



Научная статья
УДК 91:528.9:341.229
doi: 10.55186/25876740_2025_68_2_149

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДЕШИФРИРОВАНИЯ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗОНИРОВАНИЯ КУЛЬТУРНОГО ЛАНДШАФТА

О.А. Зарубин, С.А. Москалева, А.В. Ларина, Н.С. Мучкаева, Е.А. Козлова

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва, Саранск, Россия

Аннотация. В статье раскрываются вопросы применения методик картографирования структуры землепользования с применением алгоритмов автоматизированного дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли (многозональных космических снимков) для целей регионального геоэкологического зонирования. Исследования проведены в 2024 г. В качестве данных дистанционного зондирования Земли использованы спутниковые снимки Landsat. Работы проведены с применением нейросетевых методик на базе тестовых полигонов на территории Республики Мордовия, отличающихся различными режимами землепользования. В программном комплексе ScanEx Image Processor проведены эксперименты по определению наиболее эффективной топологии нейронной сети прямого распределения (входные каналы, количество нейронов в скрытом слое). Для оценки точности дешифрирования выполнены расчеты матриц ошибок на контрольных участках. Нейронные сети с предложенными топологиями показали высокую точность дешифрирования. Для тестового полигона с интенсивным характером землепользования было выполнено картографирование классов землепользований Land Cover. Средняя доля не распределенных по классам пикселей составила 94,8%, общая точность классификации с учетом не распределенных по классам пикселей — 0,4%. Для полигона, территория которого характеризуется природоохранным режимом и слабой хозяйственной освоенностью, проводилось картографирование природных геосистем. Показатели точности составили 97,0 и 1,3% соответственно. Представленные подходы к картографированию землепользования в совокупности с результатами других исследований позволили разработать модель геоэкологического зонирования культурного ландшафта региона с выделением зон экологического равновесия и хозяйственного каркаса. Результаты целесообразно использовать при составлении и внесении изменений в картографический материал документов территориального планирования регионального и муниципального уровней.

Ключевые слова: геоэкологическое зонирование, культурный ландшафт, землепользование, многозональные космические снимки, дешифрирование, экологический каркас, хозяйственный каркас

Original article

MAPPING OF LAND USE STRUCTURE BASED ON DECIPHERING OF MULTI-ZONE SPACE IMAGES FOR THE PURPOSES OF GEOECOLOGICAL ZONING OF CULTURAL LANDSCAPE

O.A. Zarubin, S.A. Moskaleva, A.V. Larina, N.S. Muchkaeva, E.A. Kozlova

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

Abstract. The article reveals the issues of application of land use structure mapping techniques using algorithms of automated interpretation of Earth remote sensing data (multispectral space images) for the purposes of regional geoecological zoning. Research conducted in 2024. Landsat satellite images were used as Earth remote sensing data. Scientific research was conducted using neural network methods based on test sites on the territory of the Republic of Mordovia, which have different land use regimes. The test sites have different land use regimes. The experiments were conducted in the ScanEx Image Processor software package. The most effective topology of the direct distribution neural network (input channels, number of neurons in the hidden layer) was determined. Error matrix calculations were performed on control plots to assess the accuracy of interpretation. Neural networks with the proposed topologies showed high decoding accuracy. Land Cover land use class mapping was performed for a test site with an intensive land use pattern. The average proportion of pixels not assigned to classes was 94.8%. The overall classification accuracy with pixels not assigned to classes was 0.4%. Mapping of natural geosystems was carried out for the territory of the polygon with a nature conservation regime and weak economic development. The accuracy rates were 97.0% and 1.3%, respectively. The presented approaches to land use mapping and the results of other research made it possible to develop a model of geoecological zoning of the cultural landscape of the region with the identification of zones of ecological balance and an economic framework. The results can be used to compile and modify cartographic material in territorial planning documents at the regional and municipal levels.

Keywords: geoecological zoning, cultural landscape, land use, multi-zone space images, interpretation, ecological framework, economic framework

Введение. Задачи разработки региональных моделей зонирования культурного ландшафта, нацеленных на поддержку принятия управленческих решений в сфере градостроительства, территориального планирования, оптимизации земле- и природопользования, являются одним из наиболее востребованных направлений прикладных геоэкологических исследований [3, 4, 9]. При этом достижение целей оптимального пространственного развития регионов и муниципальных образований напрямую связано с использованием ГИС-технологий, материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для

оперативного картографирования и ведения баз географических данных о природе, населении и хозяйстве, геоэкологических проблемах, структуре землепользования, туристско-рекреационном потенциале.

В современных геоэкологических исследованиях важнейшим подходом к зонированию культурного ландшафта является управление территориальной дифференциацией [5]. В нормативном правовом поле данный подход фактически закреплен в приказе Минрегиона России от 19.04.2013 г. № 169 как совокупность принципов планирования «системы каркасов

территории». Научной основой является концепция поляризованной биосферы, изложенная в трудах Б.Б. Родомана [8], в соответствии с которой при планировании истинно культурного ландшафта должны проектироваться дисперсированные полюса — зоны экологического равновесия и хозяйственный каркас, отличающиеся различными режимами природопользования и выполняемыми геоэкологическими функциями.

