

УДК 504.064.37:528.8

Николай Васильевич Клебанович¹, Дмитрий Андреевич Кислицын²¹*д-р с.-х наук, проф., проф. каф. почвоведения и геоинформационных систем
Белорусского государственного университета*²*студент 4-го курса факультета географии и геоинформатики
Белорусского государственного университета***Nikolai Klebanovich¹, Dmitry Kislitsyn²**¹*Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Professor of the Department of Soil Science and Geoinformation Systems
of the Belarusian State University*²*4-th Year Student of the Faculty of Geography and Geoinformatics
of the Belarusian State University*e-mail: ¹n_klebanovich@inbox.ru, ²dimas_13082000@mail.ru

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВЫХ РАЙОНОВ БРЕСТСКОГО ПОЛЕСЬЯ)

Подробно рассмотрены особенности почвенно-растительного покрова территории ключевых районов Брестского Полесья (Брестский, Жабинковский, Кобринский, Малоритский) в период с 1989 по 2020 г. на основе автоматизированного дешифрирования космических снимков со спутниковых систем Landsat и Sentinel. Для классификации космоснимков в ArcGIS 10.8.1 использован метод максимального правдоподобия, а генерализация результатов дешифрирования и их векторизация проводилась с помощью авторских инструментов геообработки в ModelBuilder. Использование данных о рельефе исследуемой территории (уклон) и вегетационного индекса NDVI позволило повысить достоверность векторных результатов классификации. Оценена точность автоматизированного дешифрирования космоснимков Landsat и Sentinel (апрель 2020 г.) с помощью 350 произвольно расположенных точек, составившая 80–90 % для большинства видов земель, для водных объектов – 100 %.

Ключевые слова: автоматизированное дешифрирование, почвенно-растительный покров, Брестское Полесье, NDVI.

Analysis of Soil and Vegetation Cover Features on the Remote Sensing Data (by the Example of the Brest Polesye's Key Districts)

The article discusses in detail the features of the soil and vegetation cover of the territory of key districts of the Brest Polesye (Brest, Zhabinka, Kobrin, Malorita) in the period from 1989 to 2020 based on automated interpretation of satellite images from Landsat and Sentinel satellite systems. To classify satellite images in ArcGIS 10.8.1, the maximum likelihood method was used, and the generalization of the interpretation results and their vectorization was carried out using author's geoprocessing tools in ModelBuilder. The use of data on the relief of the study area (slope) and the vegetation index NDVI made it possible to increase the reliability of the vector classification results. The accuracy of the automated interpretation of Landsat and Sentinel satellite images (April 2020) was evaluated using 350 randomly located points, which amounted to 80–90% for most types of land, for water bodies – 100 %.

Key words: automated interpretation, land cover, Brest Polesye, NDVI.

Введение

В настоящее время методы автоматизированного дешифрирования многозональных космоснимков становятся востребованными в различных отраслях (почвоведение, землеустройство, география, сельское хозяйство и др.), что подробно освещено во многих работах [1–4].

Самым важным этапом при проведении автоматизированного дешифрирования является классификация космоснимков, которая определяется как автоматическое разде-

ление растрового изображения по заданным признакам на классы объектов (как природных, так и антропогенных), т. е. происходит выделение объектов в основном по яркостным признакам. Классификация позволяет трансформировать яркостные значения пикселей изображения в контуры, которые необходимо проанализировать, а затем провести генерализацию и оценку точности.

Цель исследования – проанализировать особенности структуры и динамику почвенно-растительного покрова территории Брестского Полесья на основе использования данных дистанционного зондирования (космоснимки Landsat, Sentinel) и дополнительных сведений (уклон рельефа, вегетационный индекс NDVI), а также оценить точность дешифрирования.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является почвенно-растительный покров территории четырех ключевых районов Брестского Полесья (Брестский, Жабинковский, Кобринский, Малоритский районы Брестской области), которые характеризуются преимущественно равнинным рельефом с невысокими значениями уклонов и заметной неоднородностью почв. В работе были использованы космоснимки, полученные со спутниковых систем Landsat (апрель – май 1989, 2000, 2009, 2020 гг.) и Sentinel (апрель 2020 г.), которые находятся в открытом доступе в электронном архиве Геологической службы США [5].

