

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 556.5(1/9)

Н.В. Игловская, Ю.К. Нарожный

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СНЕГОЗАПАСОВ АЛТАЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Представлена технология оценки снегонакопления с использованием спутниковой информации. Приводится карта снегозапасов для территории Алтая на 20 марта 2004 г., построенная на основе снимков спутников NOAA и TERRA.

Ключевые слова: Алтай; снегозапасы; спутниковая информация.

Общее представление о снежном покрове дают материалы многолетних наблюдений Западно-Сибирского УГМС. Ряды наблюдений по нескольким станциям насчитывают от 50 до 60 лет и более. Но количество станций не покрывает реальных потребностей территории, кроме того, в последние годы произошло сокращение сети. Расположение существующих станций и постов не всегда отражает реальные условия формирования снежного покрова. Это связано с тем, что станции находятся в основном в долинах и межгорных котловинах, и потому большинство из них расположены до высоты 1000 м. При этом средневзвешенная высота основных водосборов территории составляет: р. Обь у г. Барнаула – 1210 м, р. Катунь у с. Сростки – 1890 м, р. Бия у г. Бийска – 1375 м. Наиболее полные сведения о распределении снегозапасов в горных районах были получены в ходе снегомерных съемок, которые регулярно проводило Западно-Сибирское УГМС. Маршруты были выбраны таким образом, чтобы охарактеризовать различные по условиям увлажнения районы и высотные зоны, не охваченные стандартными наблюдениями. Снегомерные пункты находились: в верховьях р. Катуни; в центральном районе, расположенном между Семинским и Теректинским хребтами Алтайских гор и Прителецком районе, охватывали высотный интервал от 360 до 2200 м. Существенным дополнением к этим сведениям стали данные, полученные в ходе экспедиций ТГУ в различных горно-ледниковых районах. Эта информация существенно уточнила характер распределения снегозапасов по высоте.

Изучением снежного покрова бассейна Верхней Оби занимались многие исследователи. Опубликованы статьи и монографии, описывающие снежный покров отдельных водосборов, небольших районов и горно-ледниковых бассейнов высокогорья. В них содержится ценная информация и анализ распределения снега в зависимости от локальных климатических и орографических условий. Наиболее полное обобщение и описание снежного покрова Алтая выполнено в работах В.С. Ревякина и его соавторов [1–4]. В монографии В.С. Ревякина и В.И. Кравцовой «Снежный покров и лавины Алтая» [5] представлены карты высоты снежного покрова на всю территорию, составленные по зависимостям от высоты местности и ландшафтному методу. Карта высоты снега, построенная по высотным зависимостям, отражает основные закономерности распределения снежного покрова Алтая. Кроме того,

авторами дано подробное описание особенностей распределения снега и факторов, его определяющих. Основная проблема при работе с данным картографическим материалом состоит в том, что масштаб опубликованной карты не позволяет использовать ее в гидрологических расчетах. Картирована высота снега, и для перехода к снегозапасу необходимо учитывать плотность снега, которая зависит от целого ряда факторов, их недоучет может привести к значительным ошибкам.

Применение спутниковой информации в оценке снегозапасов. Развитие современных технологий открывает новые возможности для решения прикладных гидрологических задач. Дистанционные методы оценки состояния природной среды развиваются уже не первое десятилетие, при этом решение многих технических проблем и сопутствующих задач, в частности идентификации снега и льда по космическим снимкам позволило более объективно определять границы исследуемых объектов. Созданные программные продукты обработки спутниковой информации позволяют в автоматическом режиме получать площади заснеженности и ее распределение по высоте бассейна.

Дистанционные методы изучения горных районов уже были опробованы для территории Алтая. В работах В.И. Кравцовой и И.А. Лабутиной [6], И.С. Гарелика, А.М. Гринберга, А.Н. Кренке [7] представлены материалы обработки фотоснимков с орбитальной станции «Салют», произведенных в июне 1971 г. Съемка проводилась камерами разного масштаба: 1:1,5 – 1:2 и 1:7 млн.