Проблематика каркасного подхода является одной из наиболее частых в геоэкологических исследованиях последних лет при решении

задач планирования сети природоохранных территорий [13], устойчивой системы сельскохозяйственного землепользования [12] и др. Результатами проектирования цифровых моделей экологического и хозяйственного каркасов является соответствующий картографический материал в виде системы электронных слоев ГИС и связанных с ними баз геоданных, содержащих семантическую информацию о структуре фактического землепользования, природных, социальных и производственных подсистемах культурного ландшафта.

Ключевым источником информации для проектирования, верификации и актуализации таких цифровых моделей являются данные ДЗЗ, на основе дешифрирования которых должны формироваться базы данных для целей прогнозирования и планирования землепользования [11].

В последние годы вопросам картографирования и геоэкологического зонирования системы землепользования на основе дешифрирования космических снимков посвящен ряд работ, выполненных для территорий регионов России, прежде всего, в контексте пространственного анализа структуры сельскохозяйственного [2] и лесохозяйственного [7] типов хозяйственного освоения.

Материалы и методика проведения исследования. Целью настоящего исследования является разработка эффективных подходов картографирования структуры землепользования на основе алгоритмов автоматизированного дешифрирования многозональных космических снимков для целей геоэкологического зонирования культурного ландшафта на примере Республики Мордовия. Работы проведены в 2024 г.

Принципиальная предлагаемая схема работ по использованию данных ДЗЗ представлена на рис. 1.

I этап. В рамках выполненной работы картографирование структуры землепользования на основе использования данных ДЗЗ выполнялось для детектирования особенностей землепользования в условиях зон активного хозяйственного освоения и экологического равновесия. Полученные результаты являются основой для решения вопросов проектирования и актуализации цифровой модели хозяйственного и экологического каркасов.

II этап. В качестве исходного источника информации были использованы безоблачные многозональные космические снимки ресурса Landsat-8/9 2022 г. К особенностям снимков проекта Landsat относятся следующие: допустимое пространственное разрешение основных каналов (30 м) для картографирования региональных и локальным природно-социально-производственных систем культурного ландшафта; наличие нескольких монохромных каналов с одинаковой привязкой и уровнем обработки L1 (коррекция рельефа), что облегчает задачу предобработки данных ДЗЗ.

III этап. Эксперименты проводились в программном комплексе ScanEx Image Processor. В работе сделан акцент на реализации двух алгоритмов: кластеризация космических снимков на основе нейронных сетей с целью картографирования структуры землепользования и расчет вегетационных индексов для выявления границ фитоценозов при последующем проектировании зон экологического равновесия (результаты не изложены в настоящей статье).

Искусственные нейронные сети являются моделью, организованной по типу действия биологических нейронов, имеющей входные и выходные каналы. Эффективность применения данных алгоритмов зависит от программы их обучения, в которую входят выбор входных данных (каналов многозонального снимка и обучающей репрезентативной выборки), определение формы выходных данных (классов землепользования), подбор числа скрытых слоев и нейронов.

IV этап. Процесс предварительной обработки зависит от технических параметров используемых данных ДЗЗ. В настоящей работе были использованы снимки ресурса Landsat-8/9 с начальным заявленным уровнем обработки L1. Для целей исследования космические снимки были радиометрически откалиброваны в соответствии с методикой поставщика данных ДЗЗ [14]: «сырое» безразмерное нормализованное значение DN (Digital Number) пересчитано в параметр отражательной способности (Reflectance).

V и VI этап. Работы проводились на базе репрезентативной системы тестовых полигонов, отличающихся различными режимами землепользования (табл. 1). Результаты этапов и их обсуждение приведены ниже.

Результаты и их обсуждение. В отношении зон, характеризующихся интенсивным характером хозяйственного освоения, эксперименты проводились на базе полигона «Атемар». В результате проведенного исследования реализованы подходы к картографированию структуры землепользования на базе нейросетевых методик классификации данных ДЗЗ. Для этого были решены следующие задачи.

Во-первых, проведено определение выходных данных. В работе использован многозональный снимок от 16.08.2022 г. (LC08_L1TP_172022_

