

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ  
АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕДНИКОВ  
ПО ДАННЫМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ  
НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНОВ РЕКИ КАШКАДАРЬЯ И СУРХАНДАРЬЯ, УЗБЕКИСТАН

*Э.Р. СЕМАКОВА, кандидат географических наук,  
старший научный сотрудник,  
А.Д. КРУТИКОВ, младший научный сотрудник,  
Д.Г. СЕМАКОВ, младший научный сотрудник  
(Астрономический институт Академии наук Узбекистана, Ташкент)  
ella9sem@gmail.com*

*В работе рассмотрены подходы дешифрирования ледников юго-западного Гиссаро-Алая, расположенных в пределах территории Узбекистана, на основе использования разновременных космических снимков Landsat. Рассмотрено изменение площади оледенения за несколько периодов с 1972 по 2021 гг.*

*Ключевые слова: дешифрирование ледников, снимки Landsat, Гиссаро-Алай, динамика оледенения, Узбекистан*

ASSESSMENT OF THE APPLICABILITY  
OF THE CLASSIFICATION TECHNIQUES  
ACCORDING TO MULTISPECTRAL SATELLITE DATA TO IDENTIFY GLACIERS  
ON THE EXAMPLE OF THE KASHKADARYA AND SURKHANDARYA RIVER BASINS,  
UZBEKISTAN

*E.R. SEMAKOVA, PhD, senior researcher,  
A.D. KRUTIKOV, junior researcher, D.G. SEMAKOV, junior researcher  
(Ulugh Beg Astronomical Institute of the Uzbekistan Academy of Sciences,  
Tashkent)  
e-mail: ella9sem@gmail.com*

*Some approaches to identify and classify glaciers based on the use of multi-temporal Landsat satellite images are presented in the work. The study area located in the south-western part of the Hissar-Alay mountains within the territory of Uzbekistan. The change in the glaciation area for several periods from 1972 to 2021 is considered in the paper.*

*Keywords: glacier identification, Landsat images, Hissaro-Alay mountain system, dynamics of glaciation, Uzbekistan*

**Введение.** Изучение ледников посредством данных дистанционного зондирования Земли - активно развивающееся в настоящее время направление, позволяющее решать ряд гляциогидрологических задач, имеющих важное значение в условиях засушливого климата Центральной Азии. В связи с труднодоступностью горных районов, данные дистанционного зондирования зачастую могут быть единственным источником информации для проведения широкомасштабной и одновременной оценки изменения параметров оледенения в разных районах. К примеру, для северных горных районов Узбекистана (бассейн реки Пскем, Западный Тянь-Шань) на основе использования данных оптической и радиолокационной космической съемки, лазерной альтиметрии, аэрофотосъемок получена оценка современного состояния оледенения бассейна (площадь и количество ледников и появившихся в речном бассейне озёр, положение фирновой линии на ледниках, связь высоты этой линии от верхней границы лесной растительности, высотное изменение поверхности ледников за определённый период, баланс массы ледников, селеопасность озёр на основе использования модели возможного формирования моренных озёр при отступании ледников и модели движения селевого потока) [1, 2].

В данном исследовании, на примере ледников горной системы Гиссаро-Алая, расположенных в южной части горных районов Узбекистана - бассейнах рек Кашкадарьи и Сурхандарьи с притоками рек Сангардак и Тупаланг, рассмотрено изменение площади оледенения за период с 1972 по 2021 гг. по данным серии спутников Landsat с использованием нескольких подходов к распознаванию ледников на космических снимках. Район исследований характеризуется дисперсным типом оледенения (ледники и снежники не образуют единого массива, а составляют полосы или очаги оледенения в наиболее повышенных участках гребней хребтов) и представлен малыми формами оледенения (площадь ледников не превышает  $2 \text{ км}^2$  и в среднем – не более  $0,5 \text{ км}^2$ ) [3]. Эпизодические наземные наблюдения проводились в разное время на отдельных, наиболее крупных, ледниках бассейна р. Кашкадарьи, ледниках Северцова и Батырбай. Первая инвентаризация ледников района выполнена в 1957-1960 гг. на основе картографического и аэрофотосъёмочного материала и представлена в многотомном Каталоге Ледников СССР [4].