В.И. Кравцовой, И.А. Лабутиной [6] была дана характеристика расположения границы снега, выделены ее особенности для пологих и расчлененных склонов, отмечено, что снимки более мелкого масштаба дают лучшее пространственное распределение границы снега. Авторы отмечали, что на том этапе получения данных не было возможности определять высоту снега, а следовательно, и снегозапас по снимкам. Тем не менее по материалам съемок было представлено относительное распределение снега на основе качественных показателей «снежный покров незначительной мощности», «снежный покров значительной мощности», предложены характерные дешифровочные признаки. По материалам была построена карта снегозапасов для района, находящегося на стыке Ивановского, Ульбинского, Коксуйского хребтов и хребта Холзун, названного

В.С. Ревякиным «полюсом снежности» [2]. По результатам обработки снимков июня 1971 г. сформулированы несколько закономерностей, которые в дальнейшем подтверждены детальными измерениями.

По данным этой же съемки были проведены расчеты снеготаяния высокогорной зоны Катунского хребта по методу «теплового проявления» [7]. Полученные результаты подтвердили перспективность метода для горных районов. Авторы отметили, что при известных допущениях метода его результаты точнее данных, полученных по наблюдениям станций Аккем и Каратюрк. Описанные результаты получены по единичным съемкам. Но даже в этом случае признавались несомненные достоинства спутниковой информации для картирования снежного покрова.

Новые возможности применения космической информации для Алтая появились с получением снимков ИСЗ NOAA и TERRA. Определяющим условием применения этих изображений в гидрологической практике стала разработка программного продукта «SNOW» специалистами Красноярского НИЦ и Красноярского Геоинформационного центра СО РАН [9]. Созданная технология реализуется для подготовки оперативных гидрологических прогнозов и позволяет в автоматическом режиме получать и рассчитывать площадь заснеженности территории.

Возможности данного технологического продукта не ограничиваются только прогнозными задачами. Полученный спутниковый материал, а главное, обработанный и представленный в количественных характеристиках и картографических изображениях, позволил уточнить распределение снеготаяния по территории Алтая и построить карту снеготаяния для этой территории. Поскольку основной задачей обработки спутниковой информации было обеспечение гидрологических прогнозов периода весеннего половодья, то снеготаяние приводился к 20 марту, именно эта характеристика и была картирована.

Методика определения снеготаяния на основе спутниковой информации. Методической основой определения снеготаяния с использованием спутниковой информации является «метод теплового проявления» [8]. Для расчета снеготаяния используется серия снимков, полученных со спутников NOAA, TERRA. По снимкам выделяется граница снега. Созданное программное обеспечение позволяет фиксировать метки сезонной снеговой границы в автоматическом режиме. Отмеченные точки попадают в базу данных, где регистрируются истинные координаты и высота. Для каждой точки выполняются расчеты слоя стаявшего снега (в мм воды) по наземной ежедневной метеорологической информации. Полученные данные приводятся к 20 марту – дате выпуска первоначального прогноза. Снеговая линия, которая лучше всего определяется по космическому снимку, наглядно представляет одновременное распределение снега по территории. Снимки выявляют различия высоты снеговой линии на склонах разной экспозиции. Сочетание разновременных снимков позволяет определять градиент снеготаяния на одном склоне.

Для оценки снеготаяния было обработано более 50 снимков за 12 лет: снимки ИСЗ NOAA – с 1997 по

2003 г., снимки ИСЗ TERRA – с 2004 по 2008 г. для всего бассейна Верхней Оби. Территория имеет уникальный набор физико-географических зон, поэтому можно эффективно отработать методику определения снеготаяния. Для работы использовались изображения, отвечающие ряду условий. Прежде всего, отбирались снимки без сплошного покрова облачности. Снимок может быть использован и в случае, когда отчетливо видна только часть территории для отдельного района. Исходное разрешение снимков хорошо генерализует границу снега, но при этом возникают трудности с идентификацией отдельных точек. Часть из них попадает в зону темнохвойной тайги, где динамика схода снега не прослеживается, и могут быть получены неправдоподобные величины. Для того чтобы отбраковать точки, попадающие в лес, применялся принцип совмещения двух разновременных снимков. Положение снеговой линии фиксировалось по весеннему снимку, а затем оно наносилось на зимний снимок, который соответствовал 100%-ному периоду заснеженности. Темные участки на нем отчетливо показывают районы, покрытые лесами и попавшие в эту зону точки отбраковывались. Отдельные снимки использовались для расчетов, другие помогали выделить районы темнохвойной тайги, отметить вершины и крутые склоны. Для уточнения характера подстилающей поверхности использовались топографические карты.

