным направлением для мониторинга сельскохозяйственных земель [Пинясова, Павлова, 2024]. На основе разновременных космических снимков *Sentinel-2* за вегетационный сезон по *NDVI* возможно достоверно дифференцировать используемые и неиспользуемые участки, а также пары [Wang et al., 2020; Васильченко, 2024]. Спектральные индексы активно применяются для оценки динамики уровня вегетации растительности в ландшафтах [Гусев, 2022], а также для изучения процессов изменения площади лесопокрываемых территорий [Lin et al., 2020] и картографирования структуры землепользования [Silva et al., 2020]. Использование результатов комплексной обработки ДДЗЗ демонстрирует высокую эффективность при проведении экологического мониторинга мелиорированных земель и определении различных видов деградации почв [Шаповалов и др., 2023], а также при оценке лесистости овражно-балочных систем [Терехин, 2024].

Репрезентативность Новогрудской возвышенности относительно структуры и динамики землепользования обусловлена существенной площадью территории и особенностями пространственной дифференциации почвенного покрова и природных условий, учитываемых при выделении и анализе различных геосистем. Данный физико-географический район относится к юго-западному округу Белорусской гряды Западно-Белорусской физико-географической провинции, в пределах которого представлены практически все виды земель (кроме залежных), которые встречаются на территории Беларуси [Реестр земельных ресурсов..., 2024]. Особенности вертикального и горизонтального расчленения рельефа Новогрудской возвышенности обуславливают значительное распространение дерново-подзолистых почв (включая эродированные) с одновременным развитием других генетических типов почв, характеризующихся большим разнообразием как по гранулометрическому составу, так и по степени увлажнения. Пространственный анализ динамики структуры землепользования в границах природных систем, идентифицированных по СПП, дает возможность осуществлять превентивное планирование противодеградационных мероприятий [Червань и др., 2022], например, относительно проявления водной эрозии почв или ухудшения культуртехнического состояния сельскохозяйственных земель.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на территории Новогрудской возвышенности общей площадью 485193 га, значительно превышающей площадь административного района (например, Новогрудского – 167626 га [Реестр земельных ресурсов..., 2024]), и репрезентативной для учета и оценки динамики земель. Данный физико-географический район расположен преимущественно в пределах Новогрудского, Дятловского и Кореличского районов Гродненской области Республики Беларусь, а также в центральной и в северной частях Барановичского района Брестской области, небольшой участок возвышенности приурочен к северо-востоку Слонимского района Гродненской области.

Уточнение границы Новогрудской возвышенности проведено на основе использования геосистемного подхода, учитывающего результаты крупномасштабного (М 1:10 000) анализа почвенного покрова и рельефа. Значительная часть границы физико-географического района проходит вдоль пойменных участков таких рек, как Неман, Щара, Исса, Уша, так как крупные пойменные геосистемы, расположенные на окраине возвышенности, относятся по природным условиям к другим районам. В западной и южной частях Новогрудской возвышенности уточненная граница соответствует переходу к равнинным формам рельефа.

Технологии геоинформационного анализа данных и цифровой обработки космических снимков, а также картографический, статистический и сравнительный методы использованы для учета и оценки землепользования за два периода с общей продолжительностью 24 года: с 1999 по 2010 год и с 2010 по 2023 год. Многозональные космические снимки *Landsat-5* (даты съемки: 08.05.1999 и 22.05.2010) и *Sentinel-2* (01.05.2023), которые имеют уровень обработки *Collection 2 Level 2* и *L2A*, использованы в качестве исходных ДДЗЗ. Вычисление минимальных значений индекса *NDVI* за вегетационный период проведено на основе дополнительной обработки снимков *Landsat-5* за 23.10.1999, 04.10.2010 и 06.10.2010, а также двух снимков *Sentinel-2* за 11.05.2021 и 28.09.2023. Это необходимо для повышения степени достоверности при идентификации пахотных земель, которые имеют более низкие минимальные значения индекса *NDVI* за период с начала мая по конец октября, чем луговые земли.

Автоматизированное дешифрирование космических снимков *Landsat-5* и *Sentinel-2* методом максимального правдоподобия выполнено в ArcGIS 10.7 для выделения 6 видов земель: пахотные, луговые, лесные, под древесно-кустарниковой растительностью (ДКР),

под водными объектами, под болотами. В отдельный класс объектов объединены земли под застройкой, земли общего пользования и другие техногенные территории. На основе пространственных данных открытых геопорталов (*OpenStreetMap* [2025] и др.) проведено картографирование небольших сельских населенных пунктов, которые затруднительно определить по результатам обработки данных *Landsat-5* с пространственным разрешением 30 м. Генерализация результатов контролируемой классификации и автоматическая векторизация выполнены путем применения функций «*Spatial Analyst*» и «Конвертация», что необходимо для агрегации небольших контуров, которые имеют площадь менее 8 и 20 пикселей для снимков *Landsat-5* и *Sentinel-2* соответственно.

Глобальная цифровая модель рельефа (ЦМР) *FABDEM Copernicus GLO 30 DEM* [FABDEM V1-2..., 2023] использована для расчета уклона и вертикального расчленения. Достаточно высокая точность данных о рельефе (по высоте оценивается в диапазоне от 1,12 до 2,88 м, а для лесных земель – до 5 м) позволяет выполнить картографирование в более крупном масштабе по сравнению с другими общедоступными ЦМР [Шихов, Абдулин, 2024]. Повышение точности результатов дешифрирования выполнено на основе сочетания статистических данных о морфометрии рельефа и вегетационном индексе *NDVI* в пределах каждого контура с помощью инструмента «Зональная статистика в таблицу» в *ArcGIS 10.7*.