Вторая каталогизация была выполнена на основе аналоговой космической съемки 1978–1980 гг. [5]. На основе спутниковых данных ALOS / AVNIR-2 проведено сравнение площади ледников 2007-2010 гг. с данными первого и второго каталогов [6].

Принимая во внимание период приспособления ледников к новым климатическим условиям в соседних районах, мы решили оценить суммарную площадь оледенения в исследуемом районе по состоянию на 2020-2021 гг., и, воспользовавшись архивом доступных данных USGS рассмотреть динамику оледенения за весь период космической съемки серией спутников Landsat.

**Основная часть.** Выбор спутниковых изображений с архива осуществлялся на даты конца периода абляции ледников с минимальным снежным покровом и минимальной облачностью. За период с 1972 по 2021 гг. таких изображений оказалось 17, полученных со спутников Landsat MSS, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 OLI-TIRS с различным пространственным разрешением. При детальном анализе дешифрируемости снимков (способности давать определенное количество информации о заснятой местности /ледниках), часть снимков была исключена из дальнейшей работы ввиду расположения некоторых ледников в теневой области или заснеженности.

Для идентификации ледников на снимках были использованы следующие методы:

- 1) автоматический метод управляемой классификации;
- 2) полуавтоматический метод с использованием отношения каналов;
- 3) визуально-ручной способ оцифровки границ ледников.

Расчет площади ледников осуществлялся средствами геоинформационных систем для каждого метода в отдельности. Рассмотрим подробнее каждый из них.

*1. Идентификация и экстрагирование площадей оледенения по исследуемой территории методом управляемой классификации.*

В связи с различием в диапазонах частот сенсоров Landsat 2, Landsat 5, Landsat 7 и Landsat 8, на этапе предварительной обработки данных проводилась унификация или осреднение данных для корректного экстрагирования данных. Алгоритм состоял в следующем. Все используемые изображения трансформировались в одноканальные слои градаций серого цвета с расчетом количества пикселей в каждой градации. Было получено, что для перевода каналов многозональных данных Landsat 2-8 в 1 комбинированный канал, лучшим сочетанием рабочих каналов является сочетание синего (B), ближнего инфракрасного (NIR) и одного из тепловых каналов (TIR).

Таким образом, для данных Landsat 2 и 5 это 1, 3 и 4 каналы, для данных Landsat 7 это 4, 5 и 6 каналы, Landsat 8 – это 2, 5 и 10 каналы. Далее по преобразованному одноканальному слою было использовано автоматизированное экстрагирование данных методом управляемой классификации с минимальными преобразованиями [7]. По данным количества пикселей

в каждом классе, размера (11,5 x 14,5 м) и площади пиксела (166,75 м<sup>2</sup>) рассчитывались площади ледников. За 2000 и 2013 гг. проведена коррекция площадей, поскольку наряду с ледниками идентифицировались снег и известняковые породы (рис.1).

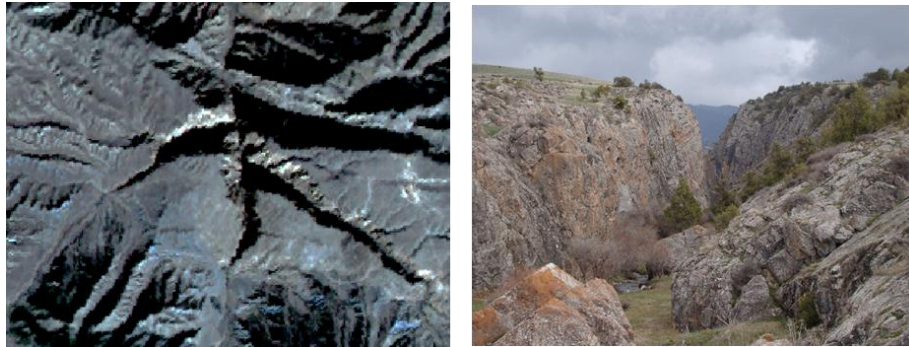


Рисунок 1. – Пример отображения известняков на космоснимке Landsat 7 и фотография территории, отображенной на этом снимке