Атмосферная коррекция для материалов со спутника Sentinel 2A проводилась с помощью специального модуля «Semi-Automatic Classification Plugin» в QGIS 3.10.2. Для космоснимков со спутников Landsat 5 и Landsat 7 (уровень обработки Collection 2 Level 2) атмосферная коррекция дополнительно не выполнялась, т. к. этот уровень обработки содержит данные, которые уже готовы для проведения спектрального анализа.

Использование растрового продукта Pansharpen для космоснимка Landsat 8 позволяет улучшить пространственное разрешение с 30 до 15 м, что заметно увеличивает детальность при проведении автоматизированного дешифрирования. Создание мозаики космоснимков проводилось в ArcGIS Pro 2.7 с помощью функции Mosaic raster.

Автоматизированное дешифрирование методом максимального правдоподобия в ArcGIS 10.8.1 проводилось с помощью созданных нами ранее инструментов геообработки в ModelBuilder, которые вначале позволяют классифицировать космоснимок с минимальным уровнем генерализации, чтобы визуально оценить степень достоверности классифицированного раstra, а затем провести существенную генерализацию и векторизацию результата дешифрирования [6]. Вегетационный индекс NDVI рассчитывался с помощью калькулятора растров в ArcGIS 10.8.1.

Результаты и их обсуждение

Для изучения динамики и анализа особенностей почвенно-растительного покрова исследуемой территории на основе данных дистанционного зондирования нами было выделено 9 основных классов объектов: водные объекты; населенные пункты, коммуникации, дороги; прочие земли; лесные и под древесно-кустарниковой растительностью земли на минеральных почвах; лесные и под древесно-кустарниковой растительностью земли на торфяно-болотных почвах; сельскохозяйственные земли на минеральных почвах; сельскохозяйственные земли на торфяно-болотных (реже аллювиальных) почвах; земли под болотами; сельскохозяйственные земли на деградированных почвах.

Для уточнения результатов автоматизированного дешифрирования в векторном формате использовались такие дополнительные сведения, как уклон рельефа и вегетационный индекс NDVI.

Для расчета уклонов нами была создана цифровая модель рельефа методом Топо в растр, которая является гидрологически корректной и учитывает не только отметки высот и горизонтالي, но и расположение водотоков и водоемов.

При автоматизированном дешифрировании почвенно-растительного покрова Брестского Полесья площадь сельскохозяйственных и лесных земель на торфяно-болотных почвах чаще всего получается в определенной степени завышенной из-за широко распространения на данной территории дерновых заболоченных почв, которые имеют близкие спектральные характеристики с гидроморфными почвами, значения уклонов можно применить при редактировании векторного результата классификации с помощью инструмента «Зональная статистика» в таблицу.

В то же время не всегда по спектральной яркости можно четко разграничить лесные земли на торфяно-болотных почвах и земли под болотами между собой, поэтому для данной цели можно использовать вегетационный индекс NDVI, значения которого для земель под болотами (например, до 0,13–0,14 в начале апреля) ниже, чем для лесных земель на торфяно-болотных почвах.

Определение сельскохозяйственных земель на дегроторфяных почвах на космоснимках можно проводить с помощью сегментации, когда их площадь относительно не-большая по сравнению со всей площадью сегментов, выделенных на космоснимке, и сегменты выделенного класса не имеют значительных между собой спектральных различий (использован для периода с 1989 по 2009 г.), или на основе данных о вегетационном индексе NDVI с использованием выделенных автоматизированным дешифрированием осушенных органогенных почв (например, значения NDVI для дегроторфяных почв в начале апреля в основном составляют до 0,19).

