

А. К. Толепбаева^{1,2*} , Р.К. Карагулова¹ , А.С. Есжанова¹ ,
А.А. Танбаева^{1,3} , О.В. Радуснова^{1,2} , А.Н. Камалбекова^{1,2} 

¹АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

³Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: akmara1980@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ АКТУАЛИЗАЦИИ ВЕКТОРНОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ (на примере горных районов Иле и Жетысу Алатау)

Топографические карты, используемые в качестве картографической основы тематических карт, создаются на основе данных определенного временного периода, а имеющаяся топооснова на исследуемую территорию издана в 1975-1990 годах, что не позволяет визуализировать последние изменения в состоянии местности. Одним из способов решения этой проблемы является использование актуальных источников данных. Задача успешно решается на основе визуально-го и автоматизированного использования данных ДЗЗ полученных из космических аппаратов среднего, высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

Цель этой статьи – провести сравнительный анализ данных дистанционного зондирования Земли на примере космических снимков Sentinel 2, Landsat-8, рассмотреть методики обработки космических снимков и использование данных дистанционного зондирования для актуализации векторных слоев картографической основы тематических карт.

В рамках выполнения задач с целью актуализации векторных слоев для обновления картографической основы исследуемой территории, в данной работе были использованы архивные и оперативные данные среднего разрешения, получаемые со спутников серии Landsat и Sentinel-2 и сервисы изображений Sentinel-2, а также цифровая модель рельефа (ЦМР) Airbus WorldDEM4Ortho.

Были использованы методы применения ГИС-технологий и ДЗЗ, классификации данных ДЗЗ и сравнительного анализа, визуального и автоматизированного дешифрирования. Для фильтрации коллекции изображений Sentinel-2 и определения облачности и облачной тени сформирован набор скриптов Python.

Использование данных ДЗЗ позволили охватить обширные и труднодоступные территории горных районов, значительно снизить затраты на сбор и обработку данных.

В результате была создана обновленная картографическая основа исследуемой территории. Картографическую основу можно применить при последующем анализе динамики и тенденций изменения природных и социально-экономических объектов.

Ключевые слова: ГИС-технологии, ДЗЗ, космические снимки, Sentinel 2, Landsat-8, дешифрирование, обработка космических снимков, картографическая основа.

А.К. Tolepbayeva^{1,2*}, Р.К. Karagulova¹, А.С. Yeszhanova¹,
А.А. Tanbayeva^{1,3}, О.В. Radusnova^{1,2}, А.Н. Kamalbekova^{1,2}

¹JSC «Institute of Geography and Water Security» MES RK, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: akmara1980@mail.ru

Using satellite images data for updating the vector cartographic basis of thematic maps (using the example of the mountain regions of Ile and Zhetysu Alatau) Selection and Landsat and Sentinel

Topographic maps used as the cartographic basis of thematic maps are created on the basis of data from the certain time period and the existing topographic base for the study area was published in 1975-1990, which does not allow visualizing recent changes of the area condition. One way to solve this problem is to use up-to-date data sources. The problem is successfully solved on the basis of visual and automated use of satellites remote sensing data of medium, high and ultra-high spatial resolution.

The purpose of this article is to conduct comparative analysis of the Earth remote sensing data using the example of Sentinel 2, Landsat-8 satellite images, to consider methods for processing satellite images and use of remote sensing data to update vector layers of the cartographic basis of thematic maps.

As part of the tasks of actualization of the vector layers for updating the cartographic basis of the study area, in this work was used archival and operational medium-resolution data obtained from Landsat and Sentinel-2 series satellites and Sentinel-2 image services, as well as Airbus WorldDEM4Ortho DEM.

The work used the methods of GIS technologies and remote sensing, classification of remote sensing data and comparative analysis, visual and automated interpretation. A set of Python scripts has been generated to filter the collection of Sentinel-2 images and to determine cloudiness and cloud shadow.

The use of remote sensing data made it possible to cover spacious and inaccessible areas of mountainous regions, significantly reducing the costs of data and processing.

As a result, the updated cartographic basis of the studied area was created. The cartographic basis can be used for subsequent analysis of the dynamics and trends in changes of natural and social-economic objects.

Key words: GIS technologies, remote sensing, satellite images, Sentinel 2, Landsat-8, decryption, decryption, processing of satellite images, cartographic basis.

А.К. Толепбаева^{1,2*}, Р.К. Қарағұлова¹, А.С. Есжанова¹,
А.А. Танбаева^{1,3}, О.В. Радуснова^{1,2}, А.Н. Камалбекова^{1,2}

¹КР ҒЖБМ «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы қ., Қазақстан

²Әл-Фарағи атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

³ Қазақ ұлттық Аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: akmara1980@mail.ru

Тақырыптық карталардың векторлық картографиялық негізін жаңарту үшін ғарыштық түсірілім деректерін пайдалану (Іле және Жетісу Алатауы таулы аудандарының мысалында)

Тақырыптық карталардың картографиялық негізі ретінде пайдаланылатын топографиялық карталар белгілі бір уақыт кезеңіндегі деректер негізінде құрылады, ал зерттелетін аумаққа қолданатын топографиялық негіз 1975-1990 жылдары баспаға шыққандықтан, ол жер бедеріндегі соңғы өзгерістерді визуализациялауға мүмкіндік бермейді. Бұл мәселені шешудің бір жолы – ағымдағы деректер көздерін пайдалану. Міндет кеңістіктік дәлдігі орта, жоғары және өте жоғары ғарыштық ЖКЗ деректерін визуалды және автоматтандырылған пайдалану негізінде шешіледі.

Бұл мақаланың мақсаты – Sentinel 2, Landsat-8 ғарыштық түсірілімдерінің мысалында Жерді қашықтықтан зондтау деректерін салыстырмалы талдау, ғарыштық түсірілімдерді өңдеу әдістерін қарастыру және тақырыптық карталардың картографиялық негізінің векторлық қабаттарын жаңартуға қашықтықтан зондтау деректерін пайдалану.

Зерттелетін аумақтың картографиялық негізін жаңарту үшін векторлық қабаттарды жаңарту мақсатында міндеттерді орындау шенберінде бол жұмыста Landsat және Sentinel-2 сериясының спутниктерінен және Sentinel-2 сервистерінен, және де Airbus WORLDDEM4ORTHO жердің сандық, моделінен алынған дәлдігі орташа ғарыштық түсірілімдердің мұрагаттық және жедел алынған деректері пайдаланылды.

ГАЖ технологиялары мен ЖКЗ қолдану, ЖКЗ деректерін жіктеу және салыстырмалы талдау, визуалды және автоматтандырылған дешифрлеу әдістері қолданылды. Sentinel-2 түсірілімдер жинағын өңдеу және бұлттылық пен бұлт көлеңкесін анықтау үшін, Python скриптер жиынтығы құрылды.

ЖКЗ деректерін пайдалану мен кең аумақтарды және таулы аудандардың қын жерлерін қамтуға, деректерді жинау мен өңдеу шығындарын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік берді.

