

*Шагарова Л.В.***МӨНГҮЛӨРДҮН ДИСТАНТТЫК МОНИТОРИНГИ  
ТАЗА СУУНУН КАЙРА ЖАРАЛУУ БУЛАГЫ КАТАРЫ***Шагарова Л.В.***ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕДНИКОВ КАК  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЧИСТОЙ ВОДЫ***L.V. Shagarova***REMOTE MONITORING OF THE GLACIERS AS A RENEWABLE  
SOURCE OF CLEAN WATER**

УДК: 556.043

Суу анын саны жана сапаты өзгөрүшү менен уникалдуу жаратылыш ресурстары болуп мүнөздөлөт, жана өзгөргүчтүк суу булактарынын даражасы аныкталган. Борбордук Азиянын суу басымдуу көпчүлүгү дээрлик таза суунун баарын кайра жаралуучу булактары тоолор негизинен сезондук кар калыңдыгынан жана мөңгүлөрдүн эригенен улам пайда болот. Борбордук Азия регионунун гидрология жана суу ресурстарын таасир климаттык абалы менен байланыштуу болуп, мөңгүлөр жана кар катмарынын агымдары аймакта өзгөрүлөт. Алыскы тоолуу экосистемалар менен муз баскан аянттарды баалоо ыкмалар жүзөгө ашырылат. Бул макалада муздун жана муз мониторинг индекси эсептөө үчүн базалык иштетүү оптика-электрондук ДЗЗ маалыматтар кадам сүрөттөйт - таза суу климаттын өзгөрүүсү көрсөткүч булагы. Климаттын өзгөрүшүнө мониторинг системасын өркүндөтүү жөнүндө сөз кылып жатып, жаңы технологияларды жана жаңы изилдөөлөрдүн ыкмасын киргизүү Борбордук Азиядагы гидрологиялык тактоо эсептөөлөр боюнча мүмкүнчүлүгүн жогорулатат.

**Негизги сөздөр:** мөңгүлөр, спутниктен тапкан сүрөттөр, гидрология, аралыктан байкоо жана мониторинг жүргүзүү, колдонмо, калибрлөө.

Вода является уникальным природным ресурсом, который характеризуется изменением его количества и качества, а степень изменчивости предопределяется источником водных ресурсов. В условиях Центральной Азии подавляющая часть водных ресурсов и практически все возобновляемые ресурсы чистой воды формируются в горах преимущественно за счет талых вод сезонного снежного покрова и ледников. Изменения оледенения и снежности зоны формирования стока, обусловленные климатическими тенденциями, влияют на гидрологический режим и водные ресурсы Центрально-Азиатского региона. Оценка площади оледенения в труднодоступных горных экосистемах осуществляется дистанционными методами. В данной статье приведены основные этапы обработки опико-электронных данных ДЗЗ для вычисления ледового индекса и мониторинга ледников – источника чистой воды и индикатора изменений климата. В условиях изменения климата на основе модернизации системы мониторинга, внедрения новых технологий и методов ДЗЗ повышается возможность уточнений гидрологических расчетов в Центральной Азии.

**Ключевые слова:** ледники, спутниковые снимки, гидрология, дистанционное зондирование, мониторинг, интерфейс, калибровка.

Water is a unique natural resource that is characterized by a change in its quantity and quality, and the degree of variability is predetermined by the source of water resources. In the conditions of Central Asia, the vast majority of water resources and almost all renewable resources of clean water are formed in the mountains, mainly due to the melt waters of seasonal snow cover and glaciers. Changes in the glaciation and snowiness of the runoff formation zone, caused by climatic trends, affect the hydrological regime and water resources of the Central Asian region. The estimation of the area of glaciation in remote mountain ecosystems is carried out by remote methods. This article presents the main stages of processing optical-electronic remote sensing data for calculating the ice index and monitoring glaciers - a source of clean water and an indicator of climate change. In the conditions of climate change based on the modernization of the monitoring system, the introduction of new technologies and remote sensing methods, the possibility of clarifying hydrological calculations in Central Asia is increasing.

**Key words:** glaciers, satellite imagery, hydrology, remote sensing, monitoring, interface, calibration.

**Введение.** Центральная Азия расположена в центре материка в аридной зоне, вдали от океанических атмосферных потоков. Изменение криосферы напрямую влияет на доступность воды для населения стран Центральной Азии. Согласно принятой «Резолюции Международной научно-практической конференции», с учетом тенденций климатических изменений прогнозируется снижение водных ресурсов и структуры водопотребления на территории стран Центральной Азии. В горных экосистемах изменение климата влияет на площадь оледенения, при этом темпы и характер их влияния в разных горных регионах различны. В исследованном орогенном регионе основная часть поверхностных вод речного стока, подземные воды и ресурсы чистой воды, формируются в горах [1, 2].