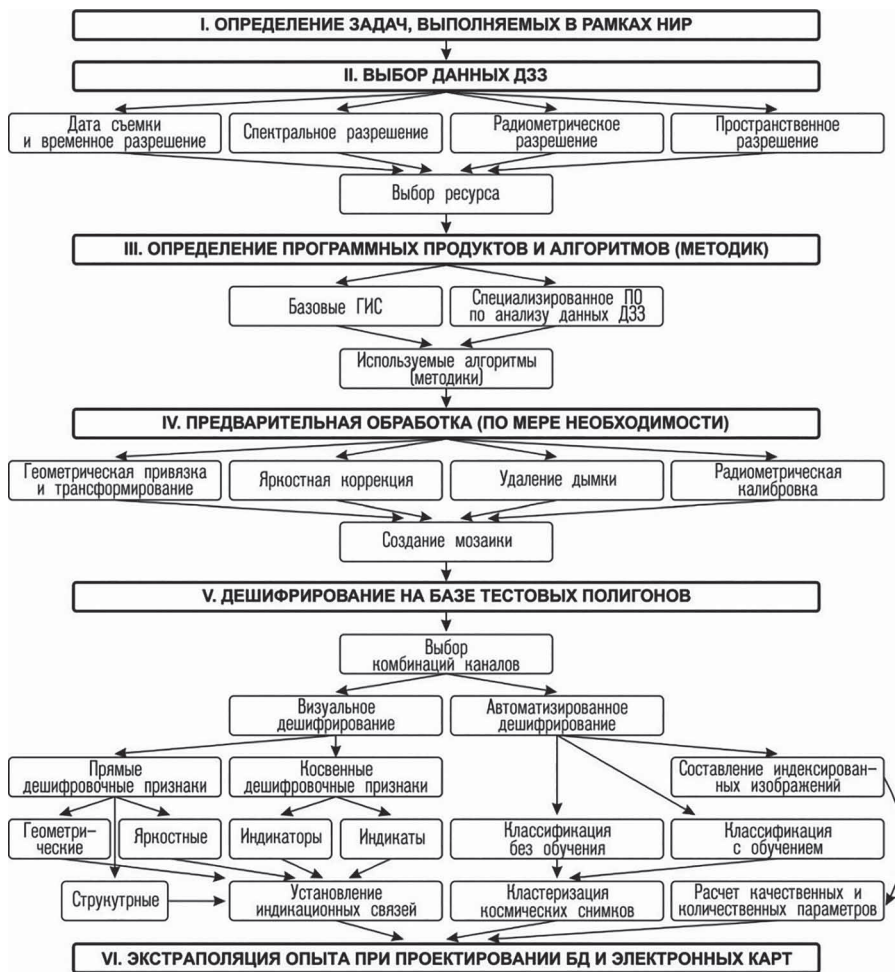


Рисунок 1. Принципиальная схема анализа данных ДЗЗ
Figure 1. Schematic diagram of remote sensing data analysis

Таблица 1. Перечень тестовых полигонов
Table 1. List of test sites

Полигон	Краткое описание	Координаты поворотных точек границ	
		Широта	Долгота
«Атемар»	Полигон расположен в зоне контакта лесных геосистем эрозионно-денудационных равнин и лесостепных геосистем вторичных моренных равнин. Высокая сельскохозяйственная, селитебная и промышленная (прежде всего, горно-промышленная) освоенность	54° 12' 45"	45° 22' 54"
		54° 12' 43"	45° 30' 45"
		54° 08' 22"	45° 30' 42"
		54° 08' 24"	45° 22' 51"
«Смольный»	Полигон локализован в зоне контакта геосистем вторичных моренных равнин, лесных геосистем водно-ледниковых и древнеаллювиальных равнин. Основная часть территории полигона расположена на левобережье р. Алатырь, в границах национального парка «Смольный»	54° 51' 3"	45° 13' 57"
		54° 51' 2"	45° 20' 20"
		54° 42' 50"	45° 20' 14"
		54° 42' 50"	45° 13' 55"



20220816_20220824_02_T1). В качестве классификационной модели использована номенклатура классов землепользования карт Land Cover программы CORINE [11] — одного из наиболее успешных профильных проектов. В результате выделены следующие классы, представленные в табл. 2.

Во-вторых, с учетом материалов полевых исследований и данных космических снимков в «естественных цветах» высокого пространственного разрешения задан источник меток — тестовые (верифицирующие) участки для определения эталонных классов при обучении нейронной сети.

В-третьих, проведено обоснование определения входных данных. Для целей картографирования определены каналы многозональных космических снимков для каждого входного нейрона в позициях R, G и B. Их определение выполнено экспериментальным путем, для этого рассчитаны средние значения спектральных яркостей всех дешифрируемых классов землепользования для следующих каналов снимков Landsat-8: канал 1 (COASTAL/AEROSOL), канал 2 (BLUE), канал 3 (GREEN), канал 4 (RED), канал 5 (NIR), канал 6 (SWIR 2), канал 7 (SWIR 3). Далее после реализации алгоритма пересчета DN в отражательную способность была рассчитана разница между средними значениями яркостей пикселей дешифрируемых классов землепользования для каждого из каналов. Результаты обработки данных ДЗЗ показали, что наилучшие параметры по контрастности дешифрируемых классов демонстрируются в комбинации каналов 6, 5 и 7.

В-четвертых, проведены эксперименты по определению наиболее эффективной топологии нейронной сети прямого распределения.

