

УДК 551.324.629.78(571.15)

Г.Г. Кравченко

© Г.Г. Кравченко



ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ЛЕДНИКОВ ГОРНОГО ОБРАМЛЕНИЯ ПЛОСКОГОРЬЯ УКОК

Плоскогорье Укок – уникальный природный регион Алтая. Его сравнительно небольшая территория представляет обширный набор контрастных, но органично связанных высокогорных ландшафтных поясов. Укок находится на стыке ландшафтов, характерных для сибирских и центрально-азиатских регионов. Это придаёт территории своеобразие и неповторимость. Несмотря на суровость климата, территория использовалась человеком со времён неолита и по настоящее время. Но практически единственный вид хозяйственной деятельности на этой территории – пастбищное животноводство (зимнее пастбище в системе вертикальных перекочёвок). Территория чрезвычайно насыщена археологическими памятниками различных исторических эпох: от афанасьевских могильников до этнографической современности. Всё это явилось основанием для включения в 1998 г. территории плоскогорья Укок в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО в составе номинации «Алтай – Золотые горы». До этого, в 1994 г. на уровне органов власти Республики Алтай, плоскогорье было объявлено зоной покоя (природный резерват) «Укок». В настоящее время это особо охраняемая природная территория – Государственное учреждение Республики Алтай «Природный парк «Зона покоя Укок». Научное изучение территории плоскогорья Укок начато в конце 60-х годов 19 века экспедицией Бобкова И.Ф. Позднее территорию посещали научные экспедиции Певцова М.В., Козлова П.К., Резниченко В.В., Сапожникова В.В., братьев Троновых Б.В. и М.В.

Изучение территории продолжается и по настоящее время многочисленными исследователями. Несмотря на эти усилия, в целом территория остаётся недостаточно изученной. Причина этого – сложность объекта, его труднодоступность (в том числе приграничное положение), суровость климата, а в последнее время и недостаток финансирования для проведения полевых работ. История изучения этого объекта, а также основные результаты вместе с библиографией приведены в [1, 2]. Перспективным при дальнейшем научном изучении территории должны

стать методы дистанционного зондирования Земли, в первую очередь – материалы космической съёмки. Круг задач, решаемых данными методами, приведён в [3]. Несмотря на прогресс в характеристиках съёмочных систем (увеличение пространственного и радиометрического разрешений, увеличение спектрального разрешения) и снижение стоимости материалов съёмки, следует признать, что для данного случая на длительную перспективу доступными будут, в основном, относительно дешёвые архивные снимки среднего разрешения (спутники ресурсно-картографического назначения типа LANDSAT 7, SPOT, ASTER, ALOS). Съёмка «под заказ», которая, в конце концов, будет необходима, так же не может быть очень дорогой – соответственно это будет съёмка среднего разрешения. При этом снимки должны использоваться для решения максимально широкого круга задач. Именно комплексный подход к анализу материалов дистанционных методов даст принципиально новые возможности для решения проблем рационального природопользования.

К одной из таких составляющих всего комплекса задач относится изучение и мониторинг ледников. Ледники входят в обрамление плоскогорья Укок и находятся, прежде всего, на северных склонах горного массива Табын-Богдо-Ола и хребта Южный Алтай. Менее значимые ледники имеются на Кара-Алахинском хребте – западном обрамлении плоскогорья. Всего в горном обрамлении плоскогорья Укок насчитывается 254 ледника [1]. В числе задач, которые могут решаться на основе данных космической съёмки в данном случае, в [3] указаны следующие (тема № 34 «Ледники»):

- выделение и типизация ледников;
- выделение области питания и стока ледника;
- выделение поверхностных и боковых морен ледника.

Поскольку для данного региона задачи первого пункта могут считаться решёнными [4], то интерес представляли две оставшиеся задачи. Массив Табын-Богдо-Ола является крупнейшим центром оледенения Алтая. Однако интерес исследователей больше

сосредотачивался на южной части массива. Эта часть получает больше осадков, здесь рельеф сильно расчленён и, как результат, именно на склонах с южной экспозицией находятся наиболее крупные ледники долинного типа. В данном же случае целевым объектом был ледник № 253 [4]. Это куполовидный ледник с северной экспозицией. Рельеф этой части массива расчленён слабо. В [5] для этого ледника по состоянию на 1987 г. приведены следующие морфологические характеристики:

площадь – 22,5 кв. км;

длина – 5,5 км;

высота конца языка ледника – 3000 м;

высота фирновой линии – 3200 м.