По результатам контролируемой классификации космического снимка *Sentinel-2* контуры земель под болотами со средними значениями уклона рельефа более $0,6^\circ$, расположенные внутри лесных массивов, отнесены к лесным землям. Для космических снимков *Landsat-5* для более достоверной дифференциации земель под болотами от луговых земель, которые на переувлажненных участках имеют схожие спектральные характеристики, использованы значения уклона рельефа, которые для болот в среднем не превышают $0,6^\circ$ [Кислицын, Клебанович, 2024]. Пахотные земли выделяются минимальными значениями *NDVI* за вегетационный период по сравнению с луговыми землями, для которых *NDVI* в среднем превышает 0,28 и 0,45 на основе снимков *Landsat-5* и *Sentinel-2* соответственно, что связано с различиями в датах съемки и особенностями съемочных систем. К лесным землям в результате переклассификации отнесены контуры земель под ДКР со средними значениями уклона рельефа менее $0,7^\circ$ и максимальными значениями данного показателя до $1,5^\circ$, что в основном соответствует лесным землям на заболоченных почвах. Если вертикальное расчленение рельефа превышает 15 м/км^2 для небольших участков болот и индекс *NDVI* составляет более 0,3, то данные контуры экспертно отнесены к лесным землям. Контуры луговых земель, которые граничат только с пашней и имеют площадь до 10 га, классифицированы как пахотные. Это способствует учету существенных спектральных различий внутри очень крупных контуров пашни и исправлению ошибочно выделенных внутри них нескольких видов земель. В результате полуавтоматической переклассификации к землям под ДКР отнесены участки лесов с площадью менее 3 га и средними значениями *NDVI* более 0,35, которые граничат с пахотными и луговыми землями, а также контурами, занятыми кустарниковой растительностью. Оценка точности результатов дешифрирования космического снимка *Sentinel-2* за 2023 год проведена на основе векторного слоя «*Land*» из базы данных земельно-информационной системы (ЗИС) Беларуси, содержащего информацию о видах земель.

Цифровые почвенные карты сельскохозяйственных организаций (М 1:10 000) и административных районов (М 1:50 000), а также ЦМР *FABDEM* использованы для идентификации геосистем в пределах Новогрудской возвышенности на основе комплексного учета орографического, геоморфологического, гипсометрического и литологического критериев, согласно иерархической схеме группировки геосистем, учитывающей их наименование и индекс [Романова и др., 2011]. Для каждой геосистемы геостатистическими методами в *ArcGIS 10.7* выполнен расчет удельного веса видов земель и их групп за 1999, 2010 и 2023 годы. Из общего числа геосистем Новогрудской возвышенности (54), около 95 % занимают 20, среди которых 16 относятся к водораз-



дельным пространствам (водоразделам). Для определения трендов изменения площади сельскохозяйственных, лесных земель и земель под ДКР в 20 основных геосистемах использованы нормированные проценты, рассчитанные по формуле:

$$Y = ((\frac{x_2}{x_1} \cdot 100) - 100) \cdot x_2,$$

где Y – нормированный процент изменения вида земель за определенный период, x_1 – удельный вес вида земель в начале периода, x_2 – удельный вес вида земель в конце периода.

Определение устойчивости тенденций выполнено путем сопоставления нормированных процентов со среднеквадратическим отклонением для каждого из периодов.

Результаты и их обсуждение

Высокий уровень сельскохозяйственной освоенности территории Новогрудской возвышенности (около 49–51 % при республиканском 38,7 %) обусловлен широким распространением более плодородных суглинистых и супесчаных почв на лессовидных и моренных отложениях. В таблице 1 представлена динамика структуры видов земель Новогрудской возвышенности за период с 1999 по 2023 год. Увеличение удельного веса лесных земель связано с переводом наиболее крупных контуров под ДКР в состав лесов, а также с процессами лесовосстановления на участках, на которых ранее были проведены вырубki. За исследуемый период наблюдается двукратный рост площади земель под ДКР из-за заращения небольших контуров малопродуктивных естественных луговых земель кустарниковой растительностью.

На основе цифровой обработки разновременных космических снимков выявлено незначительное снижение сельскохозяйственной освоенности исследуемой территории (от 54,8 % до 51,0 % за 1999 и 2023 год соответственно). Площадь луговых земель в 2023 году составляет 76 % от аналогичного показателя за 1999 год, что обусловлено переводом наиболее продуктивных участков в состав пашни (преимущественно после 2010 года), а также ростом удельного веса земель под ДКР и лесных массивов. За период с 1999 по 2010 год произошло сокращение площади пахотных земель из-за перевода небольших наименее продуктивных участков пашни в состав улучшенных луговых земель. Увеличение удельного веса пахотных земель произошло после 2010 года и в основном характерно для территории Барановичского и Кореличского районов, которые характеризуются более высоким бонитетом почв.

Земли под болотами представлены фрагментарно на территории Новогрудской возвышенности и расположены в пределах небольших плоских понижений рельефа, реже на участках пойм рек, удельный вес данного вида земель снизился от 1,08 % до 0,78 %. Увеличение площади городской застройки в окрестностях Барановичей, Новогрудка и Дятлово привело к росту удельного веса земель под застройкой, общего пользования, других земель (от 7,84 % до 8,90 % за 24-летний период). Сопоставление удельного веса видов земель за 2023 год проведено для данных, полученных на основе автоматизированного дешифрирования космического снимка *Sentinel-2*, и векторного слоя *Land* из ЗИС.

Оценка точности дешифрирования проведена на основе 975 произвольно расположенных точек, количество которых пропорционально удельному весу вида земель и составляет 81,6 % (табл. 1). Наибольшие значения пользовательской точности характерны для лесных земель и под водными объектами – 90,0 % и более, также высокая степень достоверности характерна для пахотных земель и под застройкой (78,5 % и 84,1 % соответственно). Отдельные контуры улучшенных луговых земель, которые перепахивались в 2021–2023 годах, были отнесены к пахотным, что обуславливает различия с данными ЗИС. Простран-

ственное разрешение космических снимков *Landsat-5* и *Sentinel-2* позволяет идентифицировать крупные участки кустарниковой растительности, но контуры с площадью до 0,3–0,5 га не были определены по результатам контролируемой классификации. Часть участков, на которых проводятся лесовосстановительные мероприятия или расположены заболоченные леса, при дешифрировании отнесены к землям под ДКР, что снижает пользовательскую точность для данного вида земель до 53,1 %. Пространственная достоверность определения земель под болотами невысока (около 50,0 %), несмотря на сопоставимые результаты при сравнении удельного веса, что связано с идентичными спектральными характеристиками и значениями индекса *NDVI*, как и для части контуров луговых заболоченных земель. На основе контролируемой классификации космических снимков выделение водотоков затруднительно (за исключением рек с широким руслом). Поэтому по итогам дешифрирования к землям под водными объектами отнесены в основном водоемы, занимающие небольшие площади в пределах Новогрудской возвышенности.