Таблица 3. Некоторые результаты расчета точности дешифрирования на основе нейронных сетей разной топологии

Table 3. Some results of calculating the accuracy of space imagery interpretation based on the use neural networks of different topologies

Количество нейронов в скрытом слое	ОТК (НП), %	ДНП _{ср.} %	ОТК (НП), %	ДНП _{ср.} %
	Полигон «Атемар»		«Полигон «Смольный»	
Без скрытых слоев	55,76	37,6	70,7	15,4
3	—	—	61,9	0,0
4	37,96	30,7	83,8	4,8
5	61,0	24,8	74,3	1,0
6	75,3	3,6	93,7	1,4
7	76,0	10,8	93,6	1,3
8	80,5	9,1	96,9	0,9
9	86,6	5,7	86,3	2,1
10	83,1	3,8	93,4	1,3
11	85,3	5,1	96,1	0,9
12	90,5	5,2	96,2	0,9
13	76,4	17,6	97,0	1,3
14	92,0	3,6	96,0	0,8
15	92,7	1,8	—	—
16	93,4	1,6	—	—
17	94,4	0,9	—	—
18	91,7	1,1	—	—
19	94,0	1,3	—	—
20	94,2	0,5	—	—
21	94,8	0,4	—	—
22	93,5	1,2	—	—

Таблица 2. Классы Land Cover на полигоне «Атемар»
Table 2. Land Cover classes at the site «Атемар»

Номер класса	Уровни и идентификаторы в соответствии с номенклатурой CORINE		
	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3
1	2 Сельскохозяйственные области	2.1 Пашня	2.1.1 Неорошаемая пахотная земля
2	3 Лес и полустественные области	3.1 Леса	3.1.2 Хвойный лес
3	5 Водные объекты	5.1 Внутренние воды	5.1.2 Водоёмы
4	1 Искусственные поверхности	1.3 Шахты, карьерные и строительные площадки	1.3.1 Участки добычи полезных ископаемых
5	1 Искусственные поверхности	1.1 Городская застройка	1.1.2 Разреженная городская застройка
6	3 Лес и полустественные области	3.2 Кустарниковые и/или травянистые растительные ассоциации	3.2.1 Луг, сенокос
7	3 Лес и полустественные области	3.1 Леса	3.1.3 Смешанный лес
8–13	2 Сельскохозяйственные области	2.4 Гетерогенные сельскохозяйственные районы	2.4.1 Однолетние культуры с вкраплением многолетних

Примечание. Классы землепользований 8–13 выделены в отношении одной номенклатурной единицы в связи различиями в вегетации сельскохозяйственных культур.