В целом на территории Брестского Полесья торфяно-болотные почвы расположены в основном в южной части Кобринского района и северо-восточной и юго-западной частях Малоритского района. Удельный вес сельскохозяйственных земель несколько увеличился в период с 1989 по 2000 г. (с 50,7 до 51,9 %), что, возможно, связано с мелиоративным освоением юго-восточной части Кобринского района (рисунок 1).

С 2000 по 2009 г. произошло снижение сельскохозяйственной освоенности Брестского Полесья из-за перевода низкопродуктивных сельскохозяйственных земель под лесные земли и земли под древесно-кустарниковой растительностью (рисунки не приведены из-за ограничений по размеру статьи).

На космоснимках Landsat и Sentinel за 2020 г. обнаружено небольшое увеличение площади сельскохозяйственных земель, что обусловлено более высоким пространственным разрешением космоснимков Landsat 8 (с паншарпенингом) и Sentinel 2, которое позволяет более детально разделять границы застроенных территорий населенных пунктов и сельскохозяйственных земель (рисунки 2–3).

Площадь торфяно-болотных почв немного выросла только в период с 1989 по 2000 г. (в основном за счет юго-восточной части Кобринского района), а затем началось постепенное снижение, что обусловлено постепенным уменьшением мощности слоя торфа и содержания органического вещества, которое приводит к заметному увеличению площади дегроторфяных почв (с 1989 по 2020 г. – в 2,1 раза).

Площадь лесных и под древесно-кустарниковой растительностью земель в 1989–2000 гг. составляла около 35 %, а к 2009 г. наблюдался некоторый рост их удельного веса с уменьшением доли сельскохозяйственных земель.

В структуре этих земель характерно преобладание минеральных почв, но в Кобринском районе заметен более высокий удельный вес лесных земель на торфяно-болотных почвах по сравнению с исследуемой территорией в целом. Доля таких земель несколько уменьшилась (с 12,1 % в 1989 г. до 11,3 % в 2020 г.).

