

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ВЫСОКОГОРНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Элеонора Ринатовна Семакова

Астрономический институт Академии Наук РУз, 100052, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Астрономическая 33, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела прикладных космических исследований, тел. (+99871) 235-81-02, e-mail: ella9sem@gmail.com

Дмитрий Геннадьевич Семаков

Астрономический институт Академии Наук РУз, 100052, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Астрономическая 33, инженер отдела прикладных космических исследований, тел. (+99871) 235-81-02, e-mail: dsemakov@rambler.ru

Получено распределение ледников и горных озер по бассейнам рек Узбекистана на основе спутниковых данных ALOS.

Ключевые слова: горные ледники, гляциальные озера, данные ALOS и Landsat.

IDENTIFICATION THE GLACIAL OBJECTS FOR HIGH-MOUNTAIN REGIONS IN UZBEKISTAN

Eleonora R. Semakova

Ulugh Beg Astronomical Institute of the Uzbek Academy of Sciences, 100052, Uzbekistan, Tashkent, 33 Astronomicheskaya str., Ph.D., senior scientific researcher of the Department of Applied Space Technologies, tel. (+99871) 235-81-02, e-mail: ella9sem@gmail.com

Dmitriy G. Semakov

Ulugh Beg Astronomical Institute of the Uzbek Academy of Sciences, 100052, Uzbekistan, Tashkent, 33 Astronomicheskaya str., engineer of the Department of Applied Space Technologies, tel. (+99871) 235-81-02, e-mail: dsemakov@rambler.ru

The distribution of glaciers and mountainous lakes coverage in the river basins of Uzbekistan has revealed on the base of ALOS satellite data.

Key words: glaciers, glacial lakes, ALOS and Landsat satellite data.

Введение

Исследования состояния таких объектов природной среды, как ледники и озера в горных системах, примыкающих к засушливым районам, являются чрезвычайно важными. Ледники служат наиболее ярким индикатором климатических изменений [1, 2]. Отступление ледников в некоторых случаях связано с образованием опасных моренных озёр. Прорыв таких озер является одной из распространенных причин образования мощных селевых потоков в горах. В связи с труднодоступностью высокогорных районов отсутствует возможность систематических непосредственных наблюдений за состоянием

ледников и озер, поэтому использование данных ДЗЗ и ГИС-технологий для их изучения является наиболее эффективным средством решения этой проблемы.

Вся имеющаяся информация об оледенении исследуемых районов республики включает данные Каталога Ледников СССР по состоянию на 1957-1960 гг. [3], основанные на аэрофотосъемках; уточненные данные за этот же период [4] с использованием новых картографических материалов и данные инвентаризации ледников по состоянию на 1978-1980 гг. [5], основанные на аналоговых космических съемках. Результаты дешифрирования ледников небольшого бассейна р. Ойгаинг по летним снимкам ASTER TERRA 2001 г. показали уменьшение площади ледников на 16,8% с 1980 по 2001 г. [6].

Район исследований включает северную (бассейн реки Пскем) и южную (бассейны рек Кашкадарья и Сурхандарья) горные части на востоке и юго-востоке республики. Река Пскем является правой составляющей р. Чирчик, одного из крупнейших правых притоков р. Сырдарьи (Западный Тянь-Шань). Реки южной части района исследований являются притоками р. Амударьи и относятся к горной системе Гиссаро-Алая.

Исходные данные:

- ALOS/AVNIR-2 спутниковые данные на конец периода абляции ледников

- Данные Landsat MSS, TM, ETM+, 8 за 1977, 2000, 2002, 2011, 2013 гг.

- ЦМР (SRTM, ASTER)

- топографические карты М 1:200000 и снимки Google Earth

- полевые данные в отдельных бассейнах за летний сезон 2011 и 2012 гг.

Архив данных со спутника ALOS (2006 - 2011 гг.) был предоставлен японским агентством аэрокосмических исследований JAXA для выбора снимков, соответствующих гляциологическим целям, в ходе выполнения Мини-Проекта 2012 г. в ГИС-Центре Азиатского Института Технологий (Таиланд). Остальные исходные данные находятся в свободном интернет доступе. Экспедиционные наблюдения, включающие GPS-данные нижней границы ледников Баркрак и Текеш и границы моренных озер у ледника Баркрак (бассейн р. Пскем), а также серию фотографий различных типов морен [7], были использованы для сравнения с контурами этих объектов на спутниковых данных.

Методика работы

Основные проблемы при выборе снимков и дешифрировании ледников заключались в наличии облачного покрова и теней в высокогорных районах, трудности различения небольших ледников от снежников или остатков неактивных ледников, образовавшихся в результате распада, а также определения нижней границы ледников, зачехленных моренными отложениями. Для решения этих проблем мы использовали различные данные с двух спутников и рекомендации по составлению каталога ледников [8, 9].