Нәтижесінде зерттелетін аумақтың жаңартылған картографиялық негіз құрылды. Картографиялық негізді табиғи және әлеуметтік-экономикалық нысандардың өзгеру динамикасы мен тенденциясын талдау кезінде қолдануға болады.

Түйін сөздер: ГАЖ технологиясы, ЖКЗ, ғарыштық түсірілімдер, Sentinel 2, Landsat-8, дешифрлеу, ғарыштық түсірілімдерді өңдеу, картографиялық негіз.

Введение

Настоящая научная статья подготовлена в рамках выполнения проекта «Научно-прикладное обоснование селе-, оползне- и лавино-безопасности в горных районах Иле и Жетысус Алатау Республики Казахстан». Принципиальное отличие идеи программы от существующих аналогов в Казахстане заключается в создании детальных карт природных опасностей и рисков в цифровом виде с использованием методов дистанционного зондирования Земли. Для создания этих карт необходима крупномасштабная картографическая основа. В силу того, что существующие на данный момент топокарты содержат генерализованную и неактуальную информацию, в исследованиях использованы данные дистанционного зондирования Земли (далее – ДЗЗ), которые обеспечивают хорошую обзорность снимков и возможность получения информации о труднодоступных либо обширных территориях. По этой причине данные ДЗЗ являются практически единственным источником объективной и актуальной информации при исследованиях в условиях пересечённой местности в горных районах. (Рамазанова, 2018:82; Cheng et al., 2016:28; Sreenivasan et al., 2018:603). Кроме того, несомненным достоинством данных ДЗЗ является актуальность на момент съемки, высокая оперативность их получения, точность обработки, информативность и экономическая целесообразность данных (Priyabrata et al., 2024:101093; Jeffrey et al., 2021:2191; Манилюк, 2017:11).

Данные ДЗЗ применены здесь при создании баз данных для ГИС проекта, в том числе и в качестве «базового» рабочего слоя, для актуализации векторных слоев картографической основы следующих тематических карт: водосборных бассейнов, гидрографической сети, ледников, моренных озёр, транспортной сети, населённых пунктов.

Полученные результаты значительно повысят уровень знаний о природных объектах и опасностях, а также будут использованы при планировании профилактических мер по предотвращению негативных последствий опасных процессов в горах Алматинской и Жетысусской областей. Потребителями полученных результатов будут органы предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций МЧС РК, акиматы Алматинской и Жетысусской областей и районов, организации, занимающиеся планированием развития территорий.

Данные и методы исследования

Существует широкий набор оптических данных ДЗЗ среднего, высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, как WorldView-3, GeoEye-1, SPOT 6/7, Pleiades, Landsat-8, Sentinel и т.д. Однако, в открытом доступе нет снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. К бесплатным данным ДЗЗ относятся космоснимки с пространственным разрешением не выше 10 м, например, данные со спутниковых программ Sentinel и Landsat (Абиева Д.К., 2020:42; Комарова А.Ф., 2016:47; Landsat-8).

В последние годы для исследования часто используются архивные и оперативные данные среднего разрешения, получаемые со спутников серии Landsat и Sentinel-2. Свободный доступ к снимкам со спутников Landsat (Каналы Landsat 8; USGS EROS Archive) и Sentinel-2 (Data collections; Загрузка сцен Sentinel-2; Sentinel-2) делает их привлекательными для исследователей в разных отраслях. Данные космических съемок сегодня стали доступны широкому кругу пользователей и активно применяются не только в научных, но и производственных целях (Антонов С.А., 2018:100; Sinčić M., 2022:1360; Lim S., 2023; Толепбаева А.К., 2020:25).

В данной работе для актуализации векторных слоев картографической основы исследуемой территории были использованы архивные и оперативные данные среднего разрешения, получаемые со спутников серии Landsat и Sentinel-2, также ЦМР Airbus WorldDEM4Ortho (<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-living-atlas/imagery/airbus-worlddem4ortho-in-arcgis-living-atlas-of-the-world>).

Ниже приведена краткая сопоставительная сводка по основным параметрам и спектральным каналам спутников Landsat и Sentinel-2 для дешифрирования географических объектов (Таблица 1, Таблица 2).

Программа Landsat существует уже более 40 лет. В настоящий момент действуют два спутника серии: Landsat-8 (сенсоры OLI – Operational Land Imager и TIRS – Thermal Infrared Sensor), выведенный на орбиту в 2013 г., поддерживаемый совместно Геологической службой США (USGS) (таблица 1) и Национальным Аэрокосмическим Агентством (NASA) и Landsat-7 (ETM+). Все данные с этих спутников, начиная с 1982 г. совместимы между собой без дополнительной обработки (Каналы Landsat 8; USGS EROS Archive).

С 2016 г. на регулярной основе с периодичностью съемки в 10 дней стали доступны данные со спутника Sentinel-2A, выведенный на орбиту

23 июня 2015 г. в рамках программы Copernicus Европейским космическим агентством (ESA) (Data collections; Sentinel-2; Sentinel-2A, 2B).

Таблица 1 – Основные параметры Landsat-8 и Sentinel-2

| Основные параметры | Landsat-8 | Sentinel-2 |
|--------------------------------|---|---|
| Режим съемки | Мультиспектральный | Мультиспектральный |
| Пространственное разрешение, м | 15 (PAN) 30, 100 (тепловой спектр) | 10 |
| Покрытие территории снимками | полное | частичное |
| Ширина полосы съемки, км | 183 | 290 |
| Периодичность съемки | 16 дней | 5 дней |
| Временной охват | с 1984 г. | с 2015 г. |
| Сайт загрузки | https://earthexplorer.usgs.gov | https://scihub.copernicus.eu |

Второй спутник с аналогичными характеристиками Sentinel-2B был запущен 7 марта 2017 г., что позволило улучшить периодичность съемки до 5 дней.

Снимки Landsat OLI имеют 9 спектральных каналов, которые практически совпадают с каналами сенсоров Landsat-7 и Landsat-5. Sentinel-2A оснащен оптико-электронным мультиспектральным сенсором, который выполняет съемку в 13 спектральных каналах

от видимого и ближнего инфракрасного до коротковолнового инфракрасного диапазона спектра. При отсутствии панхроматического канала, пространственное разрешение изображений Sentinel-2 в видимом (R, G, B) и ближнем инфракрасном (NIR) диапазонах спектра составляет 10 м, что представляет наибольший прикладной интерес и является значимым преимуществом в сравнении с изображениями Landsat (Таблица 2).