Заметим, что, несмотря на то, что в целом ледник считается куполовидным, в нескольких местах он стекает небольшими языками в долины. Самый большой язык в западной части. Видимо, именно для него в [5] указаны длина и высота языка, а также высота фирновой линии, приведённые выше. Изучению ледников массива Табын-Богдо-Ола посвящена и работа [7]. Представленные в ней результаты, в основном, повторяют приведённые в [6]. Ссылка на использование материалов космической съёмки есть в этой работе (как, впрочем, и в [5]), однако, методическая сторона применения этих материалов, а также собственно полученные на их основе количественные характеристики в этих работах не приведены.

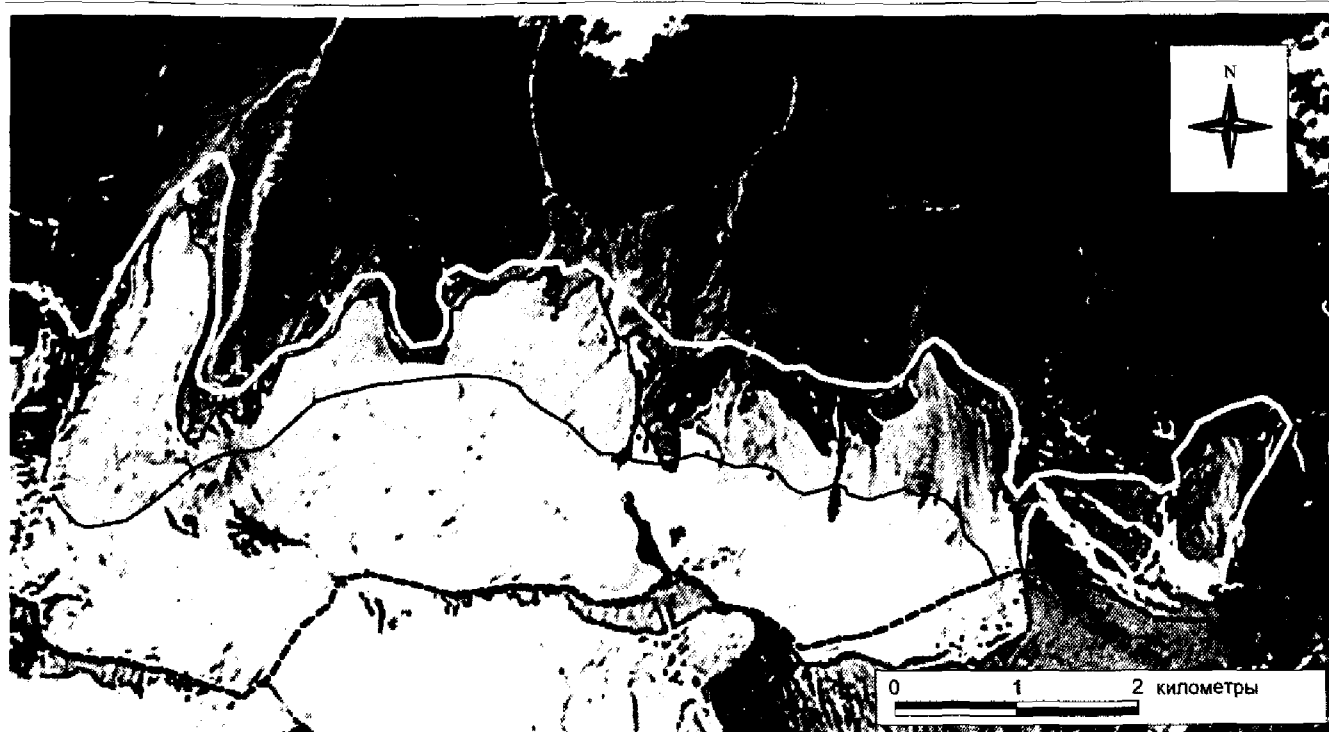
С целью выяснения общей ситуации на леднике, измерения координат реперных точек и получения набора эталонов для дешифрирования, в июле 2007 г. была выполнена краткосрочная экспедиция к рассматриваемому объекту. В результате были измерены координаты реперных и характерных точек, а также получен обширный набор фотоматериалов с эталонами для дешифрирования.