Наилучшей комбинацией каналов для интерпретации гляциальных объектов при составлении цветного синтезированного изображения ALOS/AVNIR-2 оказались 4-3-2; Landsat TM - 6-4-3; Landsat-8 - 5-4-3, скомпилированного из 4 каналов. Заметим, что улучшение пространственного разрешения снимков Landsat панхроматическим каналом (15м) не позволяло выявить детально границы небольших озер на теле ледника или морены. Геометрическая коррекция снимков и некоторые процедуры по улучшению изображения выполнены в соответствии с методами обработки снимков [10].

Для снимков северной части района исследований выполнена процедура мозаики (склейки) изображений ALOS/AVNIR-2, чтобы охватить в едином файле весь бассейн р. Пскем. Такая же процедура была выполнена для панхроматических ALOS/PRISM данных, однако, ввиду того, что размеры сцен в мозаике PRISM не совпадали с размерами сцен AVNIR-2 на одни и те же даты съемок, мы не использовали их для улучшения пространственного разрешения AVNIR-2 данных.

Обработка ALOS/PALSAR данных выявила неудовлетворительное качество решения модуля Terrain Correction из-за наличия сложного горного рельефа и отсутствия ЦМР достаточной точности на исследуемые районы. Для данного уровня обработки радиолокационных снимков характерно наличие больших геометрических искажений, особенно в горных районах, вызванных тем, что съемка проводится со значительным отклонением от надира.

Отсканированные и геопривязанные топографические карты, 3D-ресурсы Google Earth и отсканированные схемы расположения ледников предыдущих инвентаризаций служили основой для идентификации ледников на космических снимках. Такие характеристики рельефа, как кривизна, экспозиция, крутизна склонов, а также линии горизонталей с любым шагом, полученные с ЦМР, служили вспомогательным средством для определения границ ледников определенного морфологического типа [1, 9].

Контура всех ледников были вручную оцифрованы на снимках ALOS/AVNIR-2 (за основу были выбраны малоснежные сезоны 2007 и 2008 гг.) и Landsat-8 (2013 г.). Отметим, что точность определения площади любых объектов на ALOS/AVNIR-2 составляет 4%, на снимках Landsat-8 - 6%. Содержание атрибутивной информации включало номер из Каталога ледников [3], географическое название, генетический тип и вычисленное значение длины, площади, преобладающей экспозиции ледника.

Для выявления озер мы использовали метод отношения каналов IR/R с классификацией значений по 1/3 стандартному отклонению на ALOS снимках. Самые низкие значения полученных гридов после процедур очистки и фильтрации позволяли выявить даже те мелкие озера, которые не были выявлены визуально - глазомерным способом.

Мы также пытались применить методы автоматической классификации [10] для определения границ ледников, однако, неравномерное освещение,

сложная структура снега, фирна и льда не позволяли выявить универсальный метод, пригодного для любого типа ледника [1, 3].

Для решения ряда гляциологических и гидрологических задач, в т.ч. оценки вероятности формирования моренных озер [11], необходимо знать такие элементы ледников, как площадь всего ледника и площадь открытой части ледника, наибольшая длина всего ледника и в т.ч. открытой части, положение снеговой (фирновой) линии, общая площадь области абляции, в т.ч. открытой части, а также высотные отметки этих элементов.

В процессе оцифровки границ ледников, мы различали, где это было возможно, область открытой части ледника и область ледника, зачехленной обломочным материалом горных пород. Совместный анализ RGB и IR/R снимков ALOS/AVNIR-2 позволял выделить в некоторых случаях поверхностные морены на теле ледника, включающие срединные, боковые и фронтальные морены, затененную часть ледника и снеговую линию, разделяющую область снега и область чистого льда. Согласно поставленным целям данной работы, в нижеприведенных расчетах будет учитываться площадь всего ледника.

Результаты и обсуждения

Площадь оледенения в бассейне реки Пскем, включающего бассейны рек Ойгаинг и Майдантал, по состоянию на 2007-2010 гг. оказалась равной 93,6 км², в бассейне р. Кашкадарьи – 10,6 км², в бассейне р. Сурхандарьи, включающего бассейны рек Сангардак и Тупаланг – 31,6 км². Причем больше 90% всех ледников имеют площадь менее 1 км².

Сравнение полученных результатов оледенения в исследуемых бассейнах с площадями ледников за 2013 г. (по данным Landsat-8) выявило уменьшение площади до 3% для ледников бассейна р. Кашкадарьи, для остальных районов оно совсем незначительное (до 1%). Выявленные изменения находятся в пределах точности определения площади объектов по этим снимкам, и, таким образом, мы можем принять современный период расчета площади ледников с 2007 по 2013 гг. как ~ 2010 г.

Сравнение площади отдельных ледников за этот период с данными публикаций [6] по состоянию на 2001 г. (бассейн р. Ойгаинг) и с данными Landsat за 2000 г. (крупные ледники южной горной части) показало увеличение площади этих ледников на 2-3% за последнее десятилетие. Такие колебания, в принципе, отмечались и в периоды экспедиционных наблюдений на этих ледниках с 1957 по 1965 гг. [3]. Однако, это расхождение в площадях также меньше ошибки определения площади объектов на снимках ASTER [6] и Landsat, следовательно, можно утверждать, что существенного изменения площади оледенения за период с 2000 по 2010 гг. в исследуемых горных районах не произошло.