Таблица 2 – Спектральные характеристики спутника Landsat-8 и Sentinel-2

| Landsat-8 OLI | | | Sentinel-2 | | |
|---|-----------------|---------------|--|-----------------|---------------|
| Канал | Длины волн, мкм | Разрешение, м | Канал | Длины волн, мкм | Разрешение, м |
| Канал 1 – Побережья и аэрозоли (Coastal and Aerosol, New Deep Blue) | 0,433 – 0,453 | 30 м | Канал 1 – побережья и аэрозоли (Coastal / Aerosol) | 0,419 – 0,465 | 60 |
| Канал 2 – Синий (Blue) | 0,450 – 0,515 | 30 м | Канал 2 – синий (Blue) | 0,443 – 0,546 | 10 |
| Канал 3 – Зелёный (Green) | 0,630 – 0,680 | 30 м | Канал 3 – зеленый (Green) | 0,536 – 0,583 | 10 |
| Канал 4 – Красный (Red) | 0,630 – 0,680 | 30 м | Канал 4 – Красный (Red) | 0,646 – 0,685 | 10 |
| Канал 5 – Ближний ИК (Near Infrared, NIR) | 1,560 – 1,660 | 30 м | Канал 5 – растительности крайний красный (Vegetation Red Edge) | 0,694 – 0,713 | 20 |
| Канал 6 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 2) | 1,560 – 1,660 | 30 м | Канал 6 – растительности крайний красный (Vegetation Red Edge) | 0,730 – 0,749 | 20 |
| Канал 7 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 3) | 2,100 – 2,300 | 30 м | Канал 7 – растительности крайний красный (Vegetation Red Edge) | 0,766 – 0,797 | 20 |

Продолжение таблицы

| Landsat-8 OLI | | | Sentinel-2 | | |
|--|-----------------|---------------|---|-----------------|---------------|
| Канал | Длины волн, мкм | Разрешение, м | Канал | Длины волн, мкм | Разрешение, м |
| Канал 8 – Панхроматический (Panchromatic, PAN) | 0,500 – 0,680 | 15 м | Канал 8 – ближний инфракрасный (NIR) | 0,763 – 0,908 | 10 |
| | | | Канал 8A – ближний инфракрасный (Vegetation Red Edge) | 0,848 – 0,881 | 20 |
| Канал 9 – Перистые облака (Cirrus, SWIR) | 1,360 – 1,390 | 30 м | Канал 9 – водяной пар (Water vapour) | 0,930 – 0,958 | 60 |
| Диапазоны TIRS (Thermal Infrared Sensor) | | | | | |
| Канал 10 – Дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR1) | 10,30 – 11,30 | 100 м | Канал 10 – облака (SWIR – Cirrus) | 1,336 – 1,415 | 60 |
| Канал 11 – Дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR2) | 11,50 – 12,50 | 100 м | Канал 11 – ближний инфракрасный (SWIR) | 1,540 – 1,685 | 20 |
| | | | Канал 12 – ближний инфракрасный (SWIR) | 2,067 – 2,323 | 20 |

С 2018 г. снимки Sentinel-2 доступны для работы через динамический сервис изображений, который поддерживается ESRI. Сервис ежедневно обновляется новыми изображениями и позволяет работать со снимками в онлайн режиме и в настольных продуктах ArcGIS (Подключение сервиса со снимками Sentinel-2).

В качестве ЦМР использовалась цифровая модель рельефа Airbus WorldDEM4Ortho, которая является наиболее последовательной и точной спутниковой моделью рельефа в глобальном масштабе с разрешением 24 м и доступна при наличии лицензии настольных продуктов ArcGIS.

Как отмечалось ранее, для наших исследований использовались архивные и оперативные данные среднего разрешения, получаемые со спутников серии Landsat и Sentinel-2. Спектральные характеристики спутников Landsat-8 и Sentinel-2 схожи, поскольку они разрабатывались на базе тесного сотрудничества ESA и USGS (кроме тепловых каналов снимков Landsat-8 по тепловому инфракрасному датчику).

Размещение полос Sentinel-2 MSI по сравнению с 7 и 8 полосами Landsat можно увидеть на рисунке 1. Он сравнивает спектральные полосы с диапазонами ETM, Landsat OLI предоставляет два новых спектральных диапазона, один из которых предназначен специально для обнаружения перистых облаков, а другой для наблюдений в прибрежной зоне.

Исходные данные спутников Sentinel-2 предоставляются с уровнем обработки «L1C» в виде альбедо на верхней границе атмосферы (Top-Of-Atmosphere Reflectance, TOA) с выполненной радиометрической и геометрической коррекцией. Обработанные данные уровня «L2A» возможно загрузить с потока scihub, так как они были вычислены с помощью утилиты SEN2COR. Утилита позволяет выполнить атмосферную коррекцию, коррекцию рельефа и перистых облаков входных данных уровня 1C в верхней части атмосферы. Sen2Cor создает изображения нижней части атмосферы, дополнительно скорректированные на распознавание рельефа и перистых облаков; карты классификации оптической толщины аэрозоля, водяного пара, сцены и индикаторы качества для вероятности облачности и снега. Кроме того, присутствуют три диапазона файлов о качестве (QA), где один (QA60) – это диапазон битовой маски с информацией о маске облачности. Но полоса QA60 – это всего лишь двоичный классификатор для толстых облаков и перистых облаков и нет способа точно настроить, что считается облаком или не облаком и тут поможет утилита s2cloudless, которая обеспечивает вероятность присутствия облака от 0 до 100 процентов, которую можно использовать для настройки агрессивности процедуры маскирования облака. Набор данных s2cloudless дает возможность выбрать облачный порог для определения облачных / не облачных масок (Таблица 3).

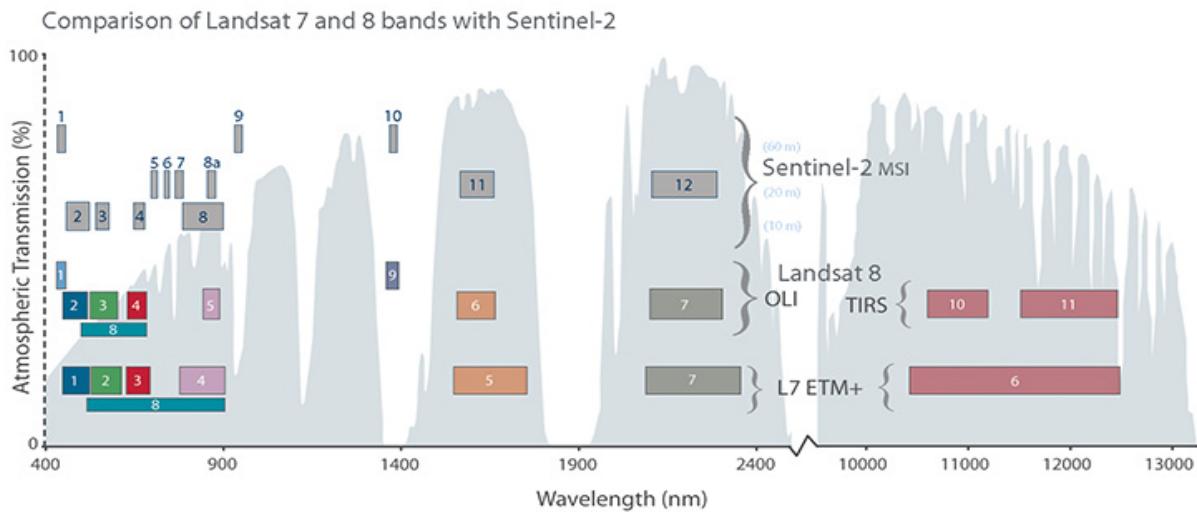


Рисунок 1 – Сравнительный график Sentinel 2, Landsat-7 и Landsat-8
(Atmospheric transmission – прозрачность атмосферы в процентах, Wavelength – длина волны в нм)