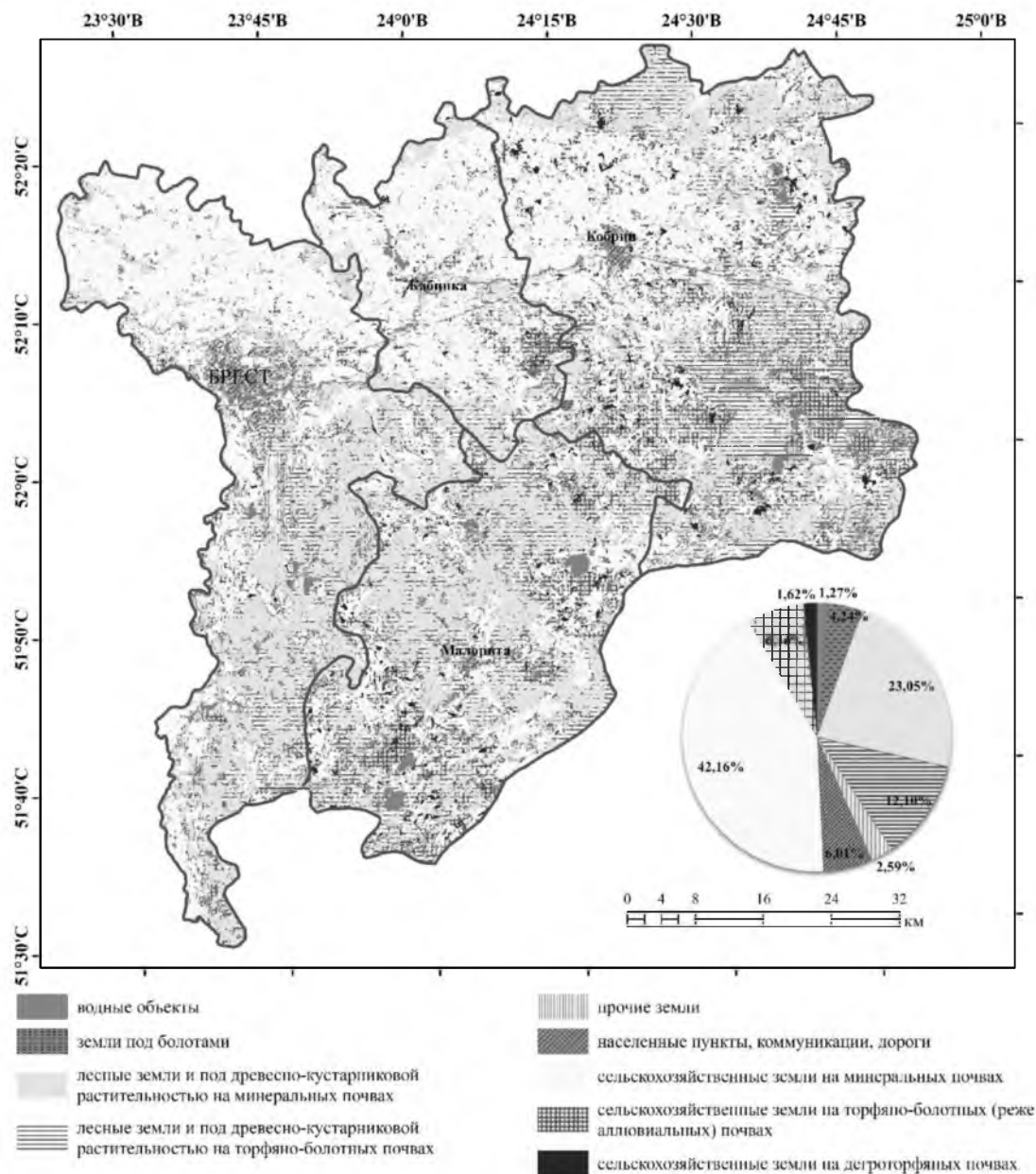


Рисунок 1. – Структура почвенно-растительного покрова территории Брестского Полесья в 1989 г. (на основе космоснимка *Landsat 5*)

Удельный вес земель, занятых населенными пунктами, коммуникациями, дорогами, составляет в среднем за период 2000–2021 гг. около 4,4–4,8 %, что несколько меньше по сравнению с 1989 г. (6,0 %), т. к. на точность определения территорий населенных пунктов предположительно повлияло худшее пространственное разрешение снимков 1989 г. Площадь водных объектов с 1989 по 2000 г. увеличилась незначительно (с 1,3 до 1,4 %), что может быть обусловлено созданием новых прудов и водохранилищ на осушенных территориях, но к 2020 г. произошло некоторое уменьшение площади из-за снижения уровня воды в водоемах (рисунки 2, 3).