Таблица 1
Table 1

Динамика структуры видов земель Новогрудской возвышенности
за период с 1999 по 2023 год и оценка точности
Dynamics of Novogrudok Upland land type structure from 1999 to 2023 and accuracy assessment

Вид земель	Удельный вес по ДДЗЗ, %			Удельный вес от общей площади по данным ЗИС, %	Пользовательская точность, %
	1999 год	2010 год	2023 год		
Пахотные	38,23	37,46	38,40	35,87	78,5
Луговые	16,56	15,43	12,56	13,33	62,6
Лесные	34,25	35,18	35,52	35,58	94,7
Под древесно-кустарниковой растительностью	1,72	1,97	3,52	4,25	53,1
Под водными объектами	0,31	0,40	0,33	1,05	90,0
Под болотами	1,08	0,95	0,78	0,78	50,0
Под застройкой, общего пользования, другие земли	7,84	8,62	8,90	9,14	84,1

Типологический учет изменений динамики структуры землепользования предполагает использование геосистем в качестве единиц геостатистического анализа. Идентифицированные по почвенным комбинациям геосистемы, закономерно организованные в пространстве, позволяют диагностировать устойчивые тренды изменений площадей по видам земель в границах крупных физико-географических или административно-территориальных единиц.

Пространственное распределение видов земель существенно дифференцировано в пределах исследуемой территории. Лесные массивы сконцентрированы на северо-западе Новогрудской возвышенности и приурочены к высоким плоским водоразделам на рыхлых с двучленными без водоупора почвообразующих породах – 1311(2) в соответствии с [Романова и др., 2011], также высокая лесистость исследуемой территории наблюдается в западной и юго-западной частях, где расположены выпуклые высокие (реже низкие) водоразделы на тех же почвообразующих породах – 1211(2), 1221(2). В окрестностях города Барановичи, к северо-западу от гп. Кореличи и к востоку от долины реки Сервечи проявляется преобладание пахотных земель, что связано с высоким баллом кадастровой оценки, а также большими размерами контуров и средней крутизной склонов.

Крупные массивы пахотных земель приурочены к высоким выпуклым и плоским водоразделам на двучленных породах как с водоупором, так и без него (1212(3), 1312(3)), а также к фрагментарным водоразделам, в том числе на суглинистых породах (1113,

1113(4), 1114), где удельный вес пашни достигает 60–70 %. В центральной части Новогрудской возвышенности (в верховьях реки Ятранки, а также к западу и северо-западу от Новогрудка) удельный вес пахотных земель имеет не такие высокие значения (около 40–50 %), что обусловлено особенностями рельефа на высоком выпуклом водоразделе с двучленными на водоупоре породах (1213). Луговые земли занимают гораздо меньшие площади по сравнению с пахотными, при этом наиболее крупные участки лугов расположены в речных долинах Немана и Сервечи, а также в пределах глубокой озеровидной заторфованной депрессии (2226 тн) западнее от нижнего течения реки Уши.

Верховья бассейнов рек Щара, Мышанка и Молчадь характеризуются наличием крупных контуров земель под ДКР, которые также представлены в центральной части исследуемой территории среди массивов сельскохозяйственных земель. К северу от Барановичей расположены наиболее крупные контуры земель под болотами (в пределах торфозаболачивания), которые также сконцентрированы в долине реки Сервечи (рис. 1).



Пространственный анализ структуры землепользования выполнен для 20 основных геосистем Новогрудской возвышенности. Высокой сельскохозяйственной освоенностью (более 60 %) характеризуются 12 геосистем, которые расположены преимущественно в восточной части исследуемой территории, включая две геосистемы пойм (32227 и 32239), имеющие наибольший удельный вес луговых улучшенных земель (62,9–69,1 %) вследствие гидротехнической мелиорации. В пределах центральной поймы выделяется заторфованная геосистема низкого уровня (32239), которая имеет очень низкую долю пахотных земель (5,1 %), что существенно меньше по сравнению с пойменной геосистемой среднего уровня на рыхлом аллювии (32227) – 23,4 %, так как в естественных условиях без искусственного регулирования водного режима на аллювиальных болотных почвах возрастает удельный вес земель под болотами и под ДКР. Для депрессий также характерно преобладание луговых земель, а доля земель под болотами намного выше для глубокой озеровидной заторфованной геосистемы (2226 тн) по сравнению с неглубокой озеровидной депрессией на двухчленных без водоупора породах и торфе (2212 + 6 тн) – 10,3 % и 2,0 % соответственно (рис. 2).