Таблица 3 – Параметры для фильтрации коллекции изображений Sentinel-2 и определения облачности и облачной тени

| Параметр | Тип | Описание |
|----------------|-------------|--|
| AOI | ee.Geometry | Сфера интересов |
| START_DATE | строка | Дата начала сбора изображений (включительно) |
| END_DATE | строка | Дата окончания коллекции изображений (эксклюзивно) |
| CLOUD_FILTER | целое число | Максимальный процент облачного покрова изображений, разрешенный в коллекции изображений |
| CLD_PRB_THRESH | целое число | Вероятность облачности (%); значения больше, чем считаются облаками |
| NIR_DRK_THRESH | плавает | Отражение в ближнем инфракрасном диапазоне; значения меньше чем считаются потенциальной тенью облака |
| CLD_PRJ_DIST | плавает | Максимальное расстояние (км) для поиска теней от краев облаков |
| BUFFER | целое число | Расстояние (м) до края опознаваемых облаков объектов |

Важно тщательно выбирать пороговое значение, так как оптимальное значение может варьироваться в зависимости от типа облака, типа покрытия, местоположения и т. д. Для этого необходимо протестировать несколько значений на выборке изображений в регионе исследования, чтобы получить представление о распределении вероятностей и чувствительности к изменениям.

Авторами определена методика выборки, формируются коллекции изображений, обработка данных спутников Sentinel-2 с формированием набора скриптов (Python). На рисунке 2 отображены примеры всех облачных и облачно-теневых компонентов на примере Алматинской области, используя изображение s2cloudless, с

установленным порогом вероятности на уровне 65% для захвата большей части облачных пикселей.

Параметры, для фильтрации коллекции изображений S2 и определения облачности и облачной тени:

```

AOI = aoi_boundary_VHB
START_DATE = '2020-06-20'
END_DATE = '2023-06-25'
CLOUD_FILTER = 60
CLD_PRB_THRESH = 50
NIR_DRK_THRESH = 0.15
CLD_PRJ_DIST = 1
BUFFER = 50

```

Утилита для построения изображений RGB с наложенной двоичной маской:

```
def overlay_cloud_mask(image, mask=None, factor=1./255, figsize=(15, 15), fig=None):
    if fig == None:
        plt.figure(figsize=figsize)
        rgb = np.array(image)
        plt.imshow(rgb * factor)
    if mask is not None:
        cloud_image = np.zeros((mask.shape[0], mask.shape[1], 4), dtype=np.uint8)
        cloud_image[mask == 1] = np.asarray([255, 255, 0, 100], dtype=np.uint8)
        plt.imshow(cloud_image)
```

Функция полезности для построения изображения RGB и его карты вероятности облачности рядом друг с другом:

```
def plot_probability_map(rgb_image, prob_map, factor=1./255, figsize=(15, 30)):
    plt.figure(figsize=figsize)
    plot = plt.subplot(1, 2, 1)
    plt.imshow(rgb_image * factor)
    plot = plt.subplot(1, 2, 2)
    plt.imshow(prob_map * factor)
```

```
plot = plt.subplot(1, 2, 2)
plot.imshow(prob_map, cmap=plt.cm.inferno)
```

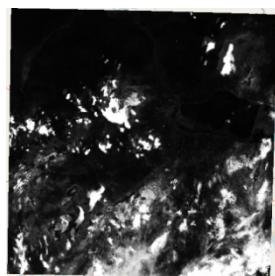
Функция для построения маски двоичного облака:

```
def plot_cloud_mask(mask, figsize=(15, 15), fig=None):
    if fig == None:
        plt.figure(figsize=figsize)
        plt.imshow(mask, cmap=plt.cm.gray)
```

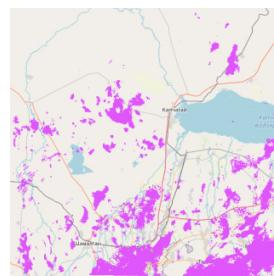
Высокое пространственное и временное разрешение (5 дней с двумя спутниками), свободный доступ и совместимость с Landsat-8 OLI делают изображения Sentinel-2 наиболее точными и релевантными для распознавания и картирования географических объектов по исследуемой тематике. Основными источниками информации стали снимки Sentinel-2 и ЦМР Airbus WorldDEM4Ortho. Для обновления данных о географических объектах в горных районах был использован комплекс методов, основанный на обработке космических снимков.



S2 image



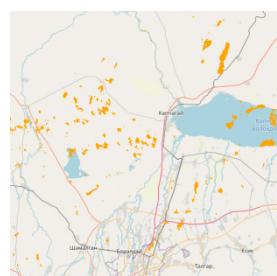
probability (cloud)



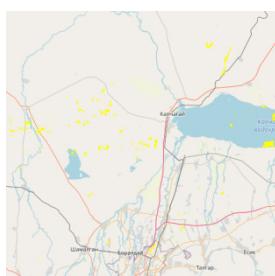
clouds



cloud_transform



dark_pixels



shadows



cloudmask



S2 SR masked

Рисунок 2 – Снимок Sentinel-2 исследуемой территории, демонстрирующий различные типы облачного покрова и затем маскированный снимок

Результаты и обсуждение

Для выявления закономерностей формирования и распределения опасных явлений, также для решения проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности на территориях, подверженных воздействию опасных экзогенных процессов необходимо получить объективные, актуальные, детальные данные о географических объектах. Благодаря детальной информации о рельефе, высоте, уклоне, расположении водотоков, ледников, моренных озёр, населенных пунктов, транспортной сети и других природных, антропогенных объектов, которые определяют устойчивость горных склонов и возможные опасности для людей и инфраструктуры, позволяют специалистам проводить анализ устойчивости горных склонов и выявлять потенциально опасные участки.

Данные топографических карт представляют собой важный инструмент для оценки селево-, оползне- и лавинобезопасности в горных районах. В связи с тем, что топографические карты создаются на основе определенного временного периода, а имеющиеся карты на исследуемую территорию изданы в 1975-1990 годах, они могут не отражать последние изменения в состоянии местности, в том числе водотоков и рек.

Одним из способов решения этой проблемы является использование новых и более актуальных источников данных, таких как спутниковые изображения, данные лазерного сканирования местности, также могут быть использованы векторные данные из открытых источников. Например, проверка векторных слоев проходила также путем наложения слоя со спутниковыми снимками, топографическими картами и данными открытого сервиса OpenStreetMap (OSM), который предоставляет свободный доступ к обновляемым векторным слоям базовой карты. Но при использовании векторных слоев из OSM для пространственного анализа, направленного на оценку опасных природных процессов, можно выделить несколько ключевых недостатков:

– Неполнота данных. Данные водотоков в OSM добавляются пользователями на добровольной основе. Это приводит к тому, что не все водотоки могут быть включены в базу. В результате, при анализе не учитываются важные гидрологические элементы, что снижает точность оценок;

– Непоследовательность и отсутствие стандартизации. Поскольку данные вводятся множеством различных пользователей, существует риск несоответствия стандартам. Например, один и тот же водоток может быть отмечен как «река» в одном месте и «ручей» в другом, что затрудняет обработку данных.