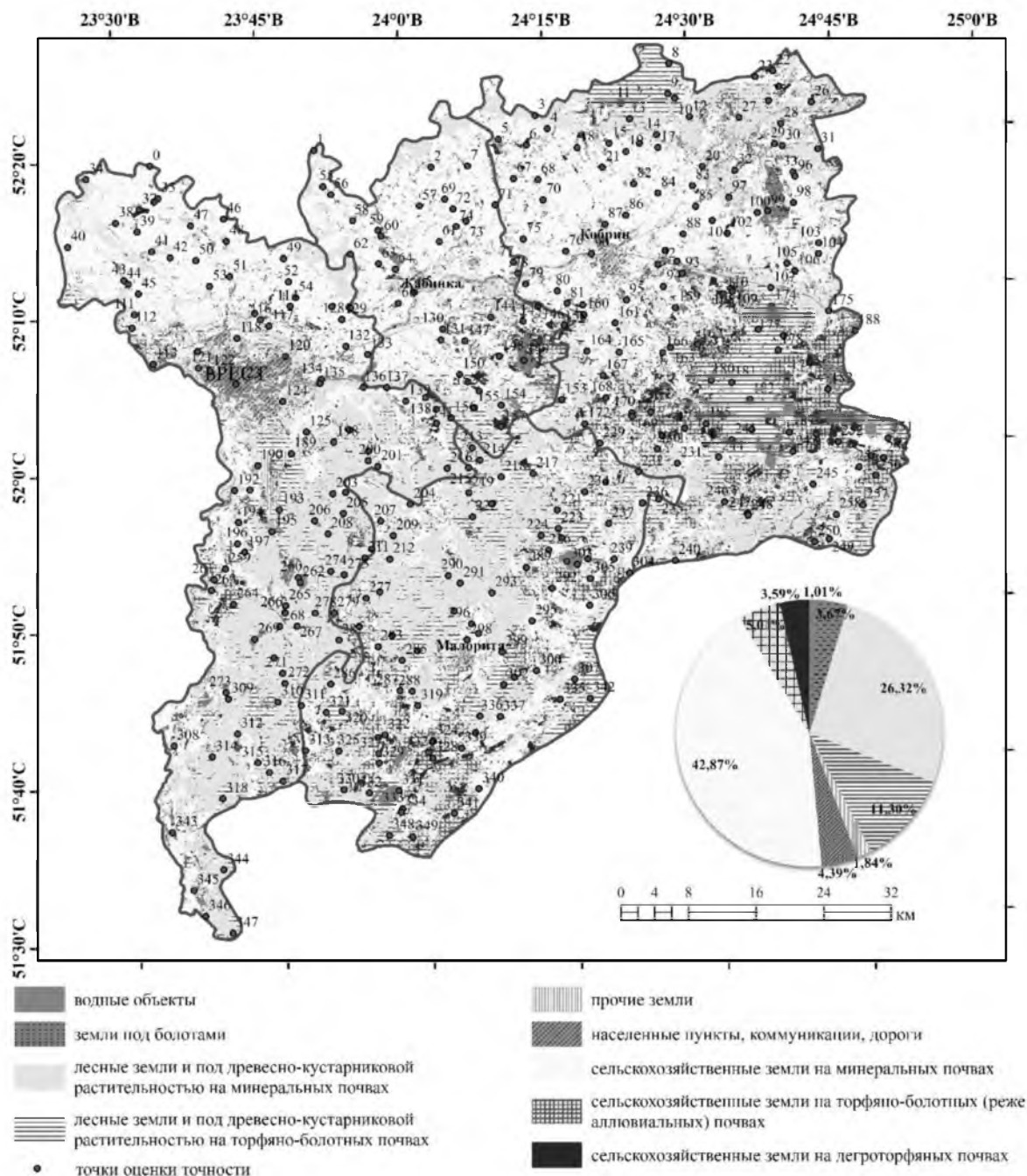


Рисунок 2. – Структура почвенно-растительного покрова территории Брестского Полесья в 2020 г. (на основе космоснимка Landsat 8)

Земли под болотами занимают 3–4 % территории Брестского Полесья и наибольшая их концентрация характерна для восточной части Кобринского района, а в период с 1989 по 2009 г. их удельный вес в структуре почвенно-растительного покрова составлял 4,2–4,4 %, но к 2020 г. наблюдается некоторое снижение их площади, что, возможно, связано с увеличением общей площади земель лесных и под древесно-кустарниковой растительностью (рисунок 3).

Использование матрицы ошибок позволяет получить информацию о пропорции правильной классификации, которая рассчитывается путем деления правильно отклассифицированных пикселей (по диагонали матрицы) на общее количество выбранных пикселей [1].