В настоящее время накоплено достаточное количество материала, которое позволяет для каждого района подобрать оптимальный набор снимков. Ход снеготаяния по территории, подчиненный законам вертикальной зональности, определяет периоды, в которые для каждого района выбираются снимки. Для территории Алтая была использована следующая схема: для равнинной части – снимки апреля, для среднегорья – мая, для высокогорья – июня–июля. Для определения зоны темнохвойных лесов – февральские и мартовские снимки. В указанные периоды выбираются два-три снимка за разные даты, которые показывают динамику снеготаяния в период весеннего снеготаяния.

В качестве иллюстрации технологии определения снеготаяния можно привести обработку снимков для района Центрального Алтая, Северо и Южно-Чуйских хребтов.

При сопоставлении нескольких положений границы снега одного периода (май) отмечается подобие, которое сохраняется из года в год (рис. 1). Даже при случайной выборке точек, фиксирующих положение линии, узловые точки практически совпадают, эти точки могут выступать реперами.

Композиция двух разновременных снеговых границ (май и июнь) позволяет выявить вершины и крутые склоны, которые свободны от снега даже зимой (рис. 2). Данная комбинация выявляет точки, которые попадают на ледники и на заснеженные водоемы. Космические изображения позволяют оценить характер подстилающей поверхности – снег, снег в лесу, растительность.

Разновременные снимки наглядно демонстрируют сход снега (см. рис. 2). В характере изменения этих линий можно отметить следующие особенности:

- максимальное повышение границы наблюдается на южных склонах;
- отчетливо проявляются речные долины;

– при этом в речных долинах быстрее открываются склоны южной и юго-западной экспозиции; на север-

ных склонах на движение снеговой границы большее влияние оказывает орографический фактор.