Для оценки возможностей космической съёмки в задачах мониторинга ледников были взяты архивные данные спутника LANDSAT 7, полученные 7 августа 2000 г. аппаратурой ETM+. Дата съёмки почти совпадает со временем окончания сезона таяния для данного региона. Облачность в момент съёмки над исследуемым объектом отсутствовала. Данные панхроматической и спектральной съёмки были объединены в один цветной снимок. Полученный снимок был привязан в системе координат UTM и ортофототрансформирован. На нём выделены и закартографированы: границы моренных комплексов середины 19 века, контур ледника на дату съёмки, граница снеговой линии на дату съёмки, водораздел с южной стороны ледника. Полученные результаты показаны на рис. 1. Здесь же показан контур ледника по топографическим картам масштаба 1:200 000

(эти данные близки к приведённым в рис. 1) [5]. Состояние местности на этих топографических картах дано на 1969 год. Для определения высот на полученные данные накладывалась ЦМР, соответствующая топографическим картам масштаба 1:200 000.

Общий вид части ледника приведён с фотографии на рис. 2. (все приведённые фотографии сделаны 12 июля 2007 года.). На переднем плане внизу, в понижении рельефа видны остатки сезонного снега, который значительно загрязнён золой пылью жёлто-коричневого оттенка. Выше видны два небольших скопления талой воды, которые на космоснимке передаются тёмными пятнами. Внизу справа виден один из небольших языков ледника, спускающийся в троговую долину, на месте деградировавшего нивального кара. Конец этого языка на рис. 1 помечен красной точкой. Координаты этой точки измерены, высота её составляет 3076 м. В этом месте находится небольшой грот – признак деградирующего ледника. В целом, толщина льда этого языка у края небольшая, лёд тёмный и сильно перемешан с материалом морены. Границы моренных комплексов середины 19 века (глыбовый материал, представленный гранитоидами калбинского комплекса) на космоснимке достаточно контрастно передаются по сравнению с подступающим с севера растительным покровом. Последний представлен, в основном, редкой растительностью высокогорной щебнистой тундры. Пример такой границы показан с фотографии на рис. 3. На рис. 1 это место отмечено зелёным треугольником. С юго-западной стороны показанной здесь боковой моренной гряды находятся чёткие следы пульсации ледника. На космоснимке эти признаки переданы слабо и дешифрируются с трудом. Там же, юго-западнее, находится небольшое задровое поле протяжённостью около 600 м. Однако, разрешение используемого снимка не позволяет выделить и надёжно закартографировать границы данного объекта.

На анализируемом снимке чётко видно, что восточная часть ледника распалась и по сравнению с границей ледника, приведённой в работе Ревякина В.С. и Мухаметова Р.М. [5] (рис. 1), современная граница проходит западнее. Распад произошёл за счёт протавивания льда на повышенном участке рельефа между перевалами Цаст-Даба и Армаган-Дзэлги-Даба. Мощностные отложения сезонного снега в этом месте, видимо, была невелика из-за метелевого сноса. Оставшаяся часть ледника имеет площадь 18,9 кв. км. Изменение площади произошло не только за счёт потери ледником его восточной части, но и за счёт отступления ледника. Хотя в целом, это отступление не является значительным. Наиболее существенное отступление наблюдается у самого крупного



Условные обозначения

- моренные комплексы середины 19 века
- граница снеговой линии по космоснимку
- контур ледников по космоснимку
- водораздел
- контуры ледников по карте М1:200 000