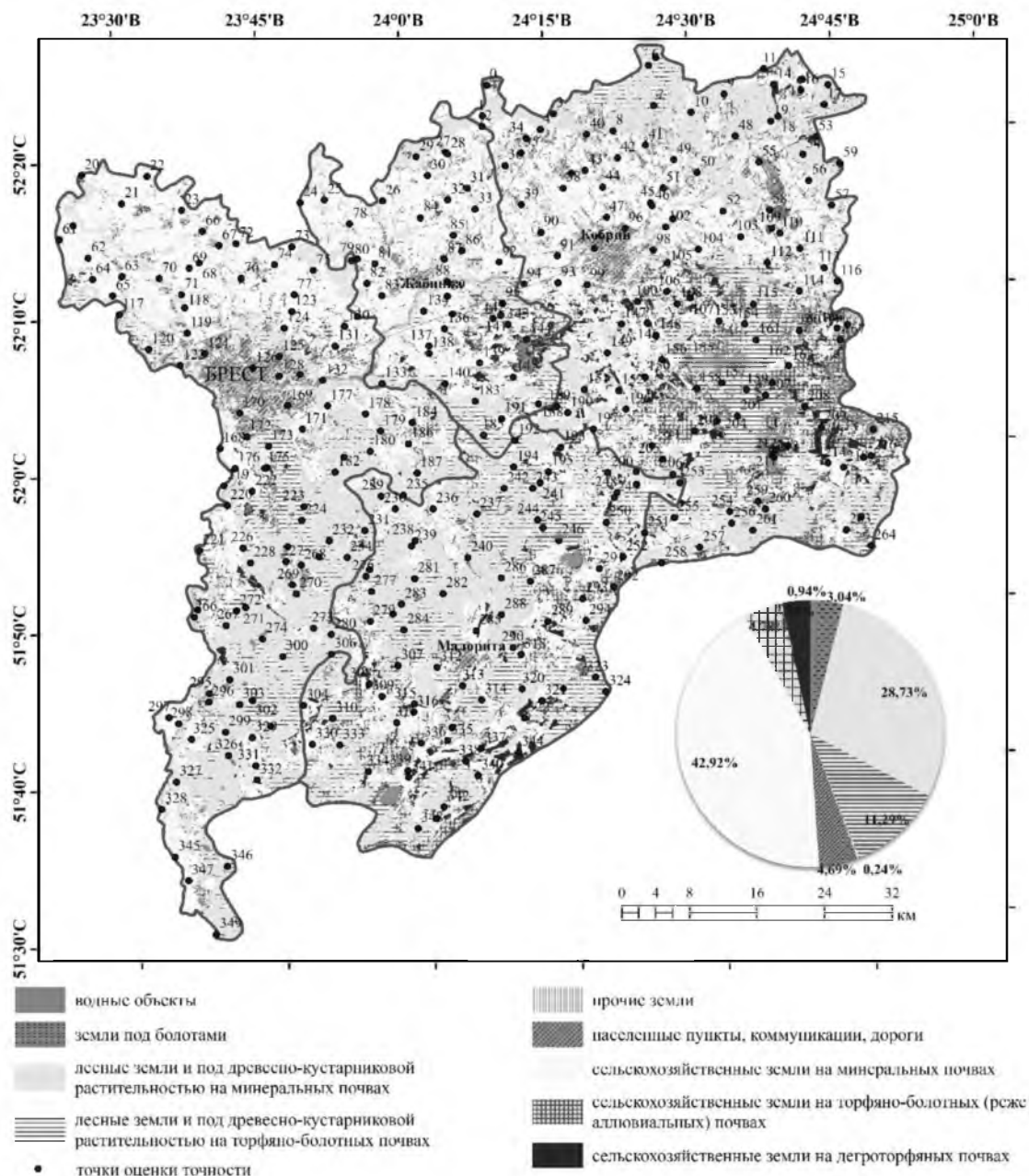


Рисунок 3. – Структура почвенно-растительного покрова территории Брестского Полесья в 2020 г. (на основе мозаики космоснимков *Sentinel 2*)