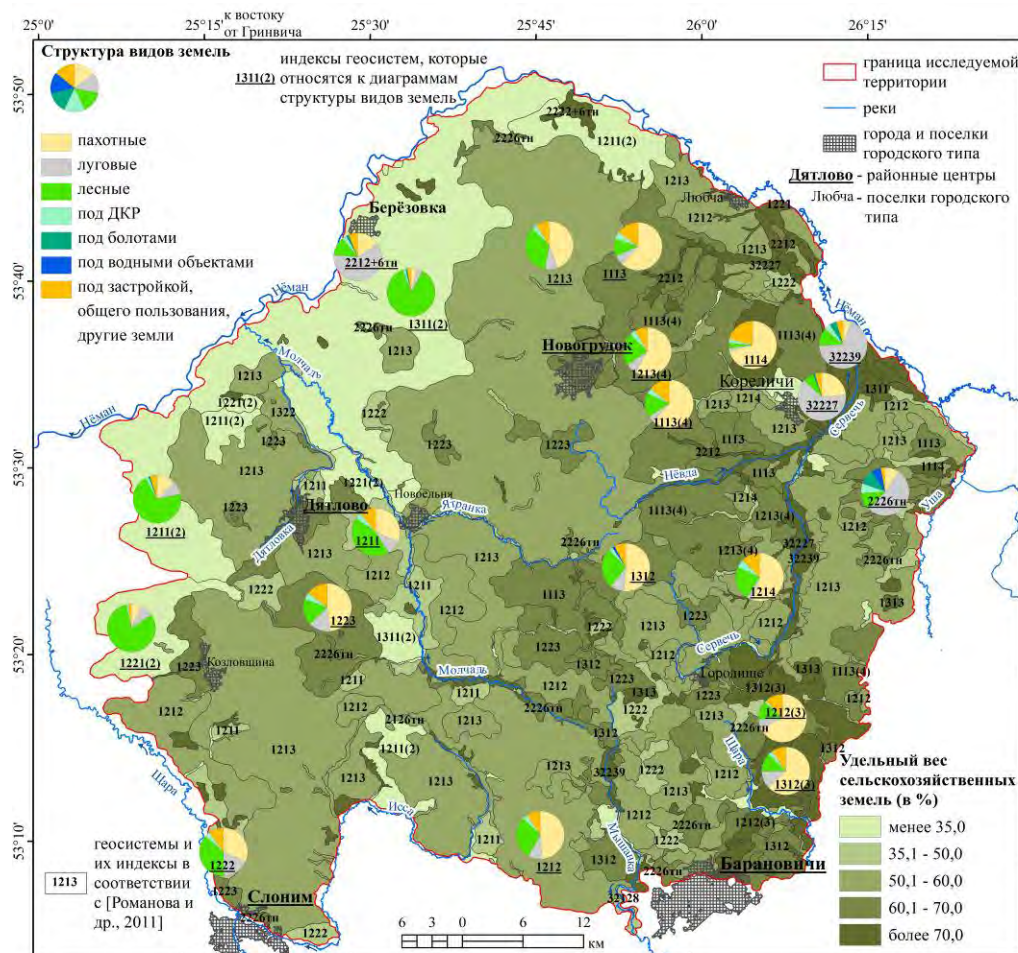


Рис. 2. Структура видов земель и уровень сельскохозяйственной освоенности геосистем Новогрудской возвышенности в 2023 году
Fig. 2. Land type structure and agricultural development level of Novogrudok Upland geosystems in 2023

Фрагментарные высокие водоразделы (1113, 1113(4), 1114) характеризуются низким удельным весом луговых земель (от 6,5 % до 1,5 % на двухчленных с водоупором и суглинистых породах соответственно), и, несмотря на большую сложность почвенного покрова (табл. 2), вследствие высокого уровня плодородия почв распаханы в значитель-

ной степени. Высокие плоские водоразделы (1311(2), 1312, 1312(3)), а также низкие выпуклые (1221(2), 1222, 1223) имеют закономерное проявление роста доли пахотных земель при переходе от рыхлых с двучленными без водоупора породах к двучленным с водоупором. Водоразделы на рыхлых с двучленными без водоупора породах (1211(2), 1221(2), 1311(2)) выделяются максимальной лесистостью (от 70,2 % до 86,5 %), что обусловлено преобладанием песчаных и супесчаных без водоупорного горизонта почв. Земли под ДКР составляют более 4,0 % общей площади в 6 геосистемах, включая 4 водораздела. Наибольший удельный вес от общей площади Новогрудской возвышенности (36,7 %) представлен высоким выпуклым водоразделом на двучленных с водоупором породах (1213), в структуре которого пахотные, лесные и луговые земли составляют 44,1 %, 34,7 % и 8,5 % соответственно.

Заметное увеличение площади земель, занятых лесной и древесно-кустарниковой растительностью, характерно для фрагментарных водоразделов (1113, 1113(4), 1114), а также для высокого выпуклого водораздела на суглинистых породах (1214), что связано с проявлением водной эрозии почв в связи с большими уклонами и распространением лесовидных почвообразующих пород. Площадь сельскохозяйственных земель здесь уменьшилась, особенно за период с 2010 по 2023 год. Высокие плоские водоразделы (1311(2), 1312, 1312(3)) имеют устойчивые тренды роста площади лесных земель и под ДКР и сокращения сельскохозяйственных земель.

Для геосистем водоразделов характерен балансовый контраст между сельскохозяйственными и лесными землями. Выпуклые водоразделы на рыхлых с двучленными без водоупора породах (1211(2), 1221(2)), которые отличаются высоким уровнем лесистости, не имеют выраженных трендов, так как доля пахотных и луговых земель вследствие низкой сельскохозяйственной освоенности слабо изменяется, а площадь лесопокрытых территорий варьируется в зависимости от развития лесных культур и проведения сплошных рубок (рис. 3).

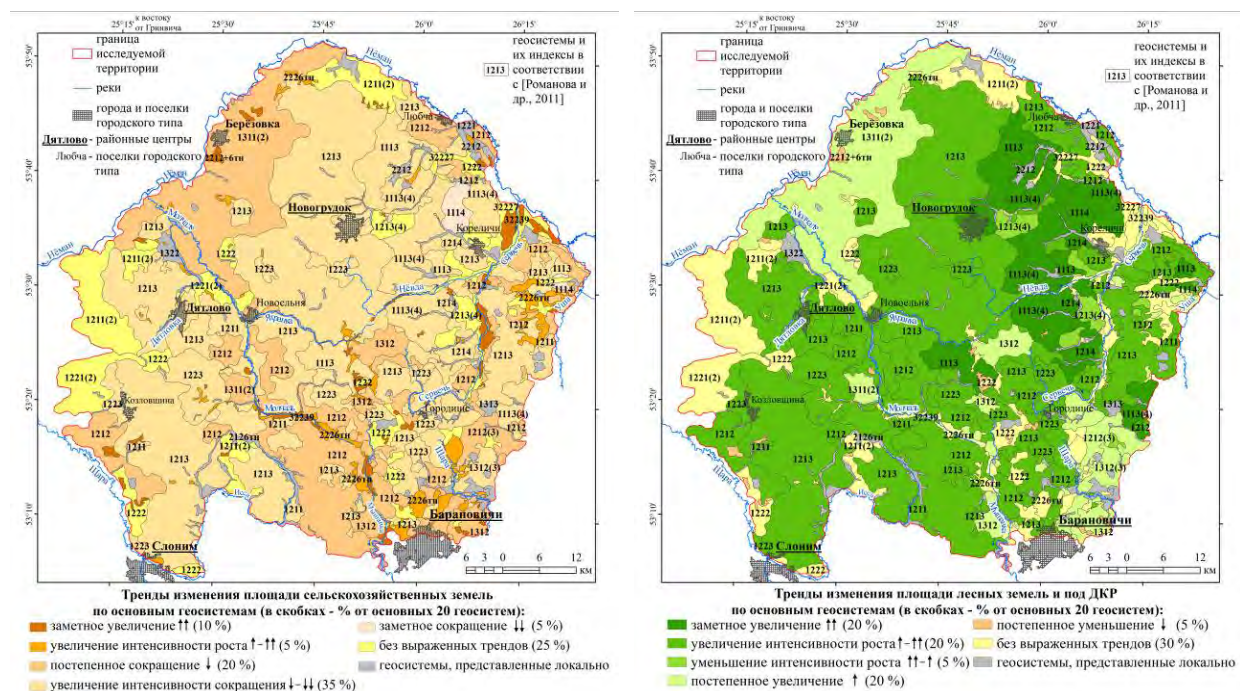


Рис. 3. Тренды изменения площади сельскохозяйственных земель, лесных земель и под древесно-кустарниковой растительностью по основным геосистемам за период с 1999 по 2023 год
Fig. 3. Trends in agricultural land, woodland, and scrubland area changes by major geosystems from 1999 to 2023