**Результаты исследований.** Ледники являются важнейшим аккумулятором водных ресурсов. К одним из центров современного оледенения Централь-

ной Азии, благодаря орографическим особенностям и климату относится Таджикистан, где площадь ледников составляет 8,5 тыс.км<sup>2</sup>, т.е. занимают 6 % территории страны. Ледники являются не только хранилищами воды, но и регуляторами речного стока. Ежегодно таяние ледников в Таджикистане вносит 10-20 % в сток крупных рек, а в жаркие годы их вклад в водные ресурсы летом достигает 70 % [1].

Деградация и уменьшение объема ледников в зоне формирования водного стока горных стран приводит к изменениям водности рек и снижению доступности воды для населения проживающего в зоне его рассеивания ниже расположенных государств Казахстан, Узбекистан, Туркменистан. Задача мониторинга компонентов горной криосферы весьма актуальна [1].

Площадь оледенения в горных экосистемах нами вычисляется методами ДЗЗ в результате тематической ГИС обработки оптико-электронных данных. При ДЗЗ отображены были космические снимки по сезонному снежному покрову который играет исключительную роль в горных экосистемах и определяет формирование и режим речного стока и процессы развития оледенения [1, 3].

В работе были использованы архивные снимки Landsat-8 летне-осеннего периода, когда сезонный снежный покров отсутствует, что позволяет детектировать ледники и вечные снега. Перечень космоснимков ДЗЗ с безоблачными сценами, полностью покрывающими территорию Республики Таджикистан, приведен в соответствии с системой индексации WRS-2 в табл. 1 [1].

Таблица 1.

Список снимков Landsat-8

| Идентификатор         | Путь | Ряд | Зона UTM |
|-----------------------|------|-----|----------|
| LC81500332013161LGN00 | 150  | 33  | 43       |
| LC81500342014196LGN00 | 150  | 34  | 43       |
| LC81510322013280LGN00 | 151  | 32  | 43       |
| LC81510332013280LGN00 | 151  | 33  | 43       |
| LC81510342013280LGN00 | 151  | 34  | 43       |
| LC81510352013280LGN00 | 151  | 35  | 43       |
| LC81520322013271LGN00 | 152  | 32  | 42       |
| LC81520332013271LGN00 | 152  | 33  | 42       |
| LC81520342015261LGN00 | 152  | 34  | 42       |
| LC81530312015252LGN00 | 153  | 31  | 42       |
| LC81530322015252LGN00 | 153  | 32  | 42       |
| LC81530332015252LGN00 | 153  | 33  | 42       |
| LC81530342014201LGN00 | 153  | 34  | 42       |
| LC81540312015211LGN00 | 154  | 31  | 42       |
| LC81540322015227LGN00 | 154  | 32  | 42       |
| LC81540332015259LGN00 | 154  | 33  | 42       |
| LC81540342015259LGN00 | 154  | 34  | 42       |
| LC81550322015250LGN00 | 155  | 32  | 42       |
| LC81550332015266LGN00 | 155  | 33  | 42       |

Параметры загруженных наборов данных: а. уровень обработки: 1 T; б. формат изображений: GeoTIFF; в. размер пикселя: 30 метров; г. проекция: UTM 42, UTM 43; д. система координат: WGS 84 [3].

Спутник Landsat-8 осуществляет съемку в 11 спектральных диапазонах, и для расчета ледового индекса использованы каналы, информация о которых приведена в таблице 2 [3].

Таблица 2.

Спектральные данные Landsat-8 ледового индекса

| Инструмент | Номер канала | Спектральный диапазон, мкм | Аббревиатура диапазона       | Обозначение                  |
|------------|--------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| OLI        | 5            | 0,85-0,88                  | NIR (Near Infrared)          | Ближний инфракрасный         |
| OLI        | 6            | 1,57-1,65                  | SWIR-1 (Short Wave Infrared) | Коротковолновый инфракрасный |

В исходном наборе данных Landsat каждый пиксель представлен числом DN (Digital Number), полученным после преобразований "сырых" значений, зарегистрированных сенсором спутника [3].

Значения DN не несут определенного физического смысла, так как каждый датчик характеризуется собственными значениями усиления и смещения, который применяются к сигналу в момент формирования матрицы изображения. Поэтому одному и тому же DN могут соответствовать разные абсолютные значения физической величины [3].

С целью приведения данных к сопоставимым значениям выполнена их радиометрическая калибровка и пересчет DN в reflectance - физический параметр отражательной способности поверхности.