В итоге были получены площади оледенения исследуемого района за 1977, 1988, 1990, 1993, 1997, 2000, 2011, 2013, 2018, 2020 и 2021 гг. (рис. 2), на основе которых можно увидеть тенденцию ее уменьшения, несмотря на накопление ледниковых масс в отдельные периоды. Отсутствие данных за период 2000 -2011 гг., когда сенсоры спутника Landsat 7 работали некорректно, а спутник Landsat 5 не был перенастроен, не позволяет получить более достоверную картину изменения оледенения района без привлечения дополнительных данных или других космосъемок.

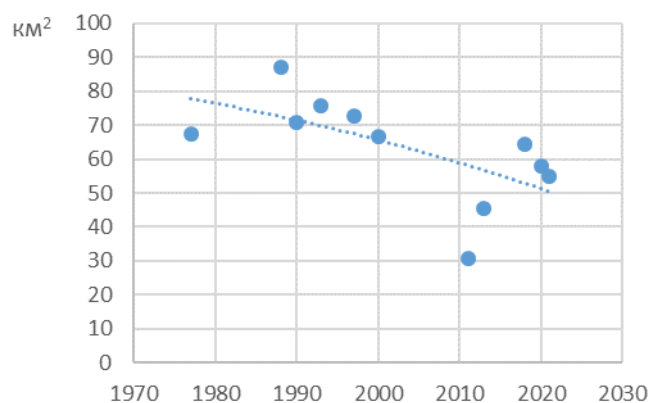


Рисунок 2. – Тенденция изменения площади оледенения на основе использования метода управляемой классификации

2) *Метод отношения каналов*, к примеру, красного к ближнему инфракрасному каналу, хорошо зарекомендовал себя при оконтуривании

границ чистого ледникового льда [8]. Ручная доработка заключается в выборе порога для каждого снимка, выше которого пиксел будет принадлежать области ледника, анализе проблемных участков в замороженной части ледника или в тенивой, а также в охваченной площади возникшего озера (рис. 3). Полигоны площадью менее 45 000 м<sup>2</sup> были удалены из дальнейшего анализа, т.к. они включали остатки распавшихся ледников, небольшие заснеженные участки вдоль русла рек, на склонах или гребнях. Изменения суммарной площади ледников района за исследуемые периоды показывают тенденцию сокращения, несмотря на большую изменчивость за счет снежности района в отдельные годы (рис. 4).