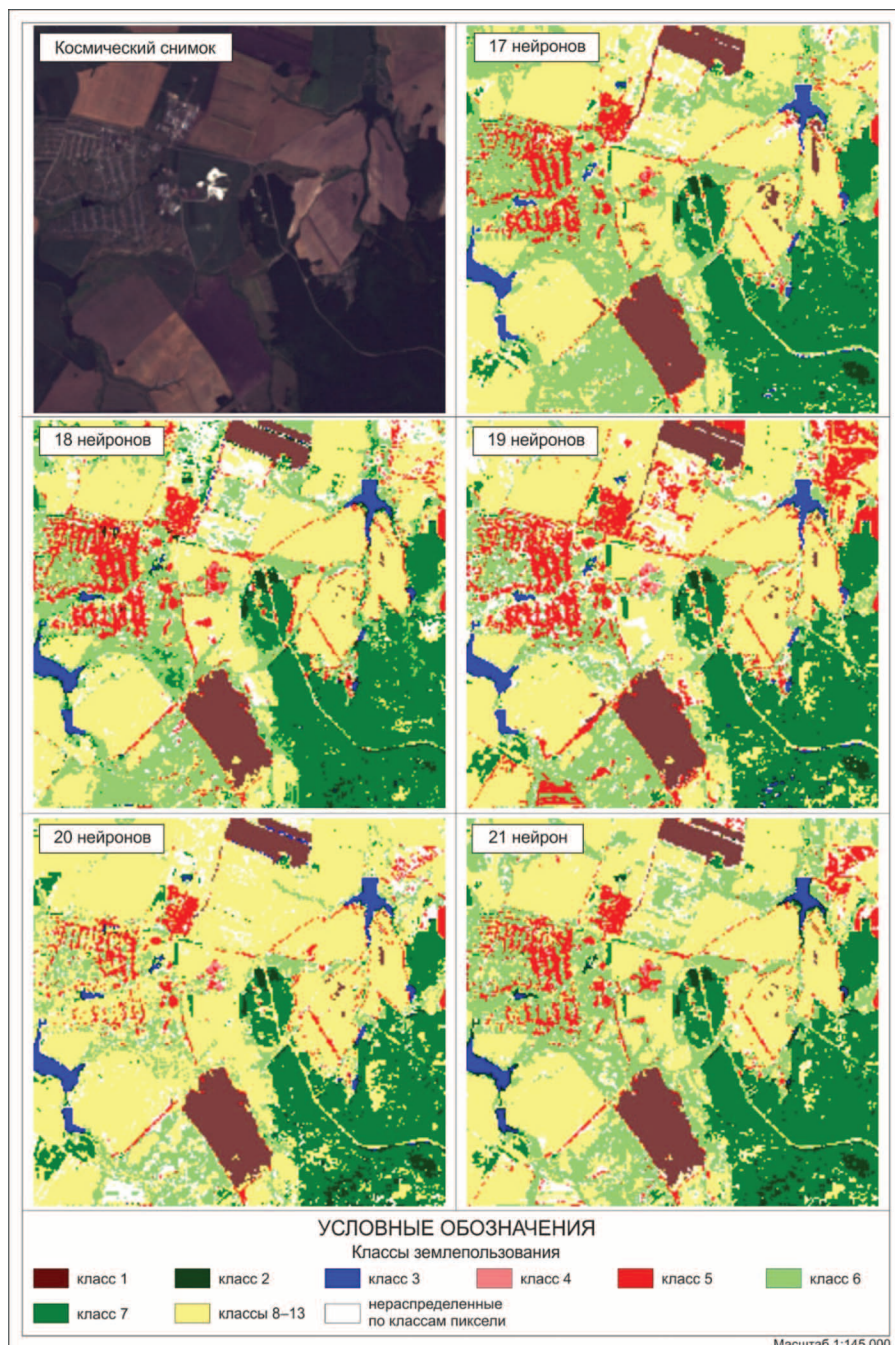


Рисунок 2. Результаты картографирования классов землепользования полигона «Атемар» на основе нейронных сетей

Figure 2. Results of mapping land use classes of the polygon «Атемар» based on neural networks



Если в отношении количества «скрытых» слоев в методической литературе [15] и в ведущих рецензируемых изданиях по профилю исследования (например, в [10]) показана целесообразность одного скрытого слоя, то в отношении количества нейронов в таком слое — вопрос остается дискуссионным.

Было определено оптимальное количество нейронов в скрытом слое, проведено сравнение с результатами, полученными без использования скрытых слоев. Работы выполнены на основе расчета матрицы ошибок на контрольных участках, отличных от тестовых, заданных ранее. Для возможности анализа предложены следующие метрики:

- общая точность классификации (OTK) — параметр, показывающий отношение общего количества правильно классифицированных пикселей к общему количеству пикселей;
- точность производителя ($T_{пр.}$) — параметр, показывающий отношение количества пра-

вильно классифицированных пикселей определенного класса к общему количеству пикселей этого же класса в соответствии с обучающей выборкой;

- точность пользователя ($T_{польз.}$) — параметр, показывающий отношение количества правильно классифицированных пикселей определенного класса к общему количеству пикселей этого же класса в соответствии с данными контрольных участков;
- точность производителя с учетом не распределенных по классам пикселей ($T_{пр.}(НП)$);
- доля не распределенных по классам пикселей ($ДНП$) — параметр, показывающий долю пикселей, которые не были приурочены ни к одному из классов в рамках контрольных участков;
- средняя доля не распределенных по классам пикселей ($ДНП_{ср.}$);
- общая точность классификации с учетом не распределенных по классам пикселей ($OTK(НП)$).

Для анализа общей ситуации в качестве основных анализируемых метрик, прежде всего, выступали $OTK(НП)$ и $ДНП_{ср.}$ (таблица 3). Учет доли нераспознанных пикселей обусловлен необходимостью максимально возможного исключения «белых пятен» на карте, иначе даже при высокой эффективности используемых алгоритмов для верно классифицированных пикселей общая пригодность таких операций для практических целей картографирования будет крайне низкой.

В целом анализ результатов показывает, что наилучшие показатели $OTK(НП)$ и $ДНП_{ср.}$ характерны для скрытого слоя с количеством нейронов, превышающих число выходных классов. Наилучшие показатели были получены в ходе эксперимента с скрытым слоем с 21 нейроном (рис. 2), что в 1,6 раза превышает число выходных классов.

Для данной топологии нейронной сети $OTK(НП) = 94,8\%$, $ДНП_{ср.} = 0,4\%$. При этом показатель $T_{пр.}(НП)$ для большинства классов составил более 95%. Наихудшие показатели данного параметра отмечены у классов 6 (78,5%) и 5 (79,8%). Так, луга и сенокосы (класс 6) по яркостным характеристикам сходны с сельскохозяйственными районами. Разреженная городская застройка (класс 5) представлена сельскими населенными пунктами, структура их землепользования весьма неоднородна, в силу низкой плотности застройки значительную долю занимают другие поверхности.

Аналогичные работы в условиях слабой хозяйственной освоенности территории были проведены на полигоне «Смольный». На данном полигоне решалась более сложная задача — картографирование геосистем. В качестве входных использованы 6, 5 и 7 каналы космического снимка Landsat-9 от 15.08.2022 г. (LC09_L1TP_173022_20220815_20220815_02_T1).

В качестве базовой картографической модели, на основе которой осуществлялась проверка результатов экспериментов, выступила ландшафтная карта национального парка «Смольный» [6]. В результате экспериментов дешифрировались следующие классы: 1 — геосистемы надпойменных террас; 2 — геосистемы водно-ледниковой равнины; 3 — пойменные геосистемы; 4–5 — сельскохозяйственные угодья на пойменных геосистемах; 6 — водные объекты; 7 — открытые участки песчаного карьера; 8 — селитебные территории.