Устойчивый рост площади сельскохозяйственных земель наблюдается для депрессий (2212 + 6 тн, 2226 тн) в основном за счет снижения лесистости в 1999–2010 годах вследствие гидротехнической мелиорации, а также увеличения площади луговых земель за период с 2010 по 2023 год. В заторфованных поймах (32239) также происходит активное увеличение доли пахотных земель с 1999 года и луговых с 2010 года. Устойчивый прирост доли лесных земель с 1999 по 2010 год и под ДКР с 2010 года обеспечивается снижением сельскохозяйственной освоенности геосистем на почвообразующих породах с водоупором и легких суглинках (1113, 1213, 1113(4), 1214, 1114).

Выпуклые водоразделы на рыхлых и двучленных без водоупора породах (1211 и 1212) характеризуются увеличением интенсивности роста лесных земель и под ДКР за счет повышения лесистости в Дятловском районе, так как почвенный покров в пределах данных геосистем отличается средним уровнем плодородия, кроме участков к северо-западу от Барановичей. Сельскохозяйственные земли имеют более выраженный тренд к сокращению площади для высокого выпуклого водораздела на двучленных без водоупора породах (1212) по сравнению с аналогичным водоразделом на рыхлых породах (1211) (рис. 4). Это объясняется необходимостью запасов влаги в корнеобитаемом слое сельскохозяйственных культур и соответствующей продуктивной способностью почв.

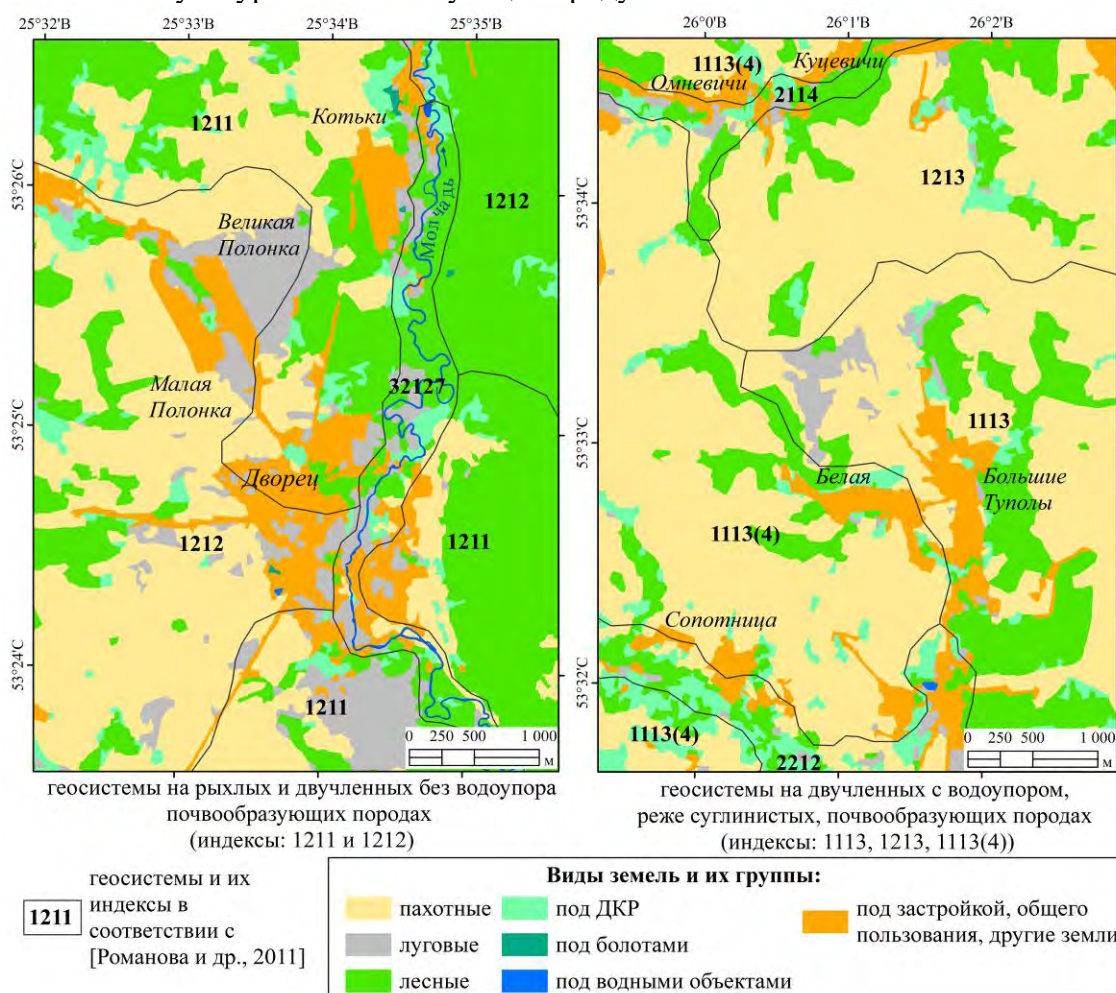


Рис. 4. Типичные геосистемы по трендам изменений сельскохозяйственных земель, лесных земель и под древесно-кустарниковой растительностью за период с 1999 по 2023 год

Fig. 4. Typical geosystems by the trends in agricultural land, woodland, and scrubland changes from 1999 to 2023

Водоразделы на двучленных с водоупором, реже суглинистых, почвообразующих породах (1113, 1113(4), 1213 на рис. 4) выделяются ростом земель под ДКР (особенно по-



сле 2010 года) при малых изменениях уровня лесистости, что вызвано закустаренностью эродированных сельскохозяйственных земель, особенно в нижних частях ложбин стока. В связи с высоким уровнем плодородия почвенного покрова для данных геосистем наблюдается снижение площади луговых земель, а эродированность почв приводит к уменьшению удельного веса пахотных земель.