– Неполные атрибуты. В OSM данные часто описываются минимальным количеством атрибутов, однако для полноценного анализа опасных природных процессов требуются более детализированные данные. Недостаток таких данных может ограничить возможности анализа и прогнозирования.

– Обновление и актуальность данных. Частота обновления данных в OSM не гарантируется, и пользователи не обязаны обновлять информацию о географических объектах. Это может привести к устареванию данных, особенно в изменяющихся условиях, таких как изменения русла рек или строительство гидротехнических сооружений, которые могут значительно влиять на природные процессы.

– Отсутствие метаданных и контроля качества. В OSM часто отсутствуют детализированные метаданные, которые могли бы помочь оценить точность и надежность данных. Также отсутствует централизованный контроль качества, что может привести к появлению ошибок или неточностей в данных.

В результате работ устаревшие данные о географических объектах были обновлены, актуализированы с учетом актуальных изменений на местности, на карту были добавлены новые объекты, которые не были учтены в предыдущих версиях, верифицированы границы существующих объектов.

Векторный слой рельефа, который позволяет определить такие характеристики, как склоны и уклоны поверхности земли, является основным компонентом карт по оценке опасных природных процессов. Рельеф местности оцифрован с топографических карт масштаба 1:200 000 в виде векторных слоев точек высот, полигонов одинаковых высот. Корректировка данных слоев проводилась по цифровой модели рельефа Airbus WorldDEM4Ortho (величина ячейки $\square 24$ м), которая является наиболее последовательной и точной спутниковой моделью рельефа в глобальном масштабе с разрешением 24 м (Рисунок 3) и доступна при наличии лицензии настольных продуктов ArcGIS.

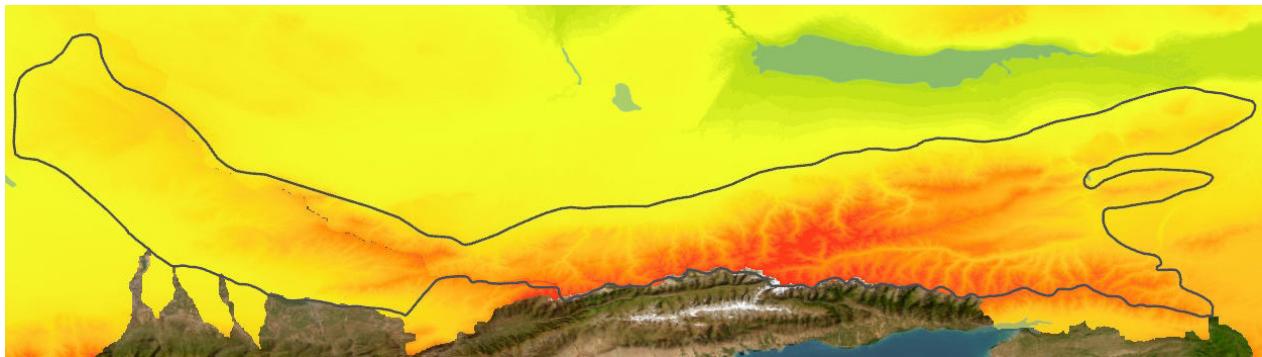


Рисунок 3 – Цифровая модель рельефа (Airbus WorldDEM4Ortho) территории Иле-Алатау

Пространственные данные по гидографической сети, водосборным площадям водотоков созданы путем многоэтапной обработки ЦМР, с использованием комплекса специальных дополнительных инструментов, модулей и расширений настольных пакетов ArcGIS. Современный инструментарий ГИС позволяет определить гидографические и морфометрические характеристики водных объектов и их водосборов при наличии корректной ЦМР.

Слой «Гидографическая сеть» проектной территории создавался методом автоматизированного извлечения водотоков на основе применения открытого набора инструментов модуля ArcHydro расширения HEC-GeoHMS и WhiteboxTools-ArcGIS и ЦМР, широко используемых в ГИС-картографировании и гидрологии при определении гидографических и морфометрических характеристик территории, границ водосборов .

Полученный на данном этапе результат является первичным слоем водотоков, который должен пройти проверку и анализ на ряд ошибок, а также дополнительную обработку для получения корректной сети водотоков. При необходимости, исправления вносятся вручную.

В результате обработки и исправления векторного слоя водотоков по топокарте (1:100 000) и космоснимкам Sentinel-2 создается корректная гидографическая сеть территории (Рисунок 4).

Оцифровка пространственных данных по ледникам и по моренным озерам проводилась по топографическим картам, корректировка контуров для отображения современного состояния –

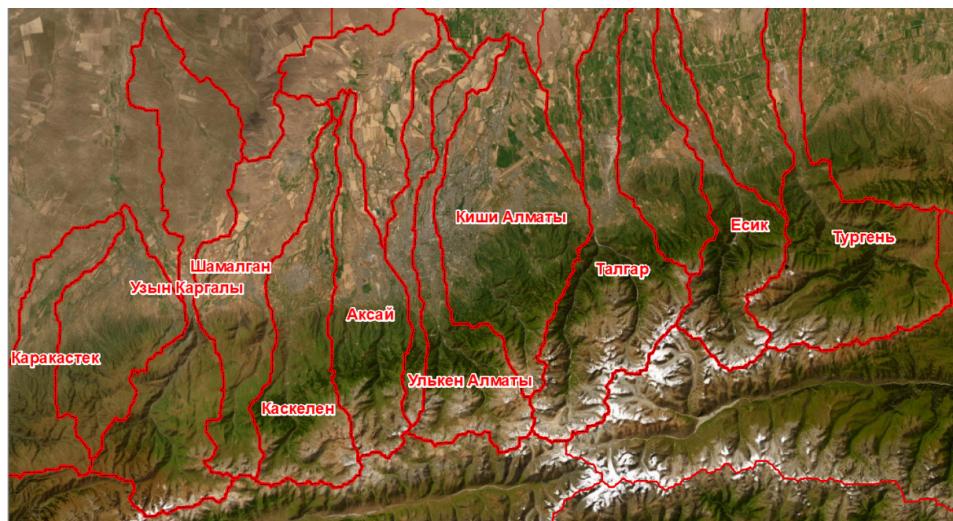
по спутниковым снимкам Sentinel 2 (Рисунок 5 и Рисунок 6)

Созданные слои отображают актуальное пространственное распределение ледников и моренных озёр на 2023 год.