Некоторые результаты расчета матрицы ошибок для контрольных участков представлены в таблице 3. Наилучший показатель $OTK(НП)$ зарегистрирован для нейронной сети с 13 скрытыми нейронами (97,0%), что также, как и для экспериментов на предыдущем полигоне, в 1,6 раза больше, чем количество дешифрируемых классов (выходных нейронов). Для данной топологии довольно низкий показатель $ДНП_{ср.}$ — 1,3%. Показатель $T_{пр.}(НП)$ для большинства классов выше 95%. Исключение составляет значение данного показателя для 4 (94,7%) и 7 (90,3%) классов. Также было установлено, что хорошие показатели точности продемонстрировала нейронная сеть с 8, 11, 12 и 14 скрытыми нейронами (рис. 3).

Область применения результатов. Представленные подходы к картографированию землепользования в совокупности с расчетом ландшафтных метрик, параметров биоразнообразия и другими исследованиями позволили разработать модель геоэкологического зонирования культурного ландшафта региона [3, 4, 9].

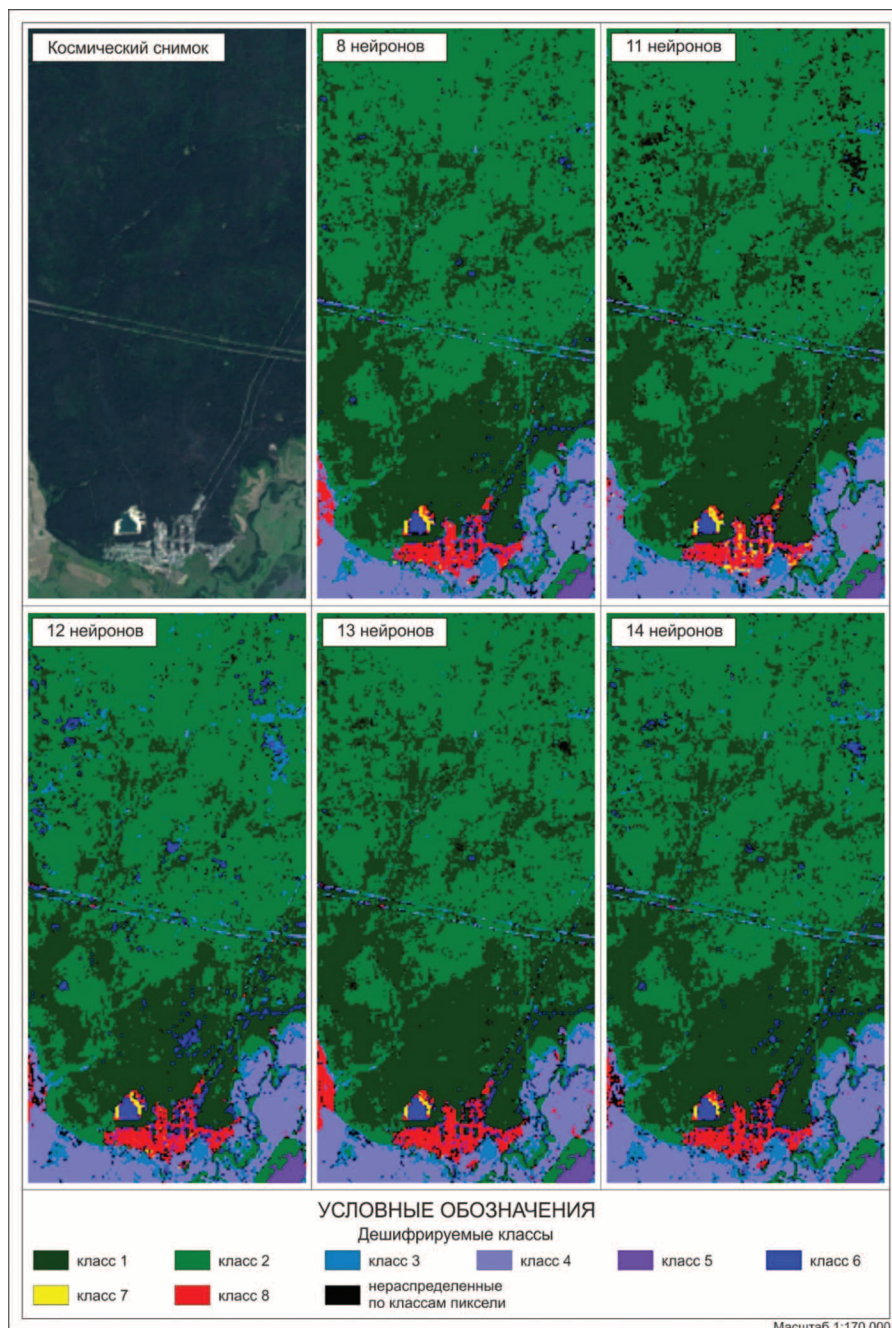


Рисунок 3. Результаты картографирования геосистем полигона «Смольный» на основе нейронных сетей
Figure 3. Results of mapping of geosystems of the polygon «Smolny» based on neural networks



Результаты целесообразно использовать при составлении и внесении изменений в документы территориального планирования регионально- и муниципального уровней.