В целом тренды на сельскохозяйственных землях выявлены для 15 из 20 основных геосистем, по лесным землям и землям под ДКР – 14 из 20, что больше, чем при выявлении тенденций только для земель под ДКР (10 из 20). Для соизмерения трендов изменения структуры землепользования оценивались картометрические показатели СПП геосистем: коэффициенты контрастности, сложности и неоднородности по разработанной ранее методике в ArcGIS 10.7 [Романова и др., 2011; Сазонов, 2020]. Представленные в таблице 2 коэффициенты дифференцированы по 5 группам: от минимальных (min) до максимальных (max) значений, включая промежуточные варианты (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Оценка структуры почвенного покрова геосистем Новогрудской возвышенности
и динамика видов земель за период с 1999 по 2023 год
Assessment of Novogrudok Upland geosystems' soil cover structure
and land type dynamics from 1999 to 2023

Геосистема	Коэффициенты СПП (по группам)			Тренды изменения площади (1999–2023)			
	Контрастности	Сложности	Неоднородности	С.-х.	Луговые	Лесные и под ДКР	Под ДКР
1113	med	med-max	med-max	↓-↓↓	↓	↑↑	↑↑
1113(4)	med	med	med	↓-↓↓	↓	↑↑	↑-↑↑
1114	min-med	min-med	min	↓↓		↑↑	↑↑
1211	med	med-max	med	↓-↓↓		↑-↑↑	↑
1211(2)	med	med	med				
1212	med	med-max	med	↓-↓↓	↓	↑	↑
1212(3)	min-med	med	min-med	↓		↑-↑↑	
1213	med	min-med	min-med	↓-↓↓	↓	↑-↑↑	↑
1213(4)	min-med	med	min-med			↑-↑↑	
1214	min	min-med	min	↓-↓↓		↑-↑↑	↑↑
1221(2)	med-max	min-med	med				↓
1222	max	med-max	max			↓-↓↓	↓-↓↓
1223	med-max	med	med	↓-↓↓	↓-↓↓	↑	
1311(2)	med	min-med	med	↓		↑	
1312	min-med	med-max	min-med	↓		↑	↑
1312(3)	min-med	med	med	↓-↓↓		↑	
2212(6тн)	max	med-max	max	↑↑		↓	
2226тн	max	med	max	↑-↑↑			
32227	med	med-max	med				
32239	med-max	med	med-max	↑↑		↓-↓↓	

Следует отметить, что анализ СПП геосистем осуществлялся на двух масштабных уровнях – по цифровым почвенным картам сельскохозяйственных организаций в М 1:10 000 и административных районов в М 1:50 000. Наибольшие значения неоднородности СПП характерны для геосистем выпуклых низких водоразделов (1222) и двух вариантов депрессий (2212(6тн), 2226тн), что объясняется значительной контрастностью автоморфных и гидроморфных почв в их составе. Данный факт усугубляется усложнением почвенного покрова вследствие гидротехнической мелиорации почв в связи с увеличением пахотных и луговых улучшенных земель в их составе за период 1999–2023 годы. Наиболее выраженные тренды увеличения площади земель лесных и

под ДКР на фоне снижения сельскохозяйственной освоенности приурочены к геосистемам фрагментарных и выпуклых высоких водоразделов (1113(4), 1114, 1211, 1214), что объясняется меньшими показателями продуктивности почв, несмотря на невысокие показатели неоднородности СПП.

Геосистемы выпуклых высоких и низких водоразделов, а также центральных пойм среднего уровня на рыхлых почвообразующих породах (1211(2), 1221(2), 32227) отличаются тем, что за 24-летний период практически не выявлено каких-либо устойчивых изменений в структуре видов земель. В первую очередь, это объясняется невысокой продуктивной способностью таких почв.

Заключение

Оценка многолетней динамики землепользования важна с точки зрения выработки стратегических решений в природопользовании. Пространственный анализ видов земель крупных физико-географических или административных регионов целесообразно выполнять в границах закономерно организованных геосистем, типологически объединяющих схожие условия землепользования и реакцию на техногенное воздействие с точки зрения возможных процессов деградации почвенного покрова. Необходимость актуальных данных и автоматизации геообработки обуславливает применение информации ДДЗЗ и инструментария ГИС-технологий.

Комплексное применение результатов контролируемой классификации космических снимков *Landsat-5*, *Sentinel-2* и ГИС-технологий позволило определить направление и интенсивность трендов изменения площади основных видов земель для 20 основных геосистем Новогрудской возвышенности. Определены различия интенсивности трендов для геосистем вследствие морфологических особенностей рельефа, разного гранулометрического состава и наличия гидротехнического регулирования водного режима почв. Удельный вес пахотных земель имеет наименьшие значения (около 4–5 %) для заторфованной центральной поймы низкого уровня и высокого плоского водораздела на рыхлых с двучленными без водоупора почвообразующих породах, а максимальные значения (более 70 %) характерны для фрагментарного высокого водораздела на суглинистых породах, где продуктивная способность почв приоритетнее развития водно-эрозионных процессов.

Результаты картометрического анализа структуры почвенного покрова геосистем, сопоставленные с трендами изменения площадей видов земель, позволили дополнительно объяснить как направление, так и интенсивность динамики природопользования на территории Новогрудской возвышенности.

Выявление структуры и динамики землепользования Новогрудской возвышенности как репрезентативного крупного физико-географического района Беларуси на основе геосистемного подхода методологически может использоваться в стратегиях территориального планирования на региональном и республиканском уровнях природопользования.

Список источников

- Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь. 2024. Электронный ресурс. URL: https://gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr/ (дата обращения: 15.03.2025).
- Сазонов А.А. 2020. Скрипт для расчетов коэффициентов сложности, контрастности и неоднородности структуры почвенного покрова. Минск, БГУ.
- Шихов А.Н., Абдулин Р.К. 2024 Фонд космических снимков для создания карт. Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 115 с.
- FABDEM V1-2. 2023. University of Bristol. Electronic resource. URL: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn> (date of access: 16.03.2025).
- OpenStreetMap. 2025. Electronic resource. URL: <http://download.geofabrik.de/europe/belarus.html> (date of access: 17.03.2025).