Для оценки точности автоматизированного дешифрирования методом максимального правдоподобия космоснимка Landsat 8 (06.04.2020) и мозаики космоснимков Sentinel 2 (06.04.2020) нами были созданы два shp-файла, которые содержат по 350 произвольно расположенных точек с помощью инструмента «Создать точки оценки точности». Построение матрицы ошибок в ArcGIS 10.8.1 основано на использовании инструмента «Вычислить матрицу несоответствий». Оценка точности проводилась на основе базы данных «Торфяники Беларуси» [7], геопортала ЗИС [8] и районных почвенных карт масштаба 1 : 50 000. Общая точность автоматизированного дешифрирования методом максимального правдоподобия для космоснимка Landsat 8 составила 80,3 %, а коэффициент каппа Коэна – 0,7332 (рисунок 4). При этом достаточно высокие значения пользовательской точности (более 90 %) характерны для водных объектов и лесных земель на минеральных почвах, а невысокие значения (менее 60 %) имеют земли под болотами

и прочие земли, что связано с заметными различиями спектральной яркости для объектов внутри данных классов. Производственная точность имеет наибольшие значения для лесных и под древесно-кустарниковой растительностью земель на торфяно-болотных почвах и сельскохозяйственных земель на минеральных почвах (более 87 %).

Таблица														
landsat_matrix														
OID	ClassValue	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9	Total	U	Accuracy	Катта
0	C 1	9	1	0	0	0	0	0	0	0	10		0.9	0
1	C 2	0	9	0	1	0	3	1	0	0	14		0.642857	0
2	C 3	0	0	5	0	0	3	0	0	1	9		0.555556	0
3	C 4	2	1	0	83	1	2	1	2	0	92		0.902174	0
4	C 5	0	0	0	9	26	2	0	1	0	38		0.684211	0
5	C 6	0	5	6	5	1	122	7	2	0	148		0.824324	0
6	C 7	0	0	0	1	0	4	12	0	0	17		0.705882	0
7	C 8	0	0	0	2	0	1	1	7	1	12		0.583333	0
8	C 9	0	0	0	0	0	2	0	0	8	10		0.8	0
9	Total	11	16	11	101	28	139	22	12	10	350		0	0
10	P Accuracy	0.8181	0.5625	0.4545	0.8217	0.9285	0.8776	0.5454	0.5833	0.8	0		0.802857	0
11	Катта	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0.7332

Примечание – C_1 – водные объекты; C_2 – населенные пункты, коммуникации, дороги; C_3 – прочие земли; C_4 – лесные земли и под древесно-кустарниковой растительностью на минеральных почвах; C_5 – лесные земли и под древесно-кустарниковой растительностью на торфяно-болотных почвах; C_6 – сельскохозяйственные земли на минеральных почвах; C_7 – сельскохозяйственные земли на торфяно-болотных (реже аллювиальных) почвах; C_8 – земли под болотами; C_9 – сельскохозяйственные земли на деградированных почвах.

Рисунок 4. – Матрица ошибок автоматизированного дешифрирования космоснимка Landsat 8

Для космоснимка Sentinel 2 точность автоматизированного дешифрирования методом максимального правдоподобия составила 81,7 %, а коэффициент каппа Коэна – 0,7484. При этом значения пользовательской точности изменяются от 57–58 % для прочих земель и лесных земель до 90,1 и 100 % для лесных земель на минеральных почвах и водных объектов соответственно. Общая точность автоматизированного дешифрирования для мозаики космоснимков Sentinel 2 выше, чем для космоснимка Landsat 8, что, видимо, обусловлено различиями в пространственном разрешении (10 и 15 м соответственно).

Заключение

На основе автоматизированного дешифрирования методом максимального правдоподобия космоснимков Landsat и Sentinel с использованием программных комплексов ArcGIS 10.8.1 и ArcGIS Pro 2.7 получена и проанализирована информация об основных классах почвенно-растительного покрова и земельного фонда территории Брестского Полесья. Использование данных о рельефе (значения уклонов) и растительности (NDVI) позволило заметно улучшить картосхемы почвенно-растительного покрова и заметно повысить достоверность определения ареалов деградированных и торфяно-болотных почв. Точность итоговых результатов дешифрирования для космоснимков Landsat и Sentinel (апрель 2020 г.), оцененная с помощью двух матриц ошибок, составила 80 и 82 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Principles of Remote Sensing. An Introductory Textbook. ITC Educational Textbook Series / edit. board: N. Kerle [et. al.]. – Enschede : International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, 2009. – 591 p.