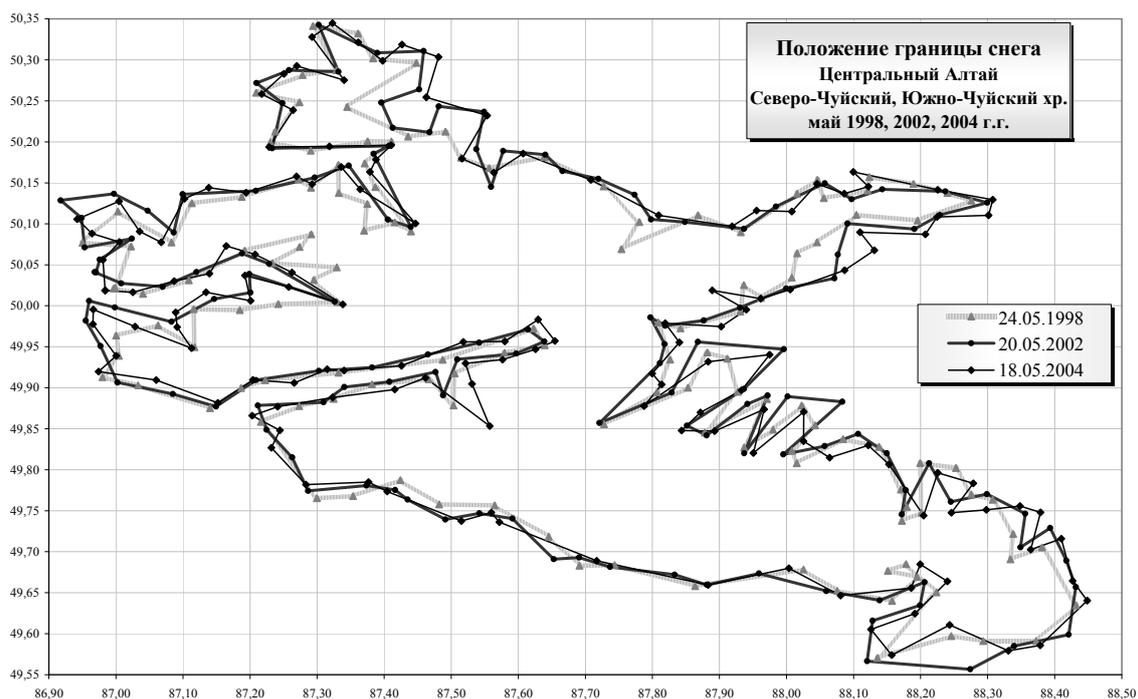


Рис. 1. Сезонная снеговая линия на снимках одного периода (май) в разные годы

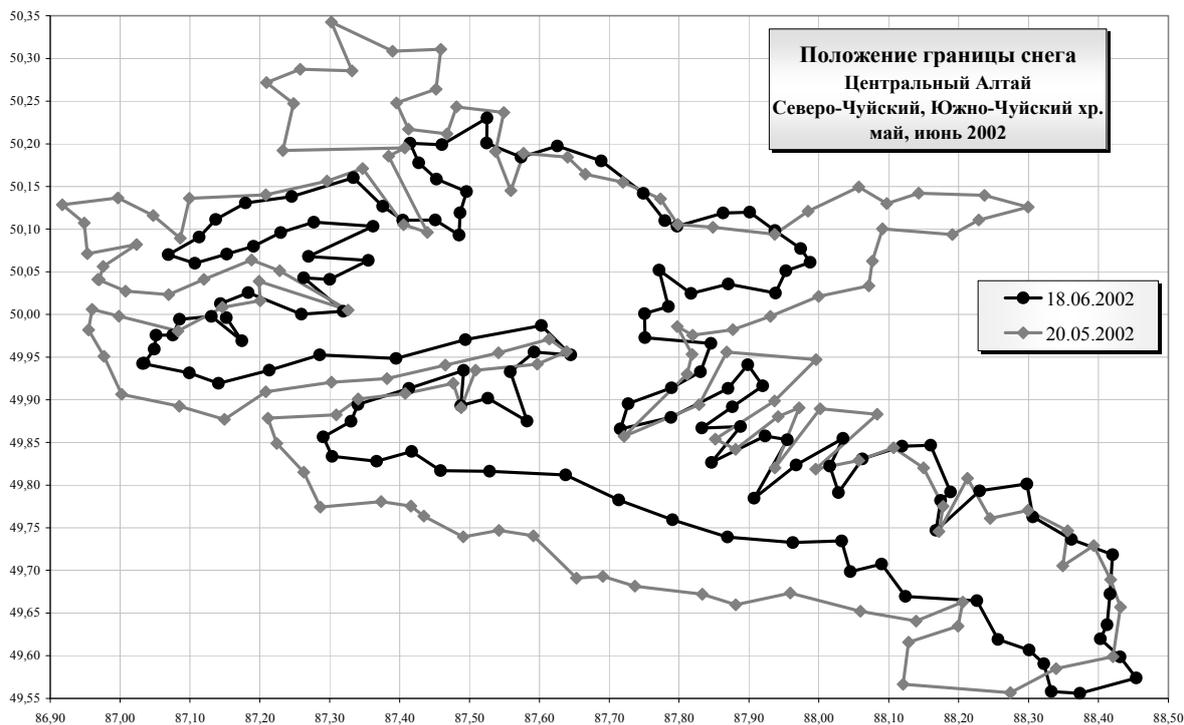


Рис. 2. Сезонная снеговая линия в разные даты одного года

Карта распределения снегозапасов по территории Алтая. Для построения карты снегозапасов бассейна Верхней Оби (р. Обь – г. Барнаул) был выбран 2004 г., количество и качество снимков для которого отвечает поставленным задачам (рис. 3).

В результате обработки снимков было получено более 3000 точек с рассчитанными снегозапасами.

Картирование снегозапаса явилось закономерным этапом обобщения полученных материалов и было выполнено для уточнения распределения снегозапасов для гидрологических прогнозов.

Карта снегозапасов для территории Алтая построена на дату 20 марта 2004 г. в масштабе 1:100 000.