Калибровка проведена с использованием метаданных присутствующих в каждом пакете файлов Landsat.

Интерфейс этапа радиометрических преобразований средствами программного обеспечения Geomatica 2016 представлен на рис. 1 [1, 3].

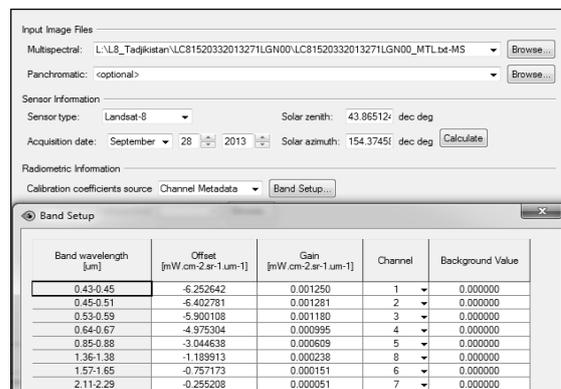


Рис. 1. Радиометрическая калибровка Landsat-8

На основе комбинации значений яркости в каналах, информативных для выделения объекта и расчета по этим значениям «спектрального индекса» строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что позволяет выделить исследуемый объект. В качестве источника информации для распознавания ледового покрова принимается альbedo поверхности в ИК-диапазонах [1, 3].

Ледовый индекс рассчитывается как соотношение наборов данных ближней и коротковолновой инфракрасных частей спектра. Лед имеет высокую отражательную способность в ближней части спектра электромагнитного излучения и хорошо поглощает в коротковолновой инфракрасной части спектра. Отметим, коэффициент отражения облаков остается на высоком уровне в тех же частях спектра, что позволяет разделить классы облачности и снежно-ледового покрова [3].

Применительно к оптико-электронным данным ледовый индекс ( $G$ ) рассчитан как отношение коэффициентов отражения излучения с длиной волны 0,85-0,88 мкм и 1,57-1,65 мкм, что для Landsat-8 соответствует 5 (band 5) и 6 каналу (band 6), как показано в формуле 1 [3]:  $G = \text{band 5} / \text{band 6}$ .

Процедура атмосферной коррекции при расчете ледового индекса при обработке снимков ДЗЗ не применяется, т.к. влияние атмосферы на значения в числителе компенсируется аналогичным вкладом в знаменателе. Значения электро-магнитного излучения для льда в ближнем инфракрасном диапазоне максимальны, а в коротковолновом инфракрасном

(SWIR-1) минимальны. Выявленная закономерность наглядно продемонстрирована на рис.2 [3].

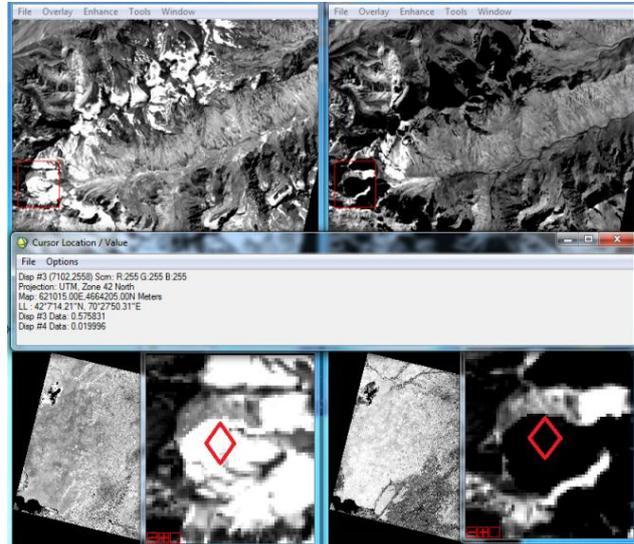


Рис. 2. Контрастность значений Landsat-8 для каналов 5 (NIR) и 6 (SWIR-1)

Расчет ледового индекса выполнен для каждой отдельной сцены, а результирующие тематические изображения, предварительно приведенные к единой картографической проекции (UTM 42), объединены в целостное покрытие с использованием процедуры «Создание мозаики». Набор входных сцен показан на рис. 3. [1, 3].

Результирующий композит ледников в пределах Таджикистана показан на рис. 4 [1, 3].