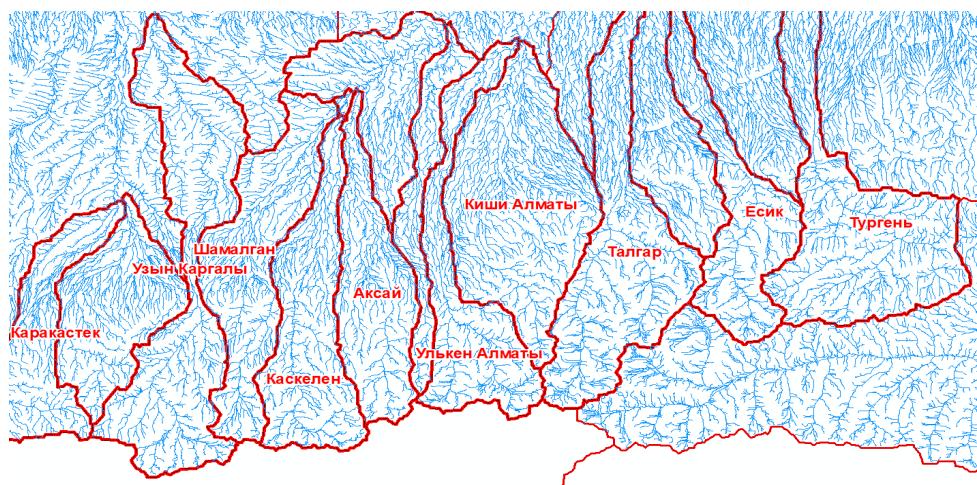
Информация о географическом расположении и характеристиках ледников, а также моренных озер позволяет проводить анализ и прогнозирование потенциально опасных природных процессов, определить потенциально опасные зоны, разработать меры предотвращения и соответствующие планы действий для обеспечения безопасности людей и имущества.

Рост числа и протяжённости автомобильных дорог относится к ряду приоритетных мероприятий по модернизации республиканских и региональных транспортных систем. Транспортная сеть показывает степень заселенности территории, дает представление об экономической жизни в регионе, доступность каждого населенного пункта, изображенного на карте, отражает возможность передвижения с учетом местных природных особенностей. Актуализация геопространственных данных по изменениям в конфигурации транспортной сети является жизненно необходимой при разработке стратегии и плана действий при возникновении ЧС природного и антропогенного характера.

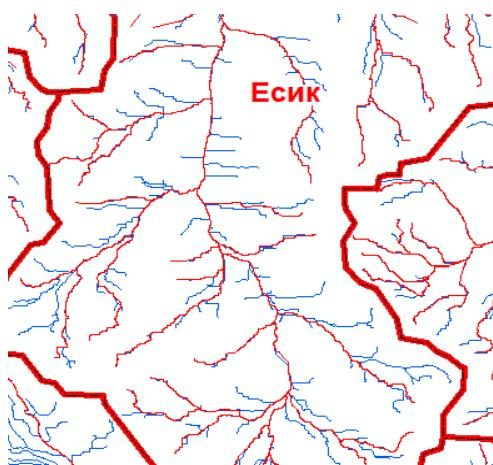
На рисунке 7 показан пример использования космических снимков Sentinel-2 для обновления векторного слоя по транспортной сети. На исследуемой территории в 2022 г. была построена новая развязка Большой алматинской кольцевой автомобильной дороги, отсутствовавшая по данным космоснимков Sentinel-2 2018 года.



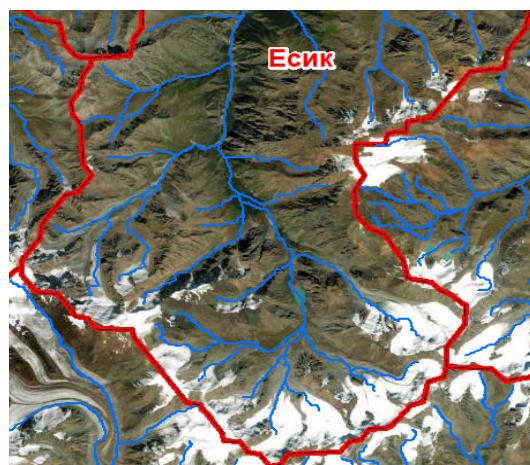
а) Фрагмент векторного слоя водосборных площадей водотоков горных районов Иле Алатау



б) Фрагмент первичного слоя водотоков исследуемой территории.

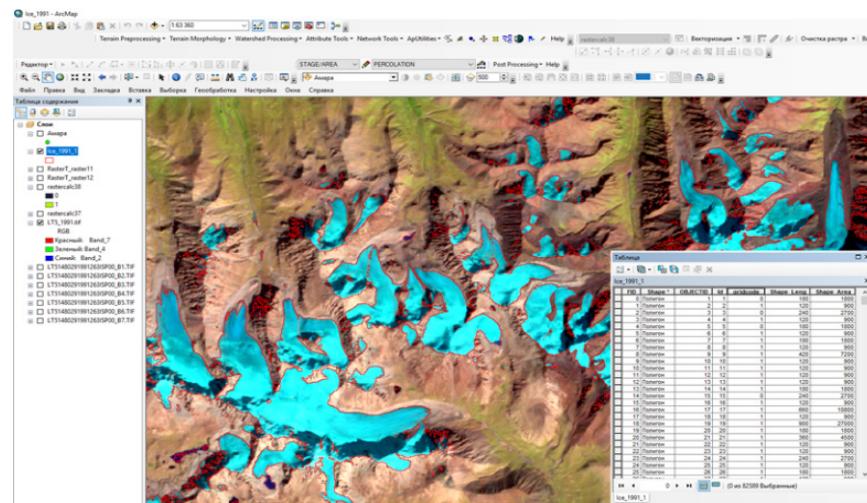


в) Фрагмент первичного слоя водотоков, без исправления



г) Фрагмент исправленного слоя водотоков

Рисунок 4 – Фрагменты векторных слоев водосборных площадей водотоков и рек проектной территории



Населенные пункты являются одним из основных элементов содержания тематических карт по оценке опасности и риска селевых, оползневых и лавинных процессов в горных районах. Для создания векторного слоя населенных пунктов исследуемой территории за основу используемый

зовался слой населенных пунктов набора данных OpenStreetMap (OSM), в котором обнаружены ошибки, связанные с границами и количеством, названиями объектов. Актуализация границ объектов слоя населенных пунктов проводилась по оперативным данным ДЗЗ (Рисунок 8).



а) Село Аркабай: розовым – объект в слое OSM, желтым – актуализированный по спутниковым снимкам объект



б) Зона отдыха «Лесная Сказка»: розовым – OSM, зеленым – актуализированный по спутниковым снимкам объект



в) Дачи Жетысу: в слое набора OSM отсутствовали актуализированный по спутниковым снимкам объект

Рисунок 8 – Использование космических снимков (Sentinel-2)
для актуализации территорий населенных пунктов

Использование данных космических снимков позволяет применить актуальную детальную информацию при картографировании и последующем анализе динамики и тенденций изменения природных и социально-экономических объектов. Использование данных ДЗЗ позволяет проводить регулярный мониторинг и анализ опасных процессов в горных районах, в импактной зоне которых могут оказаться уязвимые объекты социальной, транспортной и экономической инфраструктуры.