Выводы. Таким образом, в рамках выполнения НИР были разработаны подходы к дешифрированию многозональных космических снимков в условиях землепользования хозяйственно-го каркаса и зон экологического равновесия. Предложена оптимальная топология и обучена нейронная сеть, позволяющая с высокой точностью проводить дешифрирование классов землепользований Land Cover (полигон «Атемар», параметры ОТК(НП) = 94,8%, ДНП_{ср.} = 0,4%, T_{np.}(НП) для большинства классов составил более 95%) и картографирование природных геосистем (полигон «Смольный», параметры ОТК(НП)=97,0%, ДНП_{ср.} — 1,3%, T_{np.}(НП) для большинства классов выше 95%).

Предложенные подходы целесообразно использовать при картографировании как антропогенно модифицированных природно-социально-производственных систем, так и естественных геосистем для разработки цифровых моделей геоэкологического зонирования культурного ландшафта региона.

Список источников

1. Антропов Д.В. Особенности информационного обеспечения в контексте формирования региональной автоматизированной системы планирования и прогнозирования землепользования // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. Т. 67, № 3(399). С. 242-245. DOI: 10.55186/25876740_2024_67_3_242.
2. Болгов И.А. Анализ пространственной структуры сельскохозяйственных угодий юга Саратовского Заволжья // Научно-аграрный журнал. 2023. № 4(123). С. 60-67. DOI: 10.34736/FNC.2023.123.4.009.60-67.
3. Зарубин О.А. Функциональное геоэкологическое зонирование метагеосистем региона (на примере Республики Мордовия) // Успехи современного естествознания. 2023. № 9. С. 28-34. DOI: 10.17513/use.38099.
4. О.А. Зарубин, А.В. Кирюшин, А.Р. Агеева, О.В. Рычкова. Каркасный подход в функциональном геоэкологическом зонировании метагеосистем культурного ландшафта региона // Московский экономический журнал. 2023. Т. 8, № 8. С. 1-23. DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_8_409.
5. Колбовский Е.Ю. Стратегическое пространственное планирование как инструмент регионального развития // Ярославский педагогический вестник. 2011. Т. 3, № 3. С. 110-115.
6. А.А. Ямашкин, Т.Б. Силаева, Л.Д. Альба [и др.]. Мордовский национальный парк «Смольный». Саранск, 2000. 88 с.

Информация об авторах:

Зарубин Олег Александрович, кандидат географических наук, доцент кафедры землеустройства и ландшафтного планирования, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3410-1139>, oleg-zarubin@list.ru

Москалева Светлана Александровна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и ландшафтного планирования, moskaleva-s-a@yandex.ru

Ларина Алена Викторовна, кандидат географических наук, доцент кафедры землеустройства и ландшафтного планирования, ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-5038-3006>, larina2705@yandex.ru

Мучкаева Наталья Сергеевна, старший преподаватель кафедры землеустройства и ландшафтного планирования, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-8253-6883>, Tosyanya2013@mail.ru

Козлова Екатерина Анатольевна, преподаватель кафедры землеустройства и ландшафтного планирования, ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-6383-3142>, kozlova.ea.10@yandex.ru

Information about the authors:

Oleg A. Zarubin, candidate of geographical sciences, associate professor of the department of land management and landscape planning, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3410-1139>, oleg-zarubin@list.ru

Svetlana A. Moskaleva, candidate of geographical sciences, associate professor, associate professor of the department of land management and landscape planning, ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-0010-3929>, moskaleva-s-a@yandex.ru

Alena V. Larina candidate of geographical sciences, associate professor of the department of land management and landscape planning, ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-5038-3006>, larina2705@yandex.ru

Natalya S. Muchkaeva, senior lecturer, department of land management and landscape planning, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-8253-6883>, Tosyanya2013@mail.ru

Ekaterina A. Kozlova, lecturer, department of land management and landscape planning, ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-6383-3142>, kozlova.ea.10@yandex.ru

7. Т.В. Черненкова, И.П. Котлов, Н.Г. Беляева [и др.]. Оценка и картографирование ценотического разнообразия лесов Московского региона // Лесоведение. 2022. № 6. С. 617-630. DOI: 10.31857/S0024114822060043.

8. Родоман Б.Б. Некоторые пути сохранения биосферы при урбанизации // Вестник Московского университета. Сер. География. 1971. № 3. С. 92-94.

9. Ямашкин А.А. Методика функционального геоэкологического зонирования метагеосистем для целей устойчивого эколого-социально-экономического развития региона (на примере Республики Мордовия) // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 3. С. 1100-1119. DOI: 10.55186/25876740_2022_6_3_9.

10. Ямашкин А.А., Ямашкин С.А. Использование нейронных сетей прямого распространения для ландшафтного картографирования на базе космических снимков // Геодезия и картография. 2014. № 11. С. 52-58.

11. Bossard M. CORINE Land cover technical guide. Copenhagen, 2000. 105 p.

12. Licari, M., Sigura, E., Tordoni [et al.]. Determining Plant Diversity within Interconnected Natural Habitat Remnants (Ecological Network) in an Agricultural Landscape: A Matter of Sampling Design? // Diversity. 2022. V. 14 (1), Issue 12. <http://doi.org/10.3390/d14010012>.

13. Jalkanen J. Identification of ecological networks for land-use planning with spatial conservation prioritization // Landscape Ecology. 2020. V. 35. P. 353-371. DOI: 10.1007/s10980-019-00950-4.