Рис. 1. Результаты дешифрирования космоснимка

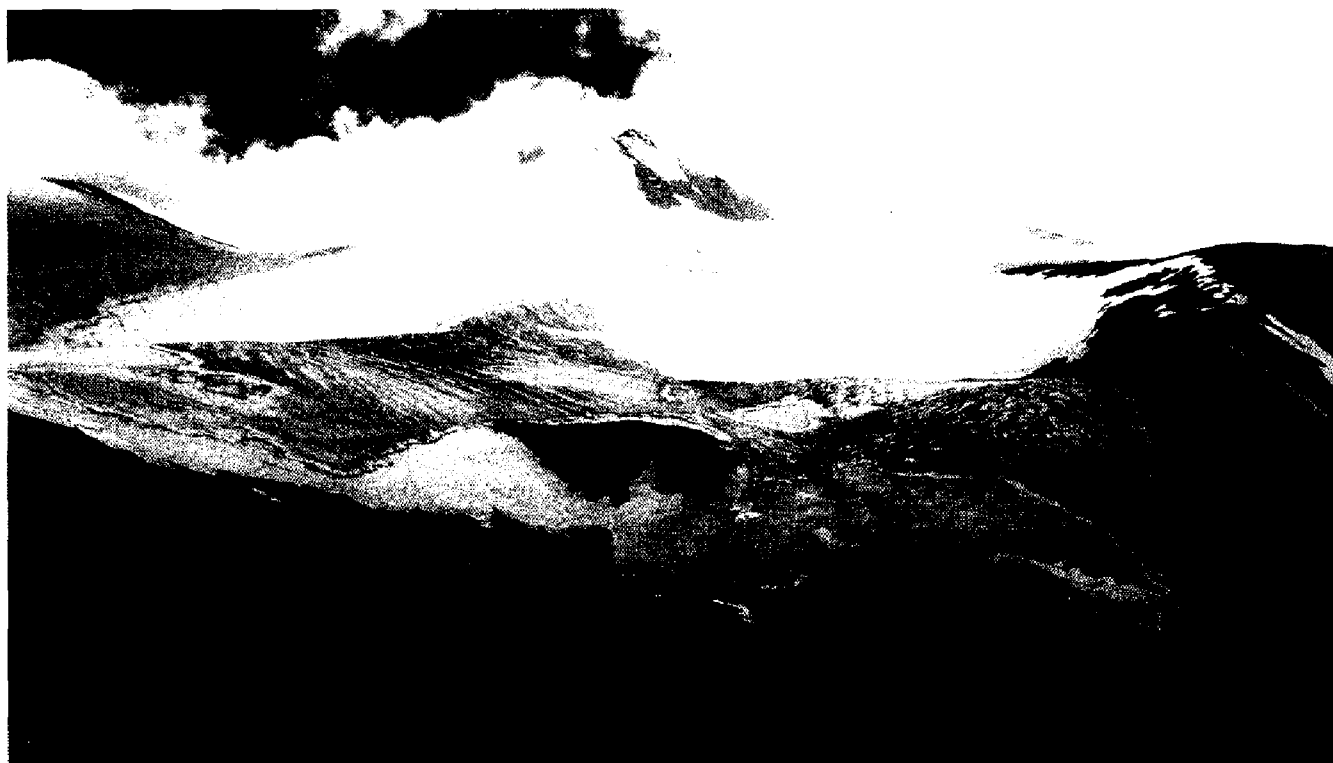


Рис. 2. Общий вид части ледника



Рис. 3. Вид границы моренных комплексов середины 19 века

западного языка. По сравнению с картой масштаба 1:200 000 отступление составляет 520 м. Измеренная длина ледника от южного водораздела и до конца языка на дату снимка составляет 4,93 км. Конец языка при этом оказался на высоте 3040 м.

Интересно отметить, что отступление языков для расположенных с южной стороны водораздела ледников Потанина и Александры составило на рассматриваемых космоснимках по сравнению с их положением на карте 1:200 000 соответственно 530 м и 260 м. Отступление этих ледников от границ моренных комплексов середины 19 века составляет соответственно 2430 м и 2245 м. Факт более медленного отступления ледника Александры отмечен и обоснован в работе Ревякина В.С. и Мухаметова Р.М. [5]. Если в данном случае границы моренных комплексов и нижняя граница ледника выделяются по снимку относительно просто, то граница снеговой линии дешифрируется сложнее. В целом, эта линия выделяется и по оттенкам белого цвета и по различиям в текстурах снежной зоны и зоны наложенного льда. Визуально текстура зон наложенного льда определяется полосчатостью поверхности, сформированной стоками талых вод и ледниковым течением. Однако на снимке эти текстурные особенности проявляются не везде, в силу недостаточного разрешения. Использование текстурных характеристик, которые в силу своего интегрального характера должны быть более информативны, также осложняется различными формами рельефа и, как следствие, неодинаковой тол-