Заключение

Информация о природных и социально-экономических объектах в горных и предгорных районах была обновлена с помощью визуальной и автоматизированной обработки космических снимков, многоэтапной обработки ЦМР. Результат выполненных работ стал возможным на основе тщательного изучения современных систем ДЗЗ, сравнительного анализа и выбора космических снимков Sentinel 2, Landsat-8 как наиболее релевантных поставленным задачам.

Для актуализации тематических векторных слоев картографической основы исследуемой территории были использованы архивные и оперативные данные среднего разрешения, получаемые со спутников серии Landsat-8 и Sentinel-2, также ЦМР Airbus WorldDEM4Ortho. Для фильтрации коллекции изображений Sentinel-2

и определения облачности и облачной тени сфор-мирован набор скриптов Python.

Использование космических снимков в комплексе с корректной ЦМР позволило получить точные и актуальные данные, на основе которых созданы обновлённые тематические слои «Гидрографическая сеть», «Ледники», «Моренные озёра», «Транспортная сеть», «Населённые пункты». Действия по обработке и интерпретации данных ДЗЗ позволили охватить обширные и труднодоступные территории горных районов, значительно снизить затраты на сбор и обработку данных.

Обновленная информация о географических объектах может быть использована для создания карт по опасным природным процессам, планирования и развития инфраструктуры, мониторинга изменений окружающей среды, при разработке защитных мероприятий при ЧС природного и антропогенного характера.

Благодарность, конфликт интересов

Публикация подготовлена по результатам исследований по проекту «Научно-прикладное обоснование селе-, оползн- и лавинобезопасности в горных районах Иле и Жетысу Алатау Республики Казахстан», финансируемому Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Программно-целевое финансирование № BR21881982.

Литература

- Абиева Д.К., Карагулова Р.К., Аюпов К.А., Толепбаева А.К., Уразбаева Г.М. Анализ пригодности наборов данных глобальных исследований поверхностных вод (Global Surface Water) для изучения динамики площадей озер Казахстана // География и водные ресурсы. – 2020. – №. 3. – С. 33-42.
- Антонов С.А., Скрипчинский А.В. Использование данных дистанционного зондирования для многолетнего мониторинга за состоянием агроландшафтов // Наука. Инновация. Технологии, – 2018. – №8. – С. 89–100.
- Загрузка сцен Sentinel-2 на определенную территорию [Электронный ресурс]/Сайт Data+. URL: <https://blogs.esri-cis.com/2021/05/13/sentinel-2-download/>(дата обращения 05.03.2024).
- Каналы Landsat 8: Комбинации для спутниковых снимков [Электронный ресурс]/Сайт EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/ru/blog/kombinatsii-kanalov-landsat-8/>(дата обращения 07.02.2024).
- Комарова А.Ф. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова // Принципы экологии. – 2016. – № 1. – С. 40–47.
- Манилюк Т. Л., Маслова Л. В. Исследование водных поверхностей озер путем использования водных индексов по данным дистанционного зондирования // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2017. – Т. 23. – №. 3. – С. 4-11.
- Рамазанова Б.К., Касымжанова А.Е. Оптические методы съемки дистанционного зондирования Земли // Наука сегодня: Проблемы и пути решения. – 2018. – С. 81-82.
- Толепбаева А.К., Тұмажанова С.О., Карагулова Р.К., Танбаева А.А., Искалиева Г. М. Жерді қашықтықтан зондтау негізіндегі ғаламдық деректер базасы: Ертіс өзені жайылмасының мысалында//Вестник КазНУ. Серия географическая. – №2, 57 (2020):16-25.
- Airbus WorldDEM4Ortho in ArcGIS Living Atlas of the World [Электронный ресурс]/Сайт Esri. URL: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-living-atlas/imagery/airbus-worlddem4ortho-in-arcgis-living-atlas-of-the-world/> (дата обращения 05.03.2024).

- Cheng G., Han J. (2016) A survey on object detection in optical remote sensing images. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 117, 11–28. doi.org/10.48550/arXiv.1603.06201
- Jeffrey P., Tyukavina A., Khan A., Potapov P., Adusei B., Matthew C. H., Lima A. (2021). Using Multi-Resolution Satellite Data to Quantify Land Dynamics: Applications of PlanetScope Imagery for Cropland and Tree-Cover Loss Area Estimation. *Remote Sens.* 13 (11), 2191. doi.org/10.3390/rs13112191
- Landsat-8 [Электронный ресурс]/Сайт геопространственного агентства «ИННОТЕР». URL: <https://innoter.com/sputniki/landsat-8/> (дата обращения 02.02.2024).
- Lim S., Sreevalsan-Nair J., Daya Sagar B. S. (2023). Multispectral data mining: A focus on remote sensing satellite images. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery.* 10.1002/widm.1522.
- Priyabrata K., Shyh W.T., Manzur M., Shaoning P., Li Y., Hao L. (2024). Crop monitoring by multimodal remote sensing: A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment Remote Sens. Appl.*: Society and Environment. 33, 101093. doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101093
- Data collections. Sentinel data [Электронный ресурс]/Сайт Programme of the European Union – Copernicus. URL: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections> (дата обращения 04.03.2024).
- Sentinel-2 [Электронный ресурс]/Сайт Data+. URL: <https://blogs.esri-cis.com/tag/sentinel-2/> (дата обращения 04.03.2024).
- Sentinel-2A, 2B [Электронный ресурс]/Сайт геопространственного агентства «ИННОТЕР». URL: <https://innoter.com/sputniki/sentinel-2a-2b/> (дата обращения 03.03.2024).
- Sinčić M., Bernat G.S., Krkač M., Lukačić H., Mihalić A.S. (2022). The Use of High-Resolution Remote Sensing Data in Preparation of Input Data for Large-Scale Landslide Hazard Assessments. *Land*, 11(8), 1360. doi.org/10.3390/land11081360
- Sreenivasan. G., Murthy Y. (2018). Remote Sensing and GIS Applications in Micro Level Planning. 29, 603-631. doi.org/10.1007/978-3-319-78711-4_29.
- USGS EROS Archive – Sentinel-2 – Comparison of Sentinel-2 and Landsat [Электронный ресурс]/Сайт USGS. URL: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat?qt_science_center_objects=0#qt-science_center_objects (дата обращения 03.03.2024).