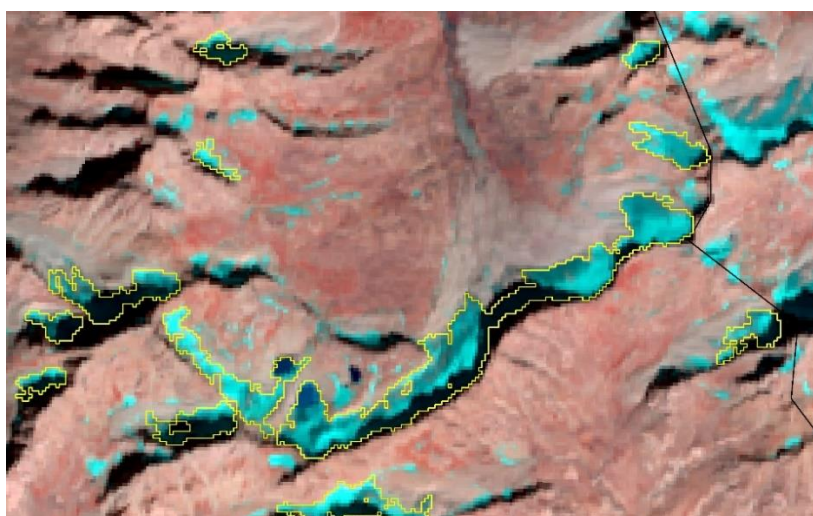


Рисунок 3. – Пример оконтуривания ледников за 2020 г. методом отношения каналов

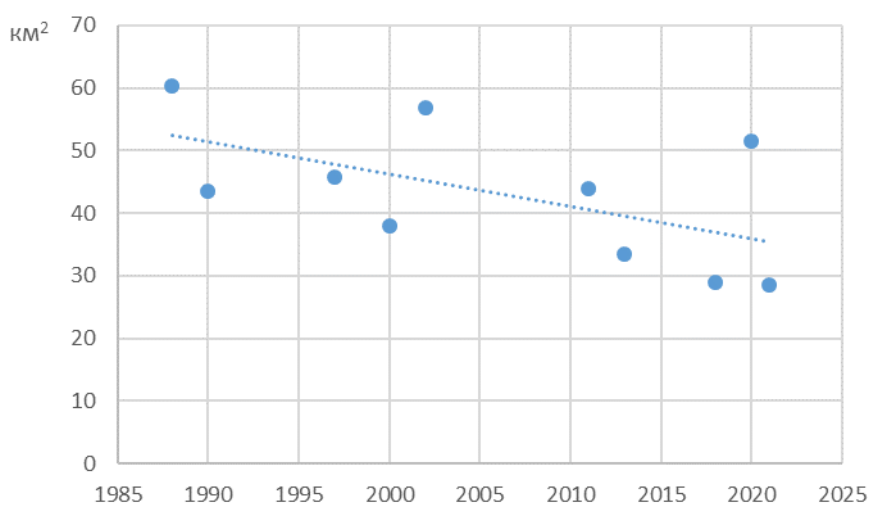
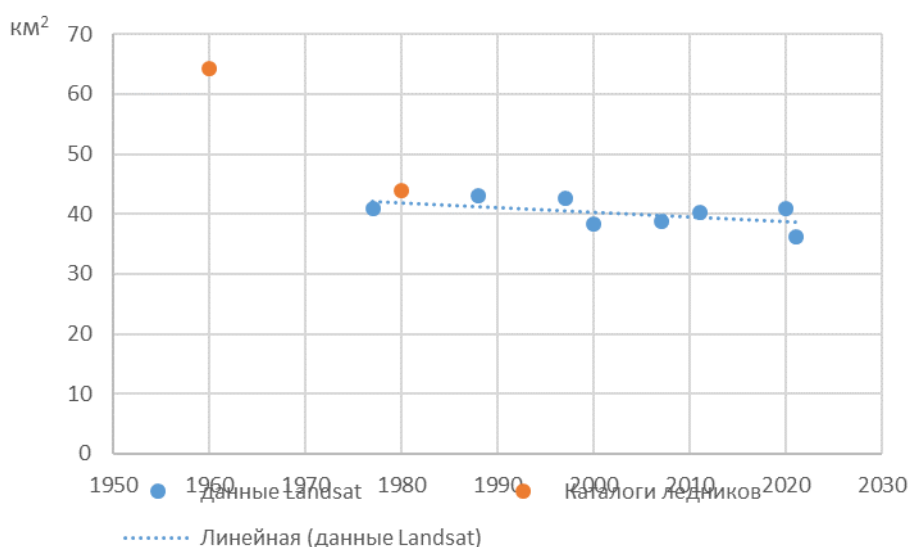


Рисунок 4. – Площадь ледников, полученная методом отношения каналов Red / NIR (SWIR)