2. Арутюнян, Т. А. Мониторинг процессов деградации земель сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс] / Т. А. Арутюнян, Е. А. Устинова // Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов. – Режим доступа: <http://kadastr.org/conf/-2016/pub/kadastr/monit-process-degrad-zem-sh naznacheniya.htm>. – Дата доступа: 01.02.2022.
3. Горбачева, Е. Н. Автоматизированное дешифрирование почв, подверженных водно-эрозионным процессам / Е. Н. Горбачева // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1 (46). – С. 46–55.
4. Mapping soil degradation using remote sensing data and ancillary data: South-East Moravia, Czech Republic [Electronic resource] / D. Žižala [et al.] // Europ. Journal of Remote Sensing. – 2019. – Vol. 52, is. sup. 1. – P. 108–122. – DOI: 10.1080/22797254.2018.1482524.
5. Архив Геологической службы США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. – Дата доступа: 07.02.2022.
6. Кислицын, Д. А. Создание инструментов геообработки в ModelBuilder для проведения автоматизированного дешифрирования [Электронный ресурс] / Д. А. Кислицын // Материалы Междунар. молодеж. науч. форума «Ломоносов – 2021». – Режим доступа: https://lomonosov_msu.ru/archive/Lomonosov_2021/data/22461/124296_uid563610_report.pdf. – Дата доступа: 05.02.2022.
7. База данных «Торфяники Беларуси» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.peatlands.by/>. – Дата доступа: 10.02.2022.
8. Геопортал ЗИС (раздел «Открытые данные») [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gismap.by/next/>. – Дата доступа: 10.02.2022.

REFERENCES

1. Principles of Remote Sensing. An Introductory Textbook. ITC Educational Textbook Series / edit. board: N. Kerle [et. al.]. – Enschede : International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, 2009. – 591 p.
2. Arutiunian, T. A. Monitoring processov diegradacii ziemieli' sel'skokhoziajstviennogo naznachienija [Elektronnyj riesurs] / T. A. Arutiunian, Ye. A. Ustinova // Kadastr nie-dvizhimosti i monitoring prirodnykh riesursov. – Riezhim dostupa: <http://kadastr.org/conf/-2016/pub/kadastr/monit-process-degrad-zem-sh naznacheniya.htm>. – Data dostupa: 01.02.2022.
3. Gorbachiova, Ye. N. Avtomatizirovannoje dieshifirovanije pochv, podvierzhennykh vodno-erozionnym processam / Ye. N. Gorbachiova // Pochvoviedienije i agrokhimija. – 2011. – № 1 (46). – S. 46–55.
4. Mapping soil degradation using remote sensing data and ancillary data: South-East Moravia, Czech Republic [Electronic resource] / D. Žižala [et al.] // Europ. Journal of Remote Sensing. – 2019. – Vol. 52, is. sup. 1. – P. 108–122. – DOI: 10.1080/22797254.2018.1482524.
5. Arkhiv Gieologichieskoj sluzhby SShA [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. – Data dostupa: 07.02.2022.
6. Kislicyn, D. A. Sozdaniye instrumentov gieoobrabotki v ModelBuilder dlia proviedienija avtomatizirovannogo dieshifirovanija / D. A. Kislicyn // Matierialy Miezhhdunar. molodiozh. nauch. foruma «Lomonosov – 2021» [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: https://lomonosov_msu.ru/archive/Lomonosov_2021/data/22461/124296_uid563610_report.pdf. – Data dostupa: 05.02.2022.
7. Baza dannykh «Torfianiki Bielarusi» [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <http://www.peatlands.by/>. – Data dostupa: 10.02.2022.
8. Geoportal ZIS (razdiel «Otkrytye dannye») [Elektronnyj resurs]. – Riezhim dostupa: <https://gismap.by/next/>. – Data dostupa: 10.02.2022.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 04.03.2022