References

- Abiyeva, D.K., Karagulova, R.K., Ayupov, K.A., Tolepbayeva, A.K., Urazbayeva, G.M. (2020). Analiz prigodnosti naborov dannykh globalnykh issledovaniy poverkhnostnykh vod (Global Surface Water) dlya izucheniya dinamiki ozernykh ploshchadey v Kazakhstane [Analysis of the suitability of global surface water data sets for studying lake dynamics in Kazakhstan]. *Questions of geography and geoecology*, Vol. (3), 33-42.
- Airbus WorldDEM4Ortho in ArcGIS Living Atlas of the World [Electronic resource]/ Esri. URL: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-living-atlas/imagery/airbus-worlddem4ortho-in-arcgis-living-atlas-of-the-world/> (date of access 05.03.2024)
- Antonov, S.A., Skripchinskiy, A.V. (2018). Ispolzovaniye dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya mnogoletnego monitoringa sostoyaniya agrolandshaftov [Using Earth remote sensing data for long-term monitoring of agricultural landscapes]. “Science. Innovations. Technologies”, Vol. (8), 89–100.
- Cheng G., Han J. (2016) A survey on object detection in optical remote sensing images. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 117, 11–28. doi: 10.48550/arXiv.1603.06201
- Data collections. Sentinel data [Electronic resource]/ Programme of the European Union – Copernicus. URL: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections> (date of access 04.03.2024).
- Jeffrey P., Tyukavina A., Khan A., Potapov P., Adusei B., Matthew C. H., Lima A. (2021). Using Multi-Resolution Satellite Data to Quantify Land Dynamics: Applications of PlanetScope Imagery for Cropland and Tree-Cover Loss Area Estimation. *Remote Sens.* 13 (11), 2191. doi: 10.3390/rs13112191
- Komarova, A.F. (2016). Otkrytyye multispektralnyye dannyye i osnovnyye metody distantsionnogo zondirovaniya v izuchenii rastitelnogo pokrova [Open Multispectral Data and Key Remote Sensing Methods in Land Cover Studies]. *Principles of the Ecology*, Vol. (1), 40–47.
- Landsat 8 Bands: Combinations For Satellite Images [Electronic resource]/ EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/ru/blog/kombinatsii-kanalov-landsat-8/> (date of access 07.02.2024).
- Landsat-8 [Electronic resource]/ Geospatial Agency Innoter. URL: <https://innoter.com/sputniki/landsat-8/> (date of access 02.02.2024).
- Lim S., Sreevalsan-Nair J., Daya Sagar B. S. (2023). Multispectral data mining: A focus on remote sensing satellite images. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery.* doi: 10.1002/widm.1522.
- Loading Sentinel-2 scenes into a specific area [Electronic resource]/Data+. URL: <https://blogs.esri-cis.com/2021/05/13/sentinel-2-download/> (date of access 05.03.2024).
- Manilyuk, T. L., Maslova, L. V. (2017). Issledovaniye vodnoy poverkhnosti ozer s ispolzovaniyem pokazateley vody po dannym distantsionnogo zondirovaniya [Study of the water surface of lakes using water indicators from remote sensing data]. *Transbaikal state university journal*, Vol. (23), 4-11.
- Priyabrata K., Shyh W.T., Manzur M., Shaoning P., Li Y., Hao L. (2024). Crop monitoring by multimodal remote sensing: A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 33, 101093. doi: 10.1016/j.rsase.2023.101093
- Ramazanova, B.K., Kasymzhanova, A.Ye. (2018). Optical methods of remote sensing of the Earth. *Proceedings of the international scientific and practical conference “Science of today’s problems and solutions”*, 81-82.
- Sentinel-2 [Electronic resource]/Data+. URL: <https://blogs.esri-cis.com/tag/sentinel-2/> (date of access 04.03.2024).

Sentinel-2A, 2V [Electronic resource]/ Geospatial Agency Innoter. URL: <https://innoter.com/sputniki/sentinel-2a-2b/> (date of access 03.03.2024).

Sinčić M., Bernat G.S., Krkač M., Lukačić H., Mihalić A.S. (2022). The Use of High-Resolution Remote Sensing Data in Preparation of Input Data for Large-Scale Landslide Hazard Assessments. *Land*, 11(8), 1360. doi: 10.3390/land11081360

Sreenivasan. G., Murthy Y. (2018). Remote Sensing and GIS Applications in Micro Level Planning. 29, 603-631. doi: 10.1007/978-3-319-78711-4_29.

Tolepbayeva, A.K., Tumazhanova, S.O., Karagulova, R.K., Tanbayeva, A.A., Iskaliyeva, G. M. (2020). Globalnaya baza dannykh na osnove distantsionnogo zondirovaniya Zemli: na primeire razliva reki Irtysh [Global database based on remote sensing of the Earth: the example of the Irtysh River flood]. Journal of Geography and Environmental Management, Vol. (2-57), 6-25.

USGS EROS Archive – Sentinel-2 – Comparison of Sentinel-2 and Landsat [Electronic resource]/ USGS. URL: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat?qt_science_center_objects=0#qt-science_center_objects (date of access 03.03.2024).

Сведения об авторах:

Толепбаева Акмарал Курмановна – НС лаборатории Географических информационных систем АО «Институт географии и водной безопасности», преподаватель кафедры географии, землеустройства и кадастра КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: akmaral1980@mail.ru);

Карагулова Роза Курманалиевна – кандидат географических наук, СНС, руководитель лаборатории Географических информационных систем АО «Институт географии и водной безопасности» (Алматы, Казахстан, e-mail: karagulovarоza@mail.ru);

Есжанова Ажар Сергеевна – кандидат географических наук, ВНС лаборатории Географических информационных систем АО «Институт географии и водной безопасности» (Алматы, Казахстан, e-mail: azhare@rambler.ru);

Танбаева Айгерим Айюббековна – НС лаборатории Географических информационных систем АО «Институт географии и водной безопасности», PhD докторант Казахского Национального Аграрного Университета (Алматы, Казахстан, e-mail: aikerim_07@mail.ru);

Радуснова Ольга Владимировна – НС лаборатории Географических информационных систем АО «Институт географии и водной безопасности», PhD-докторант кафедры географии, землеустройства и кадастра КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: radusnovaolga@gmail.com);

Камалбекова Айдана Нұрланқызы – МНС лаборатории Природных опасностей АО «Институт географии и водной безопасности», PhD-докторант кафедры географии, землеустройства и кадастра КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: aidana.kamalbekova@gmail.com).

Information about authors:

Tolepbayeva Akmaral – Researcher of Laboratory of Geographic Information Systems, JSC «Institute of geography and water security», Lecturer of the Department of geography, Land management and Cadastre of Al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: akmaral1980@mail.ru);

Karagulova Roza – Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Head of Laboratory of Geographic Information Systems, JSC «Institute of geography and water security» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: karagulovarоza@mail.ru);

Yeszhanova Azhar – Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Geographic Information Systems, JSC «Institute of geography and water security» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: azhare@rambler.ru);

Tanbayeva Aigerim – Researcher of Laboratory of Geographic Information Systems, JSC «Institute of geography and water security», PhD student of Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aikerim_07@mail.ru);

Radusnova Olga – Researcher of Laboratory of Geographic Information Systems, JSC «Institute of geography and water security», PhD student of the Department of geography, Land management and Cadastre of Al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: radusnovaolga@gmail.com);

Kamalbekova Aidana – Junior researcher of Laboratory of natural hazards, JSC «Institute of geography and water security», PhD student of the Department of geography, Land management and Cadastre of Al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aidana.kamalbekova@gmail.com).

Поступила: 26 марта 2024 года

Принята: 10 августа 2024 года