Список литературы

- Арманд А.Д. 1988. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М., Наука, 261 с.
- Артемьева О.В., Алифанов Н.А. 2024. Картографирование сельскохозяйственных угодий Белгородской области на основе данных дистанционного зондирования. Региональные геосистемы, 48(4): 565–577. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-4-565-577>
- Васильченко А.А. 2024. Динамика используемых сельскохозяйственных угодий Волго-Ахтубинской поймы на основе сезонных композитных изображений Sentinel-2. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 21(5): 203–218.
- Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Ша Д., Лежнин С.А., Ван Д., Дергунов Д.М. 2023. Мониторинг и прогноз динамики наземного покрова Среднего Поволжья по спутниковым данным в QGIS MOLUSCE. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 20(5): 176–193. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-5-176-193>
- Гусев А.П. 2022. Закономерности долговременной динамики локальных геосистем юго-востока Беларуси. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология, 8(2): 60–70.
- Зарубин О.А., Ларина А.В., Саулин В.А., Шабайкина В.А. 2020. Использование многозональных космических снимков для целей геоинформационного мониторинга и анализа пространственных характеристик сельскохозяйственного землепользования. Вектор ГеоНаук, 3(2): 37–50. <https://doi.org/10.24411/2619-0761-2020-10017>
- Кислицын Д.А., Клебанович Н.В. 2024. Геоинформационный анализ динамики и структуры классов земельного покрытия Новогрудской возвышенности. Журнал Белорусского государственного университета: География. Геология, 1: 126–140.
- Кузнецова А.С., Краснощеков К.В., Дергунов А.В., Ерунова М.Г., Макаров Д.С., Харламов Д.В., Якубайлик О.Э. 2024. Моделирование водной эрозии с использованием уравнения RUSLE в масштабе землепользования. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 21(3): 145–154. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-145-154>
- Непеклонов В.Б., Хабаров Д.А., Хабарова И.А. 2020. Применение геоинформационных технологий при исследовании изменений структуры землепользования территорий по материалам многозональной космической съемки. Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий, 25(2): 151–159. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-2-151-159>
- Пинясова Е.В., Павлова Е.В. 2024. Анализ распределения индекса NDVI на посевной площади пашни Республики Хакасия по данным дистанционного зондирования Земли. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 21(3): 121–130. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-121-130>
- Романова Т.А., Червань А.Н., Андреева В.Л. 2011. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова. Почвоведение, 3: 300–310.
- Синельникова К.П., Берденгалиева А.Н., Матвеев Ш., Балынова В.В., Мелихова А.В. 2023. Картографирование пахотных земель в агроландшафтах Волгоградской области по данным дистанционного зондирования. Исследования Земли из космоса, 5: 85–96. <https://doi.org/10.31857/S0205961423050081>
- Скачкова А.С., Курлович Д.М. 2022. Оценка структуры и динамики земель Западно-Белорусской провинции (по данным дистанционного зондирования Земли). Минск, БГУ, 135 с.
- Терехин Э.А. 2024. Возможности оценки лесистости овражно-балочных систем Среднерусской лесостепи по данным дистанционного зондирования Земли. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 21(3): 107–120.
- Червань А.Н., Цыбулько Н.Н., Яцухно В.М. 2022. Методические подходы и практическое применение результатов оценки деградации земель/почв Беларуси. Известия РАН. Серия географическая, 86(1): 55–68. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010058>
- Шаповалов Д.А., Ведешин Л.А., Евстратова Л.Г., Антошкин А.А. 2023. Методы использования мультиспектральных снимков при экологическом мониторинге мелиорированных земель. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 20(4): 187–201.
- Costa H., Benevides P., Moreira F.D., Moraes D., Caetano M. 2022. Spatially Stratified and Multi-Stage Approach for National Land Cover Mapping Based on Sentinel-2 Data and Expert Knowledge. Remote Sensing, 14(8): 1865. <https://doi.org/10.3390/rs14081865>

- Dash P., Sanders S.L., Parajuli, P., Ouyang Y. 2023. Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data in an Agricultural Watershed. *Remote Sensing*, 15(16): 4020. <https://doi.org/10.3390/rs15164020>
- Lin X., Niu J., Berndtsson R., Yu X., Zhang L., Chen X. 2020. NDVI Dynamics and Its Response to Climate Change and Reforestation in Northern China. *Remote Sensing*, 12(24): 4138. <https://doi.org/10.3390/rs12244138>
- Silva V.S., Salami G., Silva M.I.O., Silva E.A., Monteiro J.J., Alba E. 2020. Methodological Evaluation of Vegetation Indexes in Land Use and Land Cover (LULC) Classification. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4(2): 159–169. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>
- Vizzari M. 2022. PlanetScope, Sentinel-2, and Sentinel-1 Data Integration for Object-Based Land Cover Classification in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(11): 2628. <https://doi.org/10.3390/rs14112628>
- Wang Q., Li J., Jin T., Chang X., Zhu Y., Li Y., Sun J., Li D. 2020. Comparative Analysis of Landsat-8, Sentinel-2, and GF-1 Data for Retrieving Soil Moisture over Wheat Farmlands. *Remote sensing*, 12(17): 2708 <https://doi.org/10.3390/rs12172708>
- Wasniewski A., Hoscilo A., Aune-Lundberg L. 2023. The Impact of Selection of Reference Samples and DEM on the Accuracy of Land Cover Classification Based on Sentinel-2 Data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32: 101035. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101035>
- Ye N., Morgenroth J., Xu C., Chen N. 2021. Indigenous Forest Classification in New Zealand – A Comparison of Classifiers and Sensors. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102: 102395. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102395>