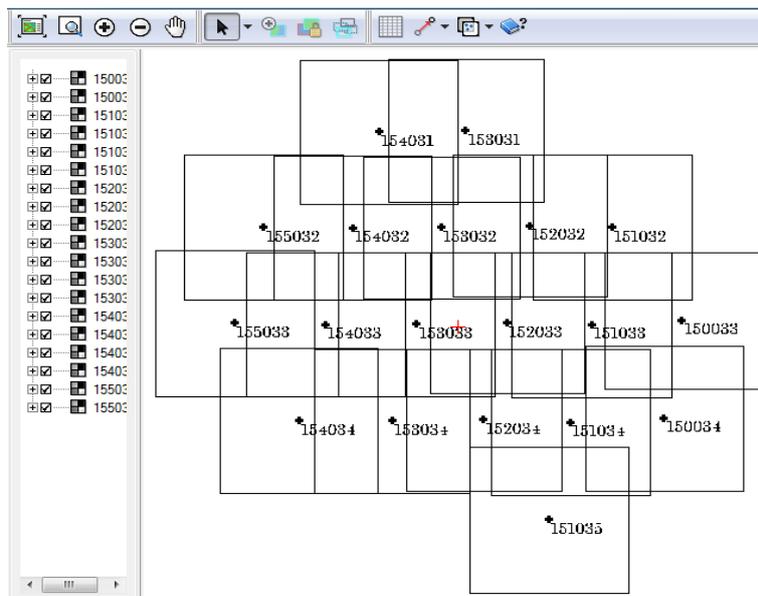


Рис. 3. Создание мозаичного композита сцен Landsat-8

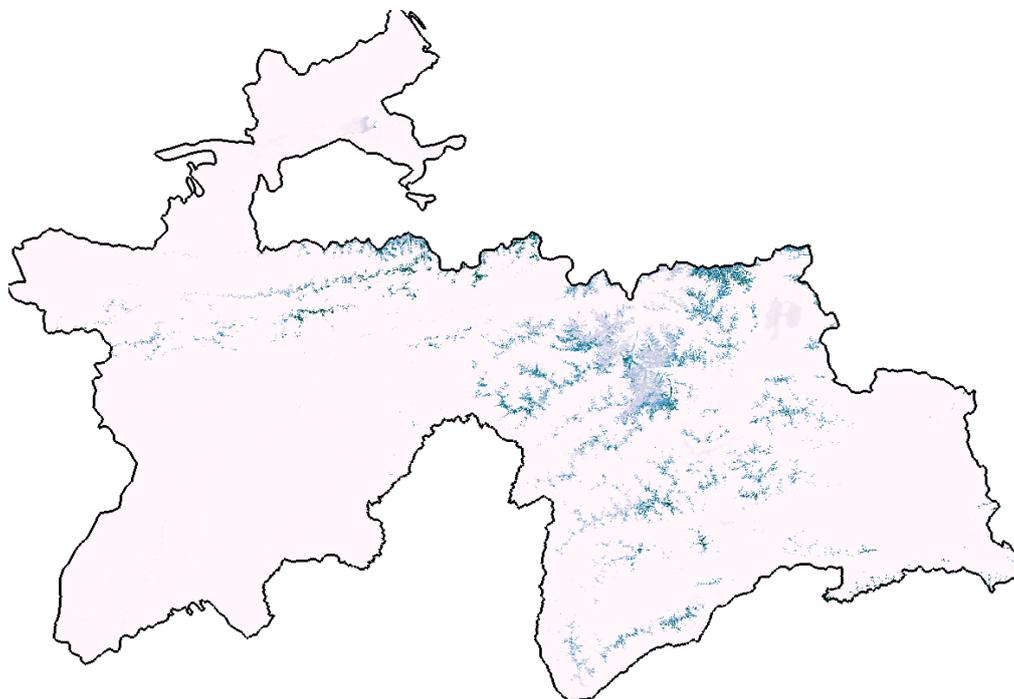


Рис. 4. Карта композита индекса ледников на территории Таджикистана

#### Выводы

1. С помощью космической информации ДЗЗ и ГИС определены границы ледово-снежного покрова и ледников криосферы на примере горной страны Таджикистана.

2. Ледники, оказывая существенное воздействие на климат, сами служат индикатором изменения климата, поэтому повторные ДЗЗ снимки и их обработка по выше приведенной ГИС методике, позволяют вести мониторинг динамики изменения площадей оледенения.

3. В условиях изменения климата на основе модернизации системы мониторинга, внедрения новых технологий и методов ДЗЗ повышается возможность

уточнений гидрологических расчетов в Центральной Азии.

#### Литература:

1. Ледники-водные ресурсы Таджикистана в условиях изменения климата / Государственное Учреждение по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан. Душанбе – 35 с.
2. Резолюция Международной научно-практической конференции «Водные ресурсы Центральной Азии и их использование», посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни», 22-24 сентября 2016 г., Алматы 2016.
3. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений, М: Техносфера, 2013. – 560 с.

Рецензент: д.г.-м.н., профессор Усунаев Ш.Э.