щиной снежного покрова из-за метелевого переноса. Это хорошо видно на рис. 2. Но использованная ЦМР для решения поставленных задач является генерализованной и не даёт всей необходимой информации для интерпретации этих особенностей снимка. При этом очень полезным оказался полученный набор фотоизображений. Нижняя западная часть ледника на космоснимке представляет чередование пятен снега и наложенного льда. Заметим, что обработка изображений этих участков, позволяет сделать их границу более контрастной. Наиболее просто картина выглядит только в восточной части ледника – склон вершины и её подножье здесь относительно гладкие и пологие. Высота снеговой линии в этой части равна 3450 м. Высота границы области абляции, рассчитываемая по способу Гефера, составляет для этой части ледника 3300 м. В западной части снеговая граница проводилась там, где суммарные площади пятен снега становились больше площади пятен наложенного льда.

Оцененная таким образом для западной части ледника высота снеговой линии составляет 3400 м, а высота границы области абляции соответственно получается 3210 м. Это вполне согласуется с приведённым в работе Галахова В.П. и Мухаметова Р.М. [6] полем фирновой границы для этого региона. Там также отмечено повышение этой границы с юго-запада на северо-восток. Для ледника Потанина высота снеговой линии оценивается по снимку в 3540 м, а высота конца языка в 2920 м. Соответственно,

высота границы области абляции, рассчитываемая по способу Гефера получается 3230 м. Для этого крупного ледника оценка высоты границы области абляции может быть сделана по способу Гесса. С использованием вышеназванной карты масштаба 1: 200 000, то есть по времени на 1969 год, эта высота получается 3210 м. При этом отметим, что в работе Ревякина В.С. и Мухаметова Р.М. [5] для этого ледника дана высота рассматриваемой границы в 3200 м.

Приведённые выше материалы показывают возможность получать на основе данных космической съёмки средствами геоинформационных технологий значительный объём количественной информации, необходимой при мониторинге ледников. При этом, безусловно, ведущая роль остаётся за данными стационарных пунктов непрерывного наблюдения.

Получаемая по космическим данным информация должна дополнять данные стационарных наблюдений. И если стационарные наблюдения сейчас очень ограничены, то геоинформационные технологии в сочетании с наземно-дистанционными данными позволяют получать дополнительную информацию по огромным территориям. Такие данные затем могут усредняться по методике Кренке [6]. Для эффективного использования материалов космической съёмки нужна максимально точная модель рельефа. Хотя одной из задач в данном случае и является определение рельефа – речь идёт о точности исходных данных. К сожалению, использование радиолокационной съёмки для определения точной модели рельефа пока остаётся недостижимым для подобных природных объектов по экономическим причинам.

В заключение автор выражает благодарность председателю Горно-Алтайского регионального

отделения Российского геологического общества В.Л.Ермакову за организацию экспедиции и помощь в работе, также автор благодарен НПО «Сибгеоинформатика» за техническую и информационную поддержку при выполнении работы.

Ключевые слова: плоскогорье Укок, Республика Алтай, мониторинг ледников, космическая съёмка, спутники типа LANDSAT 7, SPOT, ASTER, ALOS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маринин А.М., Манеев А.Г., Малков Н.П., Ушакова В.Г. и др. Красная книга Республики Алтай: особо охраняемые территории и объекты. – Горно-Алтайск, 2000. – 272 с.
2. Укок (прошлое, настоящее, будущее): монография / А.Н. Рудой [и др.]. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2000. – 172 с.
3. Классификатор тематических задач оценки природных ресурсов и окружающей среды, решаемых с использованием материалов дистанционного зондирования Земли. Редакция 6. – Иркутск; М., 2002. – 51 с.
4. Каталог ледников СССР. – Л.: ГИМИЗ, 1977. – Т. 15. – Вып. 1. – Ч. 5. – 60 с.
5. Ревякин В.С., Мухаметов Р.М. Динамика ледников Табын-Богдо-Ола // Гляциология Сибири: сб. статей / под ред. П.А.Окишева и Ю.К.Нарожного. – Вып. 4 (19). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1993. – С. 83-92.
6. Галахов В.П., Мухаметов Р.М. Ледники Алтая. – Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН, 1999. – 136 с.
7. Нарожный Ю.К., Галахов В.П., Редькин А.Г., Суразаков А.Б. Оледенение горного узла Табын-Богдо-Ола и его режим // Изв. РГО, 1999. – Т. 131. – Вып. 3. – С. 57-60.