References

- Armand A.D. 1988. Samoorganizatsiya i samoregulyatsiya geograficheskikh sistem [Self-Organization and Self-Regulation of Geographical Systems]. Moscow, Publ. Nauka, 261 p.
- Artemeva O.V., Alifanov N.A. 2024. Compiling of Agricultural Lands in the Belgorod Region Based on Remote Sensing Data. *Regional Geosystems*, 48(4): 565–577 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-4-565-577>
- Vasilchenko A.A. 2024. Dynamics of Used Agricultural Lands of the Volga-Akhtuba Floodplain Based on Seasonal Sentinel-2 Composite Images. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 21(5): 203–218 (in Russian).
- Vorobyov O.N., Kurbanov E.A., Sha J., Lezhnin S.A., Van J., Dergunov D.M. 2023. Monitoring and Prediction of Land Cover Dynamics in the Middle Volga Using Satellite Data with QGIS MOLUSCE. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 20(5): 176–193 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-5-176-193>
- Gusev A.P. 2022. Patterns of Long-Term Dynamics of Local Geosystems in the South-East of Belarus. *Scientific Notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*, 8(74): 60–70 (in Russian).
- Zarubin O.A., Larina A.V., Saulin V.A., Shabaikina V.A. 2020. The Use of Multizone Satellite Imagery for the Purpose of Geoinformation Monitoring and Analysis of Spatial Characteristics Of Agricultural Land Use. *Vector of Geosciences*, 3(2): 37–50 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2619-0761-2020-10017>
- Kislitsyn D.A., Klebanovich N.V. 2024. Geoinformation analysis of the dynamics and structure of land cover classes of the Novogradok Upland. *Journal of the Belarusian State University: Geography. Geology*, 1: 126–140 (in Russian).
- Kuznetsova A.S., Krasnoshchekov K.V., Dergunov A.V., Erunova M.G., Makarov D.S., Kharlamov D.V., Yakubailik O.E. 2024. Modeling Water Erosion Using the RUSLE Equation at the Land Use Scale. *Current problems in remote sensing of the Earth from Space*, 21(3): 145–154 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-145-154>
- Nepoklonov V.B., Khabarov D.A., Khabarova I.A. 2020. Application of Geoinformation Technologies in the Study of Changes in the Structure of Land Use of Territories by Materials of Multi-Zone Space Imaging. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies*, 25(2): 151–159 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-2-151-159>



- Pinyasova E.V., Pavlova E.V. 2024. Analysis of the Distribution of the NDVI Index on the Arable Land Area of the Republic of Khakassia According to Remote Sensing Data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 21(3): 121–130 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-121-130>
- Romanova T.A., Chervan A.N., Andreeva V.L. 2011. Theoretical Basis and Practical Significance of Investigations into Soil Cover Patterns. *Eurasian Soil Science*, 44(3): 272–280. <https://doi.org/10.1134/S106422931101011X>
- Sinelnikova K.P., Berdengalieva A.N., Matveev Sh., Balynova V.V., Melikhova A.V. 2023. Mapping of Arable Lands in the Agrolandscapes of the Volgograd Region Using Remote Sensing Data. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 5: 85–96 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0205961423050081>
- Skachkova A.S., Kurlovich D.M. 2022. Otsenka struktury i dinamiki zemel' Zapadno-Beloruskoy provincii (na osnove dannyh distantsionnogo zondirovaniya) [Assessment of the Structure and Dynamics of the Lands of the West Belarusian Province (Based on Earth Remote Sensing Data)]. Minsk, Publ. BSU, 135 p.
- Terekhin E.A. 2024. Possibilities for Assessing the Forest Cover of Small Dry Valleys in the Central Russian Forest-Steppe Using Remote Sensing Data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 21(3): 107–120 (in Russian).
- Chervan A.N., Tsybulko N.N., Yatsukno V.M. 2022. Methodological Approaches and Practical Application of the Results of Land/Soil Degradation Assessment in Belarus. *Izvestiya RAS. Geographical series*, 86(1): 55–68 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587556622010058>
- Shapovalov D.A., Vedeshin L.A., Evstratova L.G., Antoshkin A.A. 2023. Methods of Using Multispectral Images in Ecological Monitoring of Reclaimed Lands. *Current problems in remote sensing of the Earth from Space*, 20(4): 187–201 (in Russian).
- Costa H., Benevides P., Moreira F.D., Moraes D., Caetano M. 2022. Spatially Stratified and Multi-Stage Approach for National Land Cover Mapping Based on Sentinel-2 Data and Expert Knowledge. *Remote Sensing*, 14(8): 1865. <https://doi.org/10.3390/rs14081865>
- Dash P., Sanders S.L., Parajuli, P., Ouyang Y. 2023. Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data in an Agricultural Watershed. *Remote Sensing*, 15(16): 4020. <https://doi.org/10.3390/rs15164020>
- Lin X., Niu J., Berndtsson R., Yu X., Zhang L., Chen X. 2020. NDVI Dynamics and Its Response to Climate Change and Reforestation in Northern China. *Remote Sensing*, 12(24): 4138. <https://doi.org/10.3390/rs12244138>
- Silva V.S., Salami G., Silva M.I.O., Silva E.A., Monteiro J.J., Alba E. 2020. Methodological Evaluation of Vegetation Indexes in Land Use and Land Cover (LULC) Classification. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4(2): 159–169. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>
- Vizzari M. 2022. PlanetScope, Sentinel-2, and Sentinel-1 Data Integration for Object-Based Land Cover Classification in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(11): 2628. <https://doi.org/10.3390/rs14112628>
- Wang Q., Li J., Jin T., Chang X., Zhu Y., Li Y., Sun J., Li D. 2020. Comparative Analysis of Landsat-8, Sentinel-2, and GF-1 Data for Retrieving Soil Moisture over Wheat Farmlands. *Remote sensing*, 12(17): 2708 <https://doi.org/10.3390/rs12172708>
- Wasniewski A., Hoscilo A., Aune-Lundberg L. 2023. The Impact of Selection of Reference Samples and DEM on the Accuracy of Land Cover Classification Based on Sentinel-2 Data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32: 101035. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101035>
- Ye N., Morgenroth J., Xu C., Chen N. 2021. Indigenous Forest Classification in New Zealand – A Comparison of Classifiers and Sensors. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102: 102395. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102395>

*Поступила в редакцию 08.04.2025;
поступила после рецензирования 06.05.2025;
принята к публикации 21.06.2025*

*Received April 08, 2025;
Revised May 06, 2025;
Accepted June 21, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Червань Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

Кислицын Дмитрий Андреевич, аспирант, преподаватель кафедры почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander N. Chervan, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Soil Science and Geoinformation Systems, Faculty of Geography and Geoinformatics, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Dmitry A. Kislitsyn, postgraduate student, Lecturer of the Department of Soil Science and Geoinformation Systems, Faculty of Geography and Geoinformatics, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus