

Геоинформатика. 2022. № 3. С. 4–14.  
*Geoinformatika*. 2022;(3):4–14.

### Применение ГИС-технологий

Научная статья  
 УДК: 528(88+94):004.9  
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-3-4-14>

## Применение методов геоинформационного картографирования для урбанизированных территорий с использованием данных дистанционного зондирования

© 2022 г. — Ольга Владимировна Артемьева<sup>a)</sup>, Наталия Александровна Позднякова<sup>b)</sup>, Федор Александрович Гневашев<sup>c)</sup>

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра картографии и геоинформатики, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>a)</sup>ovartemyeva@mail.ru, <sup>b)</sup>n.pozdnyakova@spbu.ru, <sup>c)</sup>45fn@mail.ru

**Аннотация:** В работе рассмотрен ряд примеров картографирования урбанизированных территорий с использованием данных дистанционного зондирования (ДДЗ) (Landsat 4-5, 7, 8 и Sentinel 2) на основе открытой информационной системы QGIS. На базе нескольких проектов, выполненных в стенах Института наук о Земле СПбГУ, показаны основные шаги обработки ДДЗ и использования ГИС, а также существенные различия в деталях, которые меняются в зависимости от цели проекта и самой территории. Выполнены обработка и анализ данных, а также картографирование в динамике г. Волгограда — населенного пункта с линейной градостроительной планировкой с большой протяжённостью, исследование экологического состояния (в частности, анализ тепловых аномалий) и составлена карта г. Балаково как градообразующего атомного центра Саратовской области РФ, анализ рекреационных зон городов Ставропольского края, а также картографирование урбанизированных территорий одного из зарубежных государств Азиатско-Тихоокеанского региона. Акцентируется внимание на актуальность и необходимость популяризации в управленческих кругах алгоритмов и методик использования ДДЗ, а также доступного программного обеспечения (ПО) и открытых данных для целей повышения эффективности принимаемых решений на территории различных регионов Российской Федерации.

**Ключевые слова:** данные дистанционного зондирования, ДДЗ, геоинформационное картографирование, урбанизированные территории, открытые ГИС

Для цитирования: Артемьева О.В., Позднякова Н.А., Гневашев Ф.А. Применение методов геоинформационного картографирования для урбанизированных территорий с использованием данных дистанционного зондирования // Геоинформатика. — 2022. — № 3. — С. 4–14. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-3-4-14>.

### Application of GIS-technologies

Original article

## Application of geoinformation mapping methods for urbanized territories using remote sensing data

© 2022 — Olga V. Artemeva<sup>a)</sup>, Nataliya A. Pozdnyakova<sup>b)</sup>, Fiodor A. Gnevashev<sup>c)</sup>

St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Cartography and Geoinformatics, St. Petersburg, Russia

<sup>a)</sup>ovartemyeva@mail.ru, <sup>b)</sup>n.pozdnyakova@spbu.ru, <sup>c)</sup>45fn@mail.ru

**Abstract:** The article considers examples of mapping urban areas using remote sensing data (Landsat 4-5, 7, 8 and Sentinel 2) based on the QGIS open information system. On the basis of several projects carried out at the Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University, the main steps of remote sensing data processing and the use of GIS are shown, as well as significant differences in details, which vary depending on the purpose of the project and the study area. The authors performed data processing and analysis, as well as dynamic mapping of the city of Volgograd, a settlement with a linear urban planning with a large extent, studied the ecological state (in particular, analysis of thermal anomalies) and compiled a map of the city of Balakovo as a city-forming nuclear center of the Saratov region of the Russian Federation, analyzed the recreational areas of the cities of the Stavropol Territory, and also compiled the urbanized territories of one of the foreign states of the Asia-Pacific region. Attention is focused on the relevance and necessity of popularization in the management circles of algorithms and methods for using available software and open data to improve the efficiency of decisions made in various regions of the Russian Federation.

**Key words:** remote sensing data, space images, geoinformation mapping, urban areas, open GIS

For citation: Artemeva O.V., Pozdnyakova N.A., Gnevashev F.A. Application of geoinformation mapping methods for urbanized territories using remote sensing data. *Geoinformatika*. 2022;(3):4–14. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-3-4-14>. In Russ.

Городские земли составляют небольшую долю поверхности Земли, но в них сосредоточено абсолютное большинство экономических, социальных и культурных ресурсов. В 2021 г. в Российской Федерации, несмотря на огромную территорию государства, по официальным статистическим данным [1] более 75% населения, а также огромное число объектов промышленности, науки, социальной сферы и культуры было сосредоточено в городах. Картографирование городских земель имеет огромную роль для эффективности принятия управленческих решений в целях достижения устойчивого развития территории, а также для изучения динамики производительных сил региона. Появляется возможность прогнозирования таких показателей, которые в первую очередь влияют на экономическую эффективность и качество жизни населения как в отдельном городе, так и в масштабе городских кластеров и субъектов федерации.

Тематическое картографирование городов является основой любой муниципальной географической информационной системы (ГИС). Благодаря визуальным моделям администраторы имеют возможность оптимизировать управление городской территорией, создавать генеральные планы, схемы территориального развития. Эти карты (как итоги функционирования ГИС) состоят из компонентов, описывающих городскую инфраструктуру, финансовые, культурно-развлекательные, медицинские и другие учреждения, содержат информацию об архитектурных достопримечательностях, маршрутах городского транспорта. Если карта выполнена в электронном виде и включена в Федеральную государственную информационную систему территориального планирования (ФГИС ТП [2]), то для пользователя имеется возможность использовать поисковую систему улиц и других объектов, обозначенных на карте по названию, домов и строений — по адресу, а также получить любую градостроительную пространственную информацию о крае, республике, регионе, области, отдельных городах.

Быстрый рост населения и концентрация его на ограниченной территории, где сосредоточены финансовые, политические и общественные интересы большого числа людей, приводят к тому что, собственно роль города во всех сферах жизни общества возрастает, и, как следствие, увеличивается и количество электронных карт, отражающих всевозможные нюансы демографических, экономических и экологических свойств города.

Картографирование городов подразделяется на три группы [3]: а) топографическое: это карты и планы, получаемые преимущественно с помощью аэрофото- и топографической съемки, на них с большой точностью локализации показаны здания и строения, улицы и площади, реки, водоемы, железнодорожные платформы, все выходы станций метро; б) инженерно-техническое, специальное (на комплексных картах показываются сети различно-

го назначения (электрические, газовые, водные, тепловые канализационные), подземные сооружения и другие объекты, на аналитических картах — один определенный вид объектов, с указанием количественных и качественных характеристик); в) тематическое: отдельные карты или серии карт эколого-географической или социально-экономической тематик.

Исследование городов, его динамики, в том числе и методами картографии входит в комплекс научного изучения процессов урбанизации в целом, когда исследуются изменения в размещении производительных сил, прежде всего в расселении населения, его социально-профессиональной, демографической структуре, образе жизни и культуре [4]. В современных процессах урбанизации можно выделить две важных составляющих. С одной стороны, это выход города за свои изначальные границы, то есть формирование более сложных систем агломераций, мегаполисов, урбанизированных районов. С другой стороны, влияние города непосредственно на человека, формирование городского общества, для которого становится характерно большее разнообразие потребностей, рост требований к качеству, образование новых систем ценностей и т.д. В настоящее время исследование процессов урбанизации играет колоссальную роль. Уплотнение и расширение городских территорий влечет за собой различные проблемы. Среди них загрязнение окружающей среды, сложности с обеспечением пропитания больших масс людей, необходимость в мощной транспортной инфраструктуре и более совершенных подходах к городскому проектированию [5].

Создание визуальных картографических моделей городов и городских агломераций, их дальнейший анализ с целью выявления закономерностей размещения населения и как следствие принятие решений по управлению городскими территориями на современном этапе невозможно без геоинформационных систем. Получение же первичной информации базируется на данных дистанционного зондирования, которые могут быть получены в виде космических изображений различных зон спектра.

На кафедре картографии и геоинформатики Института наук о Земле СПбГУ в рамках научных проектов, проводимых силами преподавателей и студентов, уже несколько лет идет активная работа по исследованию использования данных дистанционного зондирования для картографирования урбанизированных территорий. Мы разрабатываем методы и алгоритмы обработки этих данных, а также способы их представления в виде визуальных картографических моделей. Выполнение всех работ как правило сопровождается использованием самого разного программного обеспечения автоматизированной обработки пространственных данных, но в связи с последними событиями перехода российской экономики на самостоятельные рельсы,

все более склоняемся к использованию «открытых ГИС».

Авторы хотели бы продемонстрировать ряд проектов, где использовались разрабатываемые нами методики обработки ДДЗ для целей картографирования и анализа урбанизированных территорий. Основные шаги обработки ДДЗ и использования ГИС похожи, но имеются существенные различия в деталях, которые меняются в зависимости от цели проекта и самой территории (площадь, подстилающая поверхность и т.п.). Базовая схема обработки ДДЗ опирается на классиков отечественной и зарубежной фотограмметрии [6, 7, 8, 9, 10, 11], а также разработки наших авторов [12] и выглядит следующим образом:

1. Получение разновременных космических снимков, векторных данных.
2. Атмосферная коррекция и слияние изображений (pan-sharpening).
3. Получение индексных изображений.
4. Проведение полуавтоматической классификации с обучением (в некоторых проектах «многоступенчатое обучение»).
5. Постклассификационная обработка раstra для удаления шумов.
6. Визуальное сравнение и удаление ошибочно выделенных зон.
7. Задание стилей и составление макета.

При получении исходных данных дистанционного зондирования мы предлагаем пользоваться порталом Earthexplorer [13, 14]. Для получения данных в динамике, зачастую требуются разновременные космические изображения различных миссий. Свежие данные представлены системой Landsat 8 (2013 г. — наше время), более ранние — Landsat 7 (1999–2003 гг., т.к. аппаратура была повреждена) или Landsat 4-5 (1982–2014 гг.), в зависимости от показаний облачности на снимке (не больше 20%).

Первый шаг обработки снимков начинается с радиометрической и атмосферной коррекции [11] с целью устранить искажения, вызванных съёмочной аппаратурой и средой прохождения сигнала, а также для повышения качества визуализации. Радиометрическая коррекция позволяет избежать радиометрических ошибок и искажений. Освещённость объектов на поверхности Земли неравномерна из-за разных свойств рельефа. Этот фактор учитывается в методе радиометрической коррекции искажений. Радиометрическая коррекция даёт шкалу значений пикселей, т.е. монохроматическая шкала от 0 до 255 будет преобразована в фактические значения яркости [10].

Следующий шаг — получение индексных изображений. В одном из пионерных проектов по исследованию роста г. Волгограда — населенного пункта с линейной градостроительной планировкой с большой протяжённостью, где длина города (70 км) во много раз превосходит его ширину — наши со-

трудники анализировали разницу в построении индексных изображениях застроенных территорий.

У г. Волгограда очень много проблем именно из-за исторически сложившегося увеличения его длины: происходит срастание городских районов за счёт ликвидации зелёных зон, страдает жилая застройка возле промышленных предприятий, оказавшихся при расширении населенного пункта в центральных районах, усугубляется экологическое равновесие.

Для автоматизации определения территории, занимаемой городской застройкой, используют множество индексов.

Нормализованный индекс застройки

$$NDBI = (R_{SWIR1} - R_{NIR}) / (R_{SWIR1} + R_{NIR}),$$

где  $R_{NIR}$  — значение спектральной плотности излучения в ближнем инфракрасном канале,  $R_{SWIR1}$  — значение спектральной плотности излучения в среднем инфракрасном канале [15].

$NDBaI = (R_{SWIR1} - R_T) / (R_{SWIR1} + R_T)$  — индекс нормализованной разности открытой поверхности, где  $R_{SWIR1}$  — значение спектральной плотности излучения в среднем инфракрасном канале,  $R_T$  — значение спектральной плотности излучения в дальнем инфракрасном спектральном канале. Он отделяет разные почвы друг от друга и от некоторой части построек, основан на температурной разности поверхности почв.

$NDWI = (R_G - R_{NIR}) / (R_G + R_{NIR})$  — индекс водных поверхностей, где  $R_{NIR}$  — значение спектральной плотности излучения в ближнем инфракрасном канале,  $R_G$  — значение спектральной плотности излучения в зеленом канале, основанный на том, что вода отражает в видимом диапазоне волн гораздо больше, чем в инфракрасном.

Этот же принцип используется в индексе с таким же названием NDWI, но вместо зеленого канала используют красный канал видимого спектра. В 2006 г. индекс был модифицирован, были подавлены шумы, появляющиеся за счет зданий:

$NDWI = (R_G - R_{SWIR1}) / (R_G + R_{SWIR1})$ , где  $R_G$  — значение спектральной плотности излучения в зеленом канале,  $R_{SWIR1}$  — значение спектральной плотности излучения в среднем инфракрасном канале.

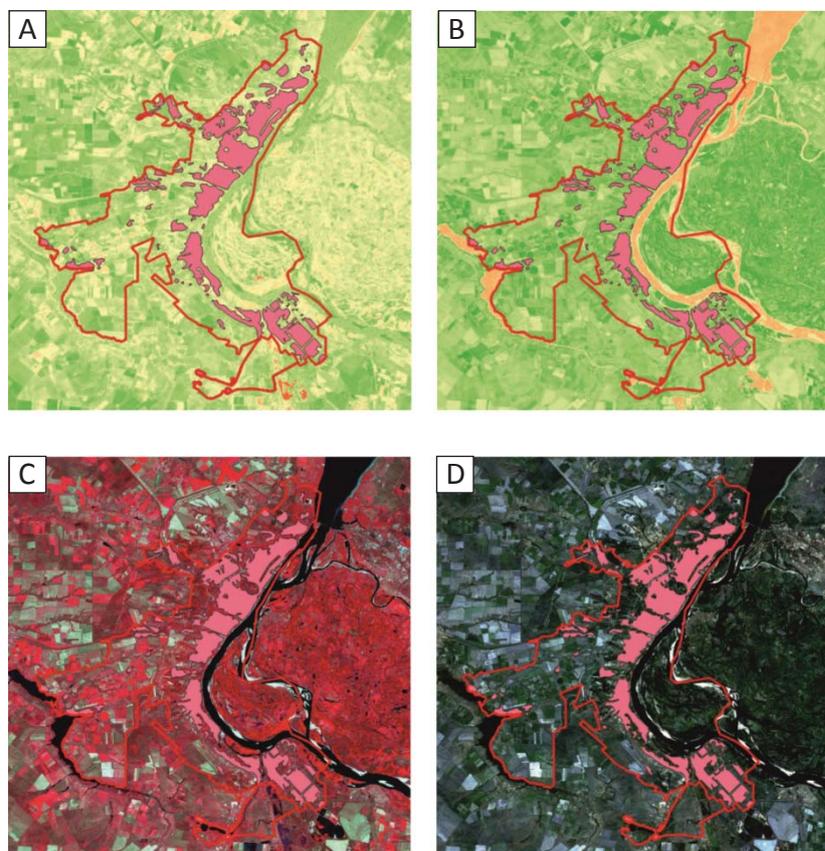
$NDVIC = (R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R)$  — нормализованный вегетационный индекс, где  $R_{NIR}$  — значение спектральной плотности излучения в ближнем инфракрасном канале,  $R_R$  — значение спектральной плотности излучения в красном канале.

Также можно использовать индекс  $UI$  (Urban Index – Городской индекс), который в целом похож на  $NDBI$ , однако отличие заключается в том, что вместо канала  $SWIR$  используется канал  $SWIR2$ . Использование данного индекса в некоторых случаях может повысить качество выделения застроенных территорий.

$$UI = \left( \frac{R_{SWIR2} - R_{NIR}}{R_{SWIR2} + R_{NIR}} + 1 \right) \times 100,$$

**Рис. 1.** Синтезированные изображения г. Волгограда, 2020 г.; А — каналы 3-2-1, В — каналы 2-3-4 (Blue-Green-Red), С — индекс *NDBI* и D — *NDVI*

*Fig. 1. Synthesized images of Volgograd, 2020; A — channels 3-2-1, B — channels 2-3-4 (Blue-Green-Red), C — NDBI index and D — NDVI*



где  $R_{SWIR2}$  — значения пикселей из коротковолнового инфракрасного канала с центрированием около 2,08-2,35 мкм,  $R_{NIR}$  — значение спектральной плотности излучения в ближнем инфракрасном канале.

В *UI* не участвуют каналы видимого спектра, так как они больше всего подвержены влиянию атмосферных условий.

Было выявлено, что наиболее точно отображает городскую застройку г. Волгограда именно индекс *NDBI*. В итоге застроенная территория была выделена при помощи визуального ручного дешифрирования, опираясь на синтезированные изображение в 3-2-1 и 2-3-4 каналах (Blue-Green-Red), индекс *NDBI* и *NDVI* (рис. 1).

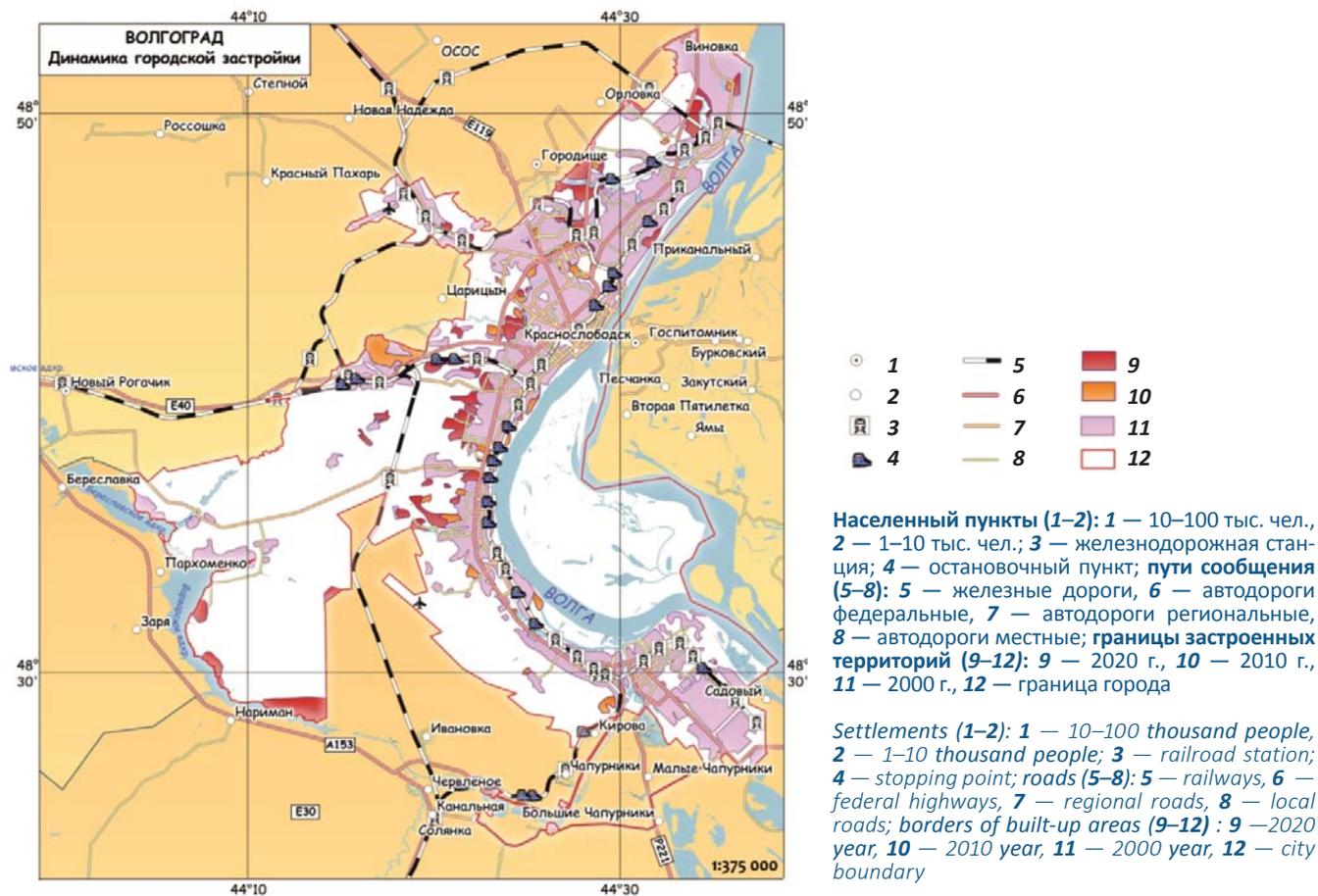
В дальнейшем была проведена полуавтоматическая классификация с обучением и постклассификационная обработка раstra. Особенностью данного полигона был тот факт, что на снимках ошибочно классифицировались поля, которые раньше были засеяны, а на более поздних снимках урожай уже убрал, или же наоборот. Также ошибочно выделились некоторые водные территории и все территории, с открытым грунтом из-за одинаковой отражательной способности в 4-5 каналах. Придание

стилей и создание макета проходило в программе QGIS (рис. 2).

Второй проект, который достоин упоминания, применение геоинформационного картографирования на основе ДДЗ при анализе экологической обстановки крупного населенного пункта. В наше время для изучения территории города на первое место ставятся экологические факторы. Речь идет не только об установлении отклонений от экологических норм, норм концентрации загрязняющих веществ в окружающей среде или их выбросов промышленными предприятиями. Экологическое картографирование включает в себя отображение изменений теплового и водного балансов, которое возникает по ряду причин: преобладание личного транспорта над общественным, площадь твердых асфальтированных покрытий, преобладающий тип высокоэтажной застройки, загрязнение почв, атмосферы, подземных вод и пр. В попытках проанализировать экологическое состояние г. Балаково (градообразующий атомный центр Саратовской области РФ) мы выбрали анализ тепловых аномалий данного населенного пункта.

**Рис. 2.** Карта «Динамика городской застройки г. Волгограда», выполненная с использованием ДДЗ, ГИС и графических редакторов. Фиолетовый цвет фона – 2000 г., желтый – 2010 г., красный – 2020 г.

*Fig. 2. Map "Dynamics of urban development in Volgograd", made using remote sensing data, GIS and graphic editors. Purple background – 2000, yellow – 2010, red – 2020*

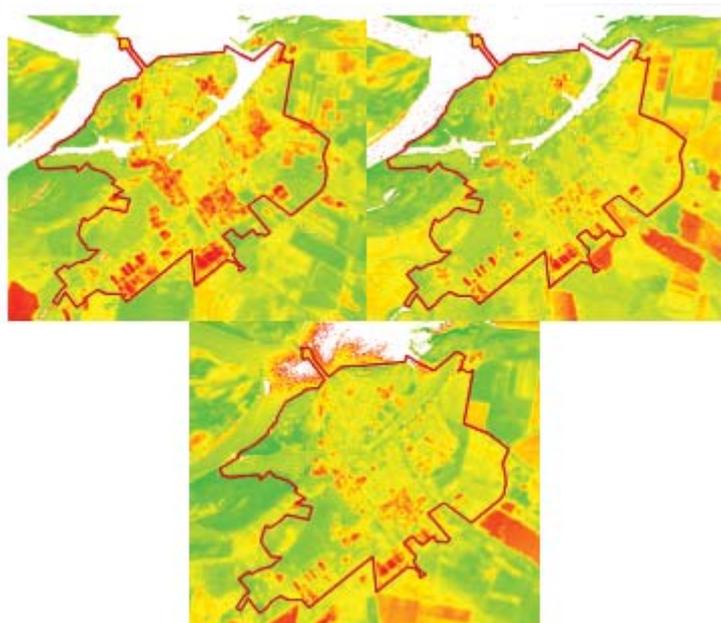


**Рис. 3.** Коэффициенты поверхности земли за 1990, 2004, 2019 гг., красные линии – границы г. Балаково

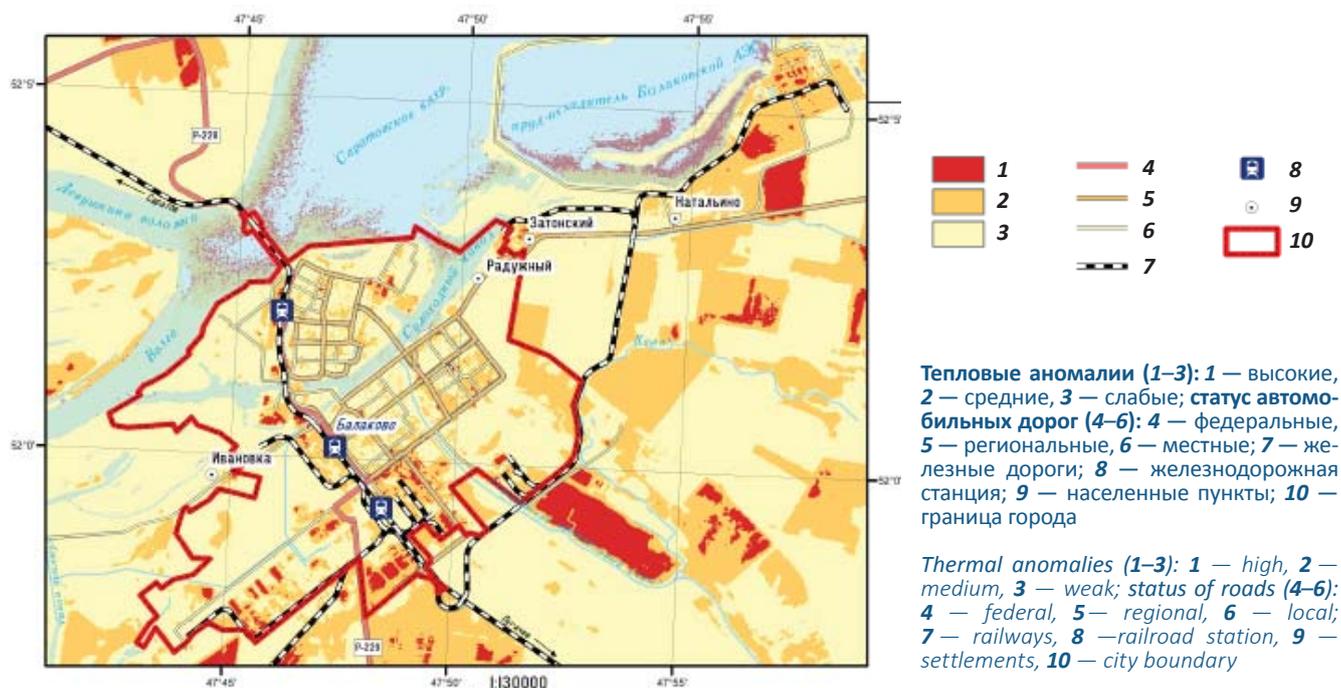
*Fig. 3. Land surface coefficients for 1990, 2004, 2019, red lines are the boundaries of Balakovo*



**Рис. 4.** Температура поверхности земли за 1990, 2004, 2019 гг., красные линии – границы г. Балаково  
*Fig. 4.* Earth surface temperature for 1990, 2004, 2019, red lines are the boundaries of Balakovo



**Рис. 5.** Тепловые аномалии г. Балаково. Карта выполнена с использованием обработки ДДЗ и ГИС  
*Fig. 5.* Thermal anomalies in Balakovo. The map was compiled using remote sensing data and GIS processing



После получения индексных изображений с помощью *NDVI* рассчитывался коэффициент поверхности земли (рис. 3).

Следующий шаг — расчет температуры поверхности земли с помощью инструмента «Калькулятор растра» (рис. 4). Расчет проводился с использованием теплового канала *Landsat*. Растры были классифицированы на три класса тепловых аномалий городских объектов: высокие, средние, слабые. Затем была проведена полуавтоматическая классификация с обучением для выделения новой застройки.

На выходном растре имелись шумы и неправильно определенные группы пикселей. Для генерализации использовался инструмент «Фильтр большинства». Далее была произведена классификация снимков за 1990, 2004, 2019 гг., использовались синтезированные изображения в 5-4-3 и 3-2-1 каналах, а также индексные изображения *UI* и *AWEL*. Из-за того, что ошибочно классифицировались поля и территории с открытым грунтом — проводилась ручная корректировка выделенных классов. В дальнейшем тепловые аномалии были привязаны к ди-

намике застройки за 30-летний период с последующим составлением соответствующей карты (рис. 5).

Заслуживает внимания еще один проект картографирования городских территорий с использованием ДДЗ на основе ГИС: создание серии электронных карт и анализ рекреационных зон Ставропольского края. Россия, ввиду своего географического положения, располагает большим количеством рекреационными ресурсами, основная часть которых расположена вдоль Черноморского побережья, на Алтае, Урале, вокруг озера Байкал, на полуострове Камчатка и на Северном Кавказе. К сожалению, все чаще встречаются проблемы использования рекреационных ресурсов: экологические проблемы с размещением полигонов складирования твердых бытовых отходов (ТБО), недостаточное количество заводов по их переработке, сбросы стоков в водоемы, ведущие к загрязнению и разрушению экосистем, избыточная экологическая нагрузка

на отдельные территории, исчерпание миграционной емкости, низкий уровень инфраструктурной обеспеченности и другие проблемы — все это негативно сказывается на здоровье людей, качестве оказываемых услуг в сфере туризма и на экологической обстановке в целом. В данном проекте использовались спутниковые снимки Sentinel-2 [16]. Главным плюсом использования данных снимков является то, что спутник имеет 12 спектральных каналов, а также функцию распознавания спектральных диапазонов, таких как NIR и SWIR. Они не фиксируются обычным человеческим зрением, но могут пригодиться для дальнейшего анализа и могут повлиять на качество результата работы. Прежде всего была произведена атмосферная коррекция снимков в программе Sen2Cor 4. Sen2Cor — это процессор для генерации и форматирования продуктов Sentinel-2 Level 2A: он выполняет коррекцию и создает изображения дна атмосферы, опционально рельефа

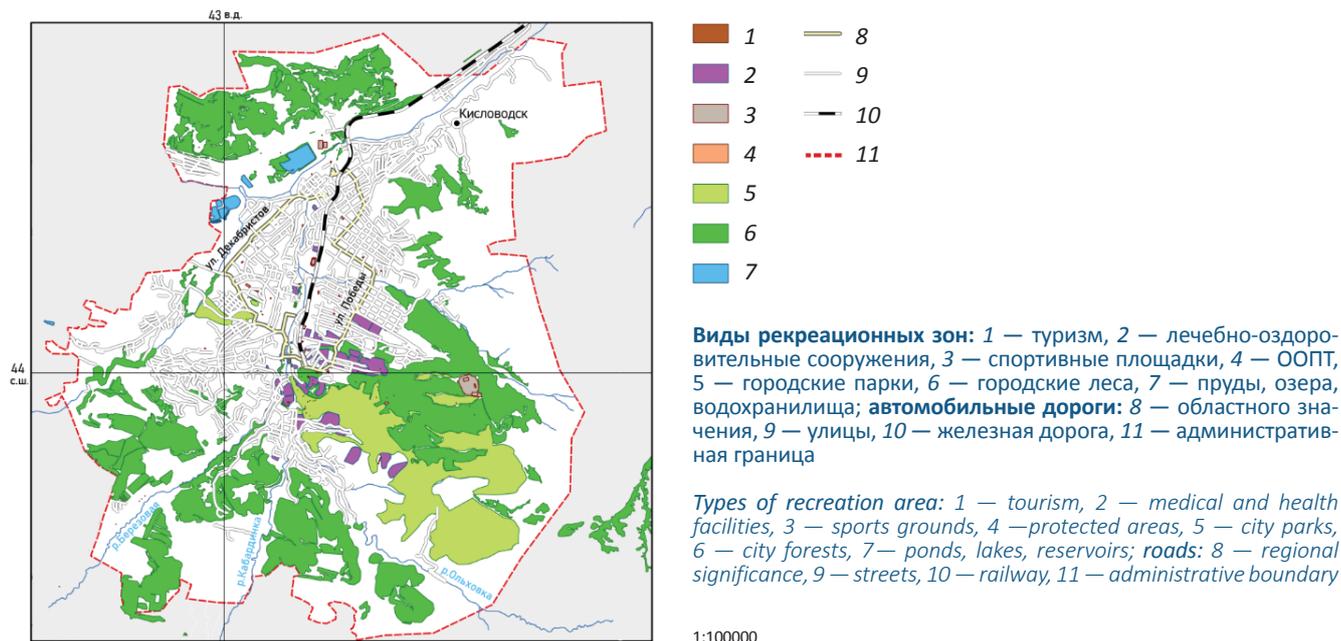
**Табл. 1.** Анализ рекреационных зон городов Ставропольского края средствами QGIS

*Tab. 1. Analysis of recreational areas of the cities of the Stavropol Territory using QGIS*

№	Населенные пункты	Кол-во объектов	Рекреационные зоны (км <sup>2</sup> )	Площадь городов	Численность	Процент общей площади рекреационных зон, от площади населенного пункта	Процент обеспечение населения рекреационными ресурсами
Города							
1	Благодарный	13	0,363739157	21,759	30,333	1,67	119,9153
2	Будённовск	169	22,82064206	76,485	60,504	29,83	3771,758
3	Георгиевск	67	5,413807547	23,710	65,633	22,83	824,8606
4	Ессентуки	199	7,372170799	28,578	114,824	25,79	642,0409
5	Железноводск	129	55,10826536	10,814	24,869	509,6	22159,42
6	Зеленокумск	63	4,133160546	31,172	33,738	13,26	1225,076
7	Изобильный	70	1,773831352	16,784	37,366	10,56	474,718
8	Ипатово	25	6,463138382	19,383	22,816	33,34	2832,722
9	Кисловодск	459	60,15040263	42,988	127,919	139,9	4702,226
10	Лермонтов	62	0,835378731	18,320	23,249	4,55	359,3181
11	Минеральные Воды	318	3,147617974	23,254	73,183	13,53	430,1023
12	Михайловск	111	2,353412984	30,130	95,525	7,81	246,3662
13	Невинномысск	100	10,06441775	45,007	115,627	22,36	870,4211
14	Нефтекумск	47	0,155198041	14,594	24,316	1,06	63,82548
15	Новоалександровск	33	0,844507862	22,805	26,354	3,70	320,4477
16	Новопавловск	91	1,868213225	19,629	26,054	9,51	717,0543
17	Пятигорск	383	25,55251026	41,307	146,267	61,86	1746,977
18	Светлоград	151	13,70484496	74,540	34,896	18,38	3927,35
19	Ставрополь	1653	195,289	131,519	454,488	148,48	4296,901

Рис. 6. Карта рекреационных зон г. Кисловодска, выполненная с использованием ДДЗ и средств ГИС

Fig. 6. Map of Kislovodsk recreational areas, compiled with remote sensing data and GIS



и перистого отражения, дополнительные карты аэрозольной оптической толщины, водяного пара, классификации сцен и показатели качества вероятностей облаков и снега. Его формат выходного продукта эквивалентен уровню пользовательского продукта 1С: JPEG 2000 изображений, трех разных форматов разрешения: 60, 20 и 10 м. В данном исследовании были использованы 2-3-4 канала, для преобразования в мультиспектральные снимки для компоновки в «Естественный Цвет». Следующим шагом стала работа с полученными данными в программном обеспечении QGIS. В этом же программном продукте авторами были проанализированы рекреационные зоны городов Ставропольского края и выполнено составление картографических моделей (табл. 1, рис. 6).

Идея проекта картографирования динамики роста города иностранного государства возник в связи с растущим политическим и экономическим интересом Российской Федерации к странам Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). Зарубежные партнеры всячески приветствуют любые российские разработки, затрагивающие территории этих государств, стараются сотрудничать, приглашают студентов и специалистов на стажировки, занимают активную позицию в плане информационной помощи. С целью отражения наибольшего спектра особенностей процессов урбанизации, городских планировок, физико-географических особенностей, экономических возможностей стран необходимо было выбрать разные страны и городские территории внутри них. Под эти критерии попадали КНР, Малайзия и Новая Зеландия, так как эти государства различны в физико-географических особенностях,

климате, политике, экономических возможностях, населении. Было решено выбрать в каждой стране по одной из многонаселенных городских территорий. Таким образом, в Китае был выбран Пекин — один из крупнейших городов мира, с его окрестными городами, с которыми он имеет значительные социально-экономические связи; в Малайзии выбор пал на столицу Куала-Лумпур с окрестностями, распространяющимися в сторону моря; в Новой Зеландии решено было взять Окленд — крупнейший город страны, который интересен тем, что с двух сторон зажат морем и отражает западную модель развития города в условиях Океании и АТР.

Радиометрическая калибровка и атмосферная коррекция с модулем SCP (Semi-automatic classification plugin) для QGIS не представляли особой сложности. Внутри окна модуля был выбран раздел «preprocessing», в котором далее выбран Landsat. В параметрах инструмента была выбрана директория с файлами каналов, а также файл метаданных. Также была установлена галочка у параметра «Apply DOS1 atmospheric correction» и выбраны необходимые для дальнейшей работы каналы. Затем, на основе полученных файлов, с помощью инструмента «Raster calculator» был произведен расчет изображения «индекса урбанизации» UI (Urban Index) и «водный индекс» WRI (Water ratio index) с использованием формулы:

$$WRI = \frac{GREEN + RED}{NIR + SWIR2}$$

где GREEN — канал спектра зеленого цвета, RED — канала спектра красного цвета, NIR — ближний ин-

**Рис. 7.** Бинарный растр урбанизированной территории г. Пекин

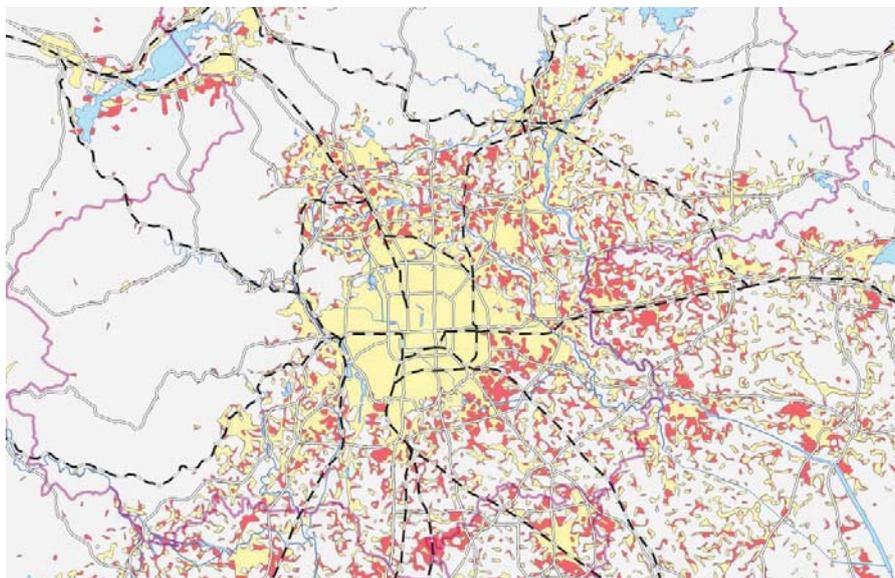
*Fig. 7. Binary raster of the urbanized area of Beijing*



**Рис. 8.** Итоговая сборка слоев карты урбанизированных территорий г. Пекин (без подписей и окончательного оформления).

Желтый цвет — урбанизированные территории на 2001 г., красный цвет — урбанизированные территории на 2021 г.

*Fig. 8. The final map of the urbanized areas of Beijing (without signatures and final design). Yellow color — urbanized territories for 2001, red color — urbanized territories for 2021*



фрактальный канал, *SWIR2* — коротковолновый инфракрасный канал.

В целом, этапы создания карты совпадают с ранее описанными, но есть некоторые отличия. Так, выбранная территория не покрывалась одной сценой Landsat. Поэтому на 2001 и на 2021 гг. соответственно использовались по 2 снимка, которые объединялись в один на этапе перед созданием векторных моделей застройки и суши/воды с помощью инструмента QGIS «Merge». Далее все этапы выпол-

нялись аналогично, но для объединенных изображений. На рис. 7 представлен один из первых шагов обработки ДДЗ — получение бинарного растра урбанизированных территорий (белым цветом) на 2001 г. Этот и последующие этапы также проводились для данных на 2021 г.

На визуальных моделях было решено показать покрытие урбанизированных территорий на 2001 и 2021 гг., наиболее важные автомобильные и железные дороги, границы субъектов и подписи муници-

пальных образований и городских районов (рис. 8). Выбор такого 20-летнего временного отрезка обоснован тем, что данного периода вполне достаточно для значительного изменения площади городской застройки (современные технологии постройки позволяют строить большие жилые дома и производственные корпуса и меньше чем за год, но даже если брать время для постройки крупных зданий 2-4 года, то этот период все равно окажется достаточным). Кроме того, в Китае важную роль в экономике играют пятилетние планы и, соответственно, за рассматриваемый период их прошло 4, что опять же говорит о достаточности выбранного временного отрезка.

В связи с особенностью Пекина (в административном плане он является субъектом государства и его площадь в разы больше, чем его основная урбанизированная территория), было решено создавать карту на южную часть Пекина, как субъекта, но которая полностью захватывает центральную часть города. Кроме того, в итоговую карту попали территории окрестных субъектов. Решено было использовать масштаб 1:700 000, чтобы наиболее полно показать связь центра с прилегающей местностью в плане городских сетей.

#### Список источников

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 10.04.2022).
2. Федеральная государственная информационная система территориального планирования [Электронный ресурс] / Министерство экономического развития Российской Федерации. – Режим доступа: <https://fgistp.economy.gov.ru/> (дата обращения: 10.04.2022).
3. Прохорова Е.А. Социально-экономические карты: учебное пособие. – М. : КДУ, Добросвет, 2018. – 424 с.
4. Демографический энциклопедический словарь / Под ред. Д.И. Валентей. – М. : Советская энциклопедия, 1985. – 608 с.
5. Соболева Н.П., Замятина Ю.Л., Барановская Н.В., Жорняк Л.В. Геоурбанистика: учебное пособие. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 301 с.
6. Lillesand T., Kiefer R., Chipman J. Remote sensing and image interpretation / 7 edn. – New York : Wiley, Hoboken, 2015. – 720 p.
7. Miller H.M. Users and uses of Landsat 8 satellite imagery—2014 survey results: U.S. Geological Survey Open-File Report 2016–1032. – Reston : U.S. Geological Survey, 2016. – 27 p.
8. Quinn J. Summary of Band Combinations [Электронный ресурс]. – 2001. – Режим доступа: [https://web.pdx.edu/~nauna/resources/10\\_BandCombinations.htm](https://web.pdx.edu/~nauna/resources/10_BandCombinations.htm) (дата обращения: 01.02.2022).
9. Seger M. Remote-sensing cartography with satellite photography - digital methods, relief map-making, examples of geographical science // Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft. – 1989. – Bd. 131. – S. 311–312.
10. Григорьев А.Н. Метод коррекции радиометрических искажений многозональных данных дистанционного зондирования Земли // Научно-технологический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15. – № 4. – С. 595–602. DOI:10.17586/2226-1494-2015-15-4-595-602.
11. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М. : Техносфера, 2010. – 556 с.
12. Artemeva O.V., Zareie S., Elhaei Y., Pozdnyakova N.A., Vasilev N.D. Using remote sensing data to create maps of vegetation and relief for natural resource management of a large administrative region // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2019. –Vol. XLII-4/W18. – P. 103–109. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-103-2019.
13. EarthExplorer [Электронный ресурс] / United States Geological Survey (USGS). – 2018. – Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 01.02.2022).
14. Landsat Collections [Электронный ресурс] / United States Geological Survey (USGS). – 2018. – Режим доступа: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collections> (дата обращения: 01.02.2022).
15. Estoque R.C., Murayama Y. Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: a comparative assessment of various spectral indices // Ecological Indicators. – 2015. – Vol. 56. – P. 205–217. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.03.037.
16. Sentinel-2 MSI User Guide [Электронный ресурс] / The European Space Agency. – Режим доступа: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi> (дата обращения: 11.03.2022).

## References

1. Federal State Statistics Service. Available at: <https://eng.rosstat.gov.ru/> (accessed: 10.04.2022).
2. Federal'naya gosudarstvennaya informatsionnaya sistema territorial'nogo planirovaniya [Federal state information system of territorial planning]. Available at: <https://fgistp.economy.gov.ru/> (accessed: 10.04.2022).
3. Prokhorova E.A. Sotsial'no-ehkonomicheskie karty: uchebnoe posobie [Socio-economic maps: a study guide]. Moscow: KDU, Dobrosvet; 2018. 424 p.
4. Valentei D.I. (ed.) Demograficheskiy ehntsiklopedicheskiy slovar' [Demographic Encyclopedic Dictionary]. Moscow: Sovetskaya ehntsiklopediya; 1985. 608 p.
5. Soboleva N.P., Zamyatina Yu.L., Baranovskaya N.V., Zhornyyak L.V. Geourbanistika: uchebnoe posobie [Geourbanistics: a textbook]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta; 2012. 301 p.
6. Lillesand T., Kiefer R., Chipman J. Remote sensing and image interpretation. 7 edn. New York: Wiley, Hoboken; 2015. 720 p.
7. Miller H.M. Users and uses of Landsat 8 satellite imagery—2014 survey results: U.S. Geological Survey Open-File Report 2016–1032. Reston: U.S. Geological Survey, 2016. 27 p.
8. Quinn J. Summary of Band Combinations. 2001. Available at: [https://web.pdx.edu/~nauna/resources/10\\_BandCombinations.htm](https://web.pdx.edu/~nauna/resources/10_BandCombinations.htm) (accessed: 07.09.2022).
9. Seger M. Remote-sensing cartography with satellite photography- digital methods, relief map-making, examples of geographical science. *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft*. 1989;131:311–312.
10. Grigoriev A.N. Method of radiometric distortion correction of multispectral data for the earth remote sensing. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2015;15(4): 595–602. DOI:10.17586/2226-1494-2015-15-4-595-602.
11. Schowengerdt R.A. Remote sensing. Models and methods of image processing. 3 edn. Oxford; Academic, 2006. 515 p.
12. Artemeva O.V., Zareie S., Elhaei Y., Pozdnyakova N.A., Vasilev N.D. Using remote sensing data to create maps of vegetation and relief for natural resource management of a large administrative region. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019;XLII-4/W18:103–109. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-103-2019.
13. EarthExplorer. United States Geological Survey (USGS), Data and Tools. 2018. Available at: <https://earthexplorer.usgs.gov> (accessed: 01.02.2022).
14. Landsat Collections. United States Geological Survey (USGS). 2018. Available at: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collections> (accessed: 01.02.2022).
15. Estoque R.C., Murayama Y. Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: a comparative assessment of various spectral indices. *Ecological Indicators*. 2015;56:205–217. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.03.037.
16. Sentinel-2 MSI User Guide. Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi> (accessed: 11.03.2022).

Статья поступила в редакцию 04.07.2022, одобрена после рецензирования 24.08.2022, принята к публикации 20.09.2022.  
The article was submitted 04.07.2022; approved after reviewing 24.08.2022; accepted for publication 20.09.2022.

## Информация об авторах

**Артемьева Ольга Владимировна**

Кандидат географических наук,  
Доцент кафедры картографии и геоинформатики Санкт-Петербургского государственного университета, Института наук о Земле  
199034 Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9  
e-mail: ovartemyeva@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-5741-6598  
Web of Science ResearcherID: L-7778-2015  
SPIN-код: 7813-9220

**Позднякова Наталия Александровна**

Старший преподаватель кафедры картографии и геоинформатики Санкт-Петербургского государственного университета, Института наук о Земле  
199034 Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9  
e-mail: n.pozdnyakova@spbu.ru  
ORCID: 0000-0003-2097-3371  
Web of Science ResearcherID: K-9195-2015  
SPIN-код: 4957-1955

**Гневашев Федор Александрович**

Студент кафедры картографии и геоинформатики Санкт-Петербургского государственного университета, Института наук о Земле  
199034 Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9  
e-mail: 45fn@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-8742-8031

## Information about authors

**Olga V. Artemeva**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor  
Department of Cartography and Geoinformatics of St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences  
7-9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia  
e-mail: ovartemyeva@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-5741-6598  
Web of Science ResearcherID: L-7778-2015  
SPIN-code: 7813-9220

**Nataliya A. Pozdnyakova**

Senior Lecturer  
Department of Cartography and Geoinformatics of St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences  
7-9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia  
e-mail: n.pozdnyakova@spbu.ru  
ORCID: 0000-0003-2097-3371  
Web of Science ResearcherID: K-9195-2015  
SPIN-code: 4957-1955

**Fiodor A. Gnevashev**

Student  
Department of Cartography and Geoinformatics of St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences  
7-9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia  
e-mail: 45fn@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-8742-8031