Данные предыдущих каталогизаций позволяют оценить изменение площади оледенения в рассматриваемых горных районах к современному периоду, и скорость ее изменения между периодами. Получено, что в

бассейне р. Кашкадарья ледники потеряли почти половину своей площади за 50 лет (48%), в Сурхандарье – на 39%.

Площадь ледников в целом по бассейну р. Пскем сократилась на 27% за 50-летний период согласно данным за 1957-1960 гг. из Каталога [3], и на 23% - согласно уточненным данным за тот же период [4]. Однако в частных небольших бассейнах рек площадь оледенения сокращалась по-разному: на 35% - в Аккапчигайсай, на 33% - в Бештор, Коксу, Тастарсай, на 20% - в Шавурсай (с учетом данных Каталога [3] за 1960-е гг.).

Темпы деградации оледенения несколько снизились за второй период (с 1980-х по 2010-е гг.), и оказались равными 0,4% за год для бассейнов рек Пскем и Сурхандарья и 1,1% за год – для ледников бассейна р. Кашкадарья.

Распределение площадей ледников в горных районах РУз в соответствии с выбранными градациями площадей (0,01–0,1 км², 0,1–0,5 км², 0,5–1 км², >1 км²) на периоды 1960, 1980 и 2010 гг. показало следующее.

Наибольшее количество ледников в настоящее время оказалось в группе ледников с площадью 0,01–0,1 км² и 0,1–0,5 км². Это связано с распадом более крупных ледников на мелкие, лучшими возможностями использованных ГИС-технологий и данных ДЗЗ, и возможным включением ряда снежников и неактивных ледников в группу 0,01–0,1 км², которые ранее могли не учитываться, однако суммарная их площадь весьма незначительна.

Наиболее существенно снизилась суммарная площадь крупных ледников (более 1 км²). Сильнее пострадали ледники Кашкадарьинской области, но в целом их намного меньше, чем в других районах. Суммарная площадь и количество ледников с площадью 0,5–1 км² и более 1 км² сократились незначительно с 1980 г. в Сурхандарьинской области. Такая же ситуация происходит для ледников с площадью 0,1–0,5 км² и 0,5–1 км² в северной горной части.

Результаты дешифрирования озер на снимках ALOS выявили 110 озер (общей площадью 1,8 км²) по всему бассейну р. Пскем, включая Майдантал. Из них 35 озер (1,5 км²) завального происхождения и 75 моренных и ледниковых озер (0,3 км²). По бассейнам южной горной части оказалось 20 завальных озер (0,4 км²) и 47 моренных и приледниковых озер (0,4 км²). Особенностью озер гляциального происхождения является временный характер их проявления. Количество и площадь таких озер может меняться от года к году и внутри одного летнего сезона. Дальнейшие исследования позволят оценить внутригодовую и межгодовую динамику озер, получить закономерности их распределения и выявить потенциально опасные озера. Полученные результаты могут представлять практический интерес для исследователей высокогорья, гидрологов и лиц, принимающих решения для защиты населения от опасных природных явлений.

Благодарности

Авторы статьи выражают большую благодарность космическому агентству JAXA за предоставленные снимки ALOS; организаторам мини-проектов в GIC AIT д-ру М. Hazarika, К. Gunasekara; к.г.н. М. Петрову за

предоставленные данные полевых наблюдений; д.т.н. С. Яковченко за полезные добрые советы в области обработки космических снимков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гляциологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 528 с.
2. Тронов М.В. Ледники и климат. Л.: ГИМИЗ, 1966. – 407 с.
3. Каталог ледников СССР. Том 14, вып. 3, ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 47 с.
4. Щетинников А.С. Ледники бассейна реки Пскем. Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 121 с.
5. Catalogue of Pamir and Hissaro-Alay Glaciation for 1980 (database of A.S. Schetinnikov). Almaty, 2012.– 565 pp.
6. Yakovlev A., Batirov R. Monitoring of Mountain Glaciers and Glacial Lakes using ASTER Space Images // Proc. of the First Int. Conf. APHW 2003, Kyoto, Japan, 2, 10042–1047 p.
7. Томашевская И.Г., Тихановская А.А., Петров М.А. Отступление ледников – фактор возникновения гляциальных селей // Криосфера Земли, 2013, т. XVII, № 4, с. 83–86.
8. Руководство по составлению каталога ледников. Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 154 с.
9. Paul F., Barry R., Cogley G., Frey H., Haeberli W., Ohmura A., Ommanney S., Raup B., Rivera A., Zemp M. Recommendations for the compilation of glacier inventory data from digital sources // Annals of Glaciology, 2010, 50 (53), pp. 119-126.
10. Lillesand, T.M. et al “Remote Sensing and Image Interpretation” Fifth edition, 765 p.
11. Glazirin G.E. Application of mathematical pattern recognition techniques in estimation of moraine-dammed lake formation probability due to glacier recession // Proc. of Int. Conf. on Mitigation of Natural Hazards, 2009, Bishkek, Kyrgyzstan, pp. 38-41.

© Э. Р. Семакова, Д. Г. Семаков, 2014