14. Landsat 8 (L8) : data users handbook. Sioux Falls : Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 2019. 106 p.

15. Scanex Image Processor v.4.2: руководство пользователя. Москва, 2015. 354 с.

References

1. Antropov D.V., Kirillov R.A. & Komarov S.I. (2024). *Osobennosti informacionnogo obespecheniya v kontekste formirovaniya regional'noj avtomatizirovannoj sistemy planirovaniya i prognozirovaniya zemlepol'zovaniya* [Features of information support in the context of the formation of a regional automated system of planning and forecasting of land use]. International Agricultural Journal, vol. 67, no. 3(399), pp. 242-245. DOI: 10.55186/25876740_2024_67_3_242.
2. Bolgov I.A. & Berdengaliev A.N. (2023). *Analiz prostanstvennoj struktury sel'skoxozyajstvenny'x ugodij yuga Saratovskogo Zavolzh'ya* [Analysis of the spatial structure of agricultural lands in the south of the Saratov Volga region]. Scientific and Agronomic Journal, no. 4(123), pp. 60-67. DOI: 10.34736/FNC.2023.123.4.009.60-67.
3. Zarubin O.A., Rychkova O.V. & Ageeva A.R. (2023). *Funkcional'noe geoe'kologicheskoe zonirovaniye metageosistem regiona (na primere Respubliki Mordoviya)* [Functional geoeological zoning of metageosystems of the region (by the example of the Republic of Mordovia)]. Achievements of modern natural science, no. 9, pp. 28-34. DOI: 10.17513/use.38099.

4. Zarubin O.A., Kiryushin A.V., Ageeva A.R. & Rychkova O.V. (2023). *Karkasny'j podxod v funkcional'nom geoe'kologicheskom zonirovani' metageosistem kul'turnogo landshafta regiona* [Frame approach in functional geoeological zoning of metageosystems of cultural landscape of the region]. Moscow Economic Journal, vol. 8, no. 8, pp. 1-23. DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_8_409.

5. Kolbovsky E.Yu. (2011). *Strategicheskoe prostranstvennoe planirovaniye kak instrument regional'noy razvitiya* [Strategic spatial planning as a tool for regional development]. Yaroslavl Pedagogical Bulletin, vol. 3, no. 3, pp. 110-115.

6. Yamashkin A.A., Silaeva T.B., Alba L.D. [et al.] (2000). *Mordovskij nacional'ny'j park «Smol'ny'j»* [Mordovian national park «Smolny»]. Saransk, 88 p.

7. Chernenkova T.V., Kotlov I.P., Belyaeva N.G. [et al.] (2022). *Ocenka i kartografirovaniye cenoticheskogo raznoobraziya lesov Moskovskogo regiona* [Assessment and mapping of cenotic diversity of forests of the Moscow region]. Forest Science, no. 6, pp. 617-630. DOI: 10.31857/S0024114822060043.

8. Rodoman B.B. (1971). *Nekotory'e puti soxraneniya biosfery pri urbanizacii* [Some ways to preserve the biosphere under urbanization]. Bulletin of Moscow University. Geography, no. 3, pp. 92-94.

9. Yamashkin A.A., Zarubin O.A. & Yamashkin S.A. (2022). *Metodika funkcional'noy geoe'kologicheskoy zonirovaniya metageosistem dlya celej ustojchivogo e'kologo-social'noe'konomicheskogo razvitiya regiona (na primere Respubliki Mordoviya)* [Methodology of functional geo-ecological zoning of metageosystems for the purposes of sustainable environmental, social and economic development of the region (by the example of the Republic of Mordovia)]. International Agricultural Journal, vol. 65, no. 3, pp. 1100-1119. DOI: 10.55186/25876740_2022_6_3_9.

10. Yamashkin A.A. & Yamashkin S.A. (2014). *Ispol'zovaniye nejronny'x setej pryamogo rasprostraneniya dlya landshaftnogo kartografirovaniya na baze kosmicheskix snimkov* [Using neural networks of direct propagation for landscape mapping based on space images]. Geodesy and Cartography, no. 11, pp. 52-58.

11. Bossard M., Feranec J., Otahel J. (2000). CORINE Land cover technical guide, Copenhagen, 105 p.

12. Licari F., Sigura M., Tordoni E. [et al.] (2022). Determining Plant Diversity within Interconnected Natural Habitat Remnants (Ecological Network) in an Agricultural Landscape: A Matter of Sampling Design? *Diversity* (electronic journal), vol. 14 (1), issue 12. Available at: <http://doi.org/10.3390/d14010012> (accessed: 25 September 2024).

13. Jalkanen J., Toivonen T. & Moilanen A. (2020). Identification of ecological networks for land-use planning with spatial conservation prioritization. *Landscape Ecology*, vol. 35, pp. 353-371. DOI: 10.1007/s10980-019-00950-4

14. Landsat 8 (L8): data users handbook (2019). Sioux Falls : Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. 106 p.

15. Scanex Image Processor v.4.2: rukovodstvo pol'zovatelya [ScanEx Image Processor v.4.2: User Manual] (2015). Moscow, 354 p.