4) Ручной метод оконтуривания границ ледников является самым кропотливым, но наиболее надежным, поскольку позволяет одновременно оценивать множество факторов, принимать во внимание данные предыдущих каталогизаций, особенности рельефа, тип ледника и др. Предварительно были составлены RGB-изображения, для улучшения пространственного разрешения которых был использован панхроматический канал при наличии. Для анализа изменений были выбраны ледники, которые хорошо отображались на всех анализируемых снимках и каталогах ледников (рис. 5). Кроме того, в анализ добавлены данные за 2007 г., полученные ручной оцифровкой с изображений ALOS [6]. Ошибка определения площади ледника размером  $0,1 \text{ км}^2$  на снимках Landsat с улучшенным разрешением (15 м) составляет 6%; размером  $0,5 \text{ км}^2$  – 3%. Эта погрешность будет больше для ледников 1970-х гг., площадь которых получена по данным Landsat MSS с пространственным разрешением 60 м. Сравнивая с данными каталогов, отметим, что данные второго каталога 1980-х гг. [5] соответствуют выявленной нами тенденции, а площадь ледников первого каталога за 1960-е гг. [4] несколько завышена, скорее всего, за счет включения скальных обрамлений и древних морен [3].



**Рисунок 5. – Площадь ледников, полученная методом ручного оконтуривания ледников на снимках Landsat в сравнении с данными каталогов [4, 5]**

Таким образом, все рассмотренные подходы идентификации ледников на космических снимках Landsat показывают тенденцию уменьшения площади оледенения в исследуемом районе.

Скорость уменьшения выше в случае применения первых двух методов (0,64 и 0,51 км<sup>2</sup> в год, соответственно) и не столь значительна в случае третьего (0,08 км<sup>2</sup> в год).

Различие по площадям в автоматизированных методах вызвано, вероятно, выбором анализируемых каналов. В первом она завышена за счет включения в общую площадь снежников, облаков и участков поверхности, схожих по отражению со снегом.

**Заключение.** Анализ архива спутниковых данных Landsat позволил выбрать наиболее подходящие данные для изучения гляциальных районов, зачастую покрытых облачностью и снежным покровом, и оценить площадь ледников юго-западной части Гиссаро-Алая в пределах Узбекистана (бассейны рек Кашкадарья и Сурхандарья), начиная с 1972 г. по настоящее время. Для идентификации ледников на космоснимках были использованы три подхода с использованием автоматического метода управляемой классификации, полуавтоматического метода отношения каналов и визуально-ручного метода оконтуривания области ледников. Было получено, что автоматизированные в разной степени методы позволяют достаточно быстро выявить тенденцию изменения площади оледенения в исследуемых районах. Для анализа поведения каждого ледника в отдельные годы и оценки его реакции на климатические изменения необходимо создавать детальные каталоги ледников с использованием визуально-ручного метода идентификации границ ледников на спутниковых данных более высокого разрешения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семакова Э.Р., Семаков Д.Г. О возможности использования методов ДЗЗ при расчётах гляциологических показателей для горных районов Узбекистана // *Лед и Снег*. – 2017. – № 57 (2) – С. 185–199, doi:10.15356/2076-6734-2017-2-185-199.
2. Semakova, E., & Semakov, D. Changes in Glaciers in the Pskem River basin, Uzbekistan: 1942 – 2020 // *International Journal of Geoinformatics*. – 2022. – №18 (1). – P. 43–51, <https://doi.org/10.52939/ijg.v18i1.2105>.
3. Щетинников А.С. Оледенение Гиссаро-Алая. Л.: Гидрометеоиздат, 1981, 120 с.
4. Каталог ледников СССР. Т 14. Вып. 3. Ч. 3, 4. Л.: Гидрометеоиздат, 1968.
5. Catalogue of Pamir and Hissaro-Alay Glaciation for 1980 (database of A.S. Schetinnikov). Almaty, 2012, 565 p.
6. Semakova E., Gunasekara K., Semakov D. Identification of the glaciers and mountain naturally dammed lakes in Uzbekistan using ALOS satellite data // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. – 2015. – № 7 (3). – P. 1081–1098, doi: 10.1080/19475705.2015.1023852.
7. Lillesand, T.M. et al. Remote Sensing and Image Interpretation. 7th Edition, 736 p.
8. F. Paul et al. Accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data // *Annals of Glaciology*. – 2013, – 54(63), doi: 10.3189/2013AoG63A296