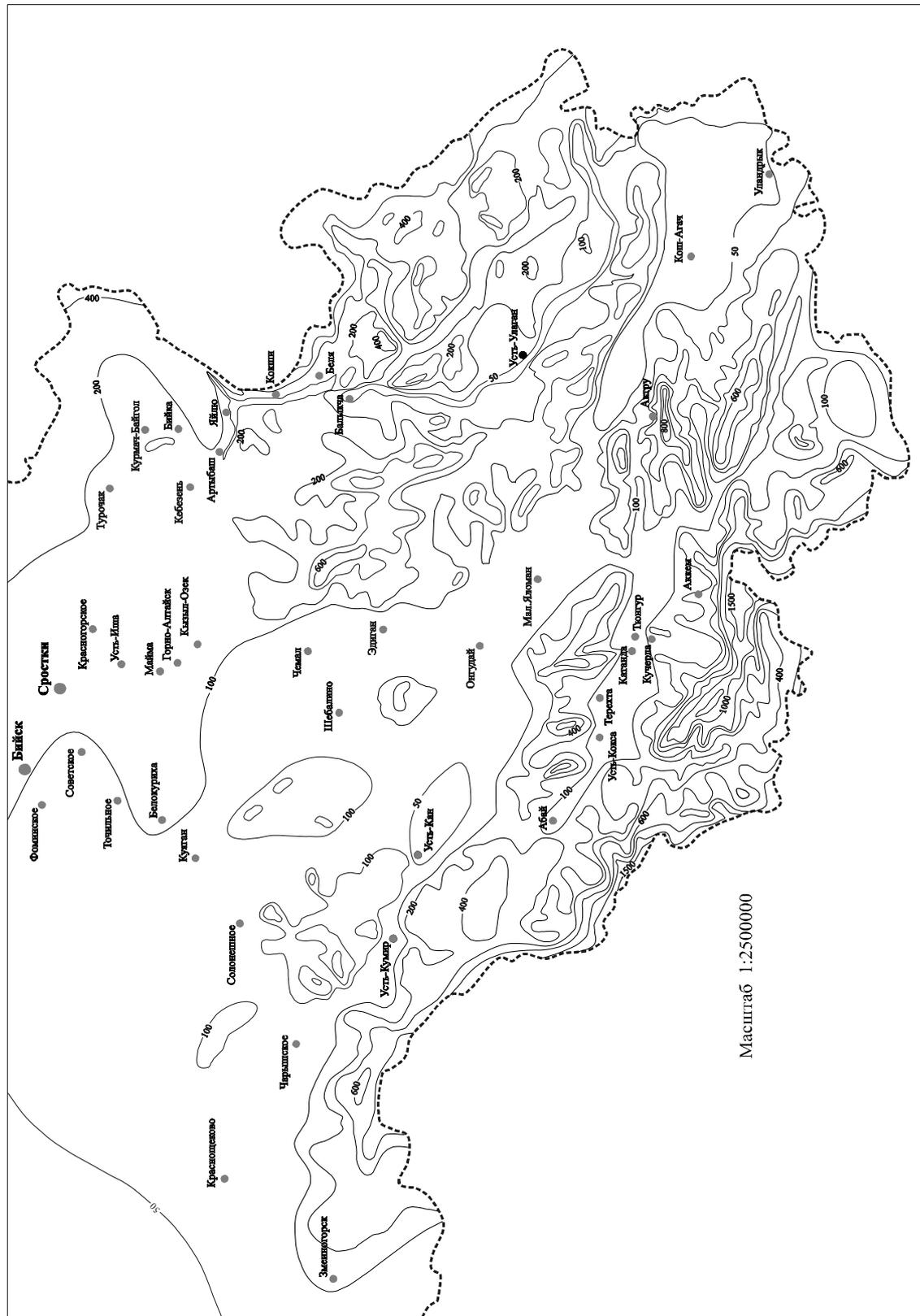


Рис. 3. Фрагмент карты снеготазасов Алтая по данным спутниковой информации на 20 марта 2004 г.

На ней отражены следующие закономерности распределения снега:

1. Максимальный снеговой запас отмечен на юго-западе территории – склонах хребта Холзун – и достигает 1500 мм на стыке хребтов Ивановский и Холзун. Эта зона имеет небольшую площадь в пригребневой зоне.

2. Такой же снеговой запас (1500 мм) отмечается на юго-западном склоне Катунского хребта, в истоках р. Озерной и в районе г. Белухи.

3. Среди горных хребтов находятся сухие степи: Уймонская, Курайская, Чуйская, снеговой запас которых не превышает 50 мм. На склонах Южно-Чуйского и Северо-Чуйского хребтов, в самых высоких зонах снеговой запас составляет соответственно 600 и 800 мм. В средних зонах – от 200 до 600 мм.

4. В бассейне р. Башкаус максимальный снеговой запас достигает 400 мм, но в среднем около 150 мм и на территориях выше 2 500 м он не увеличивается.

5. В бассейне Чулышмана снеговой запас повышается до 600 мм, средние значения – 200 мм, на дне речной долины – 100 мм.

6. В Прителецком районе, бассейне р. Лебедь, на склонах хребта Корбу снеговой запас составляет 400 мм.

7. На склонах Сумульгинского хребта и хребта Иолго проходит изолиния 600 мм.

8. Увеличение снеговой запаса до 600 мм отмечается на южном склоне Башчелакского хребта, на Ануйском, Чергинском и Семинском хребтах снеговой запас не превышает 200 мм.

На основе полученной карты построены распределения площадей и весовых коэффициентов снеговых запасов по высотным зонам основных речных бассейнов Алтая (рис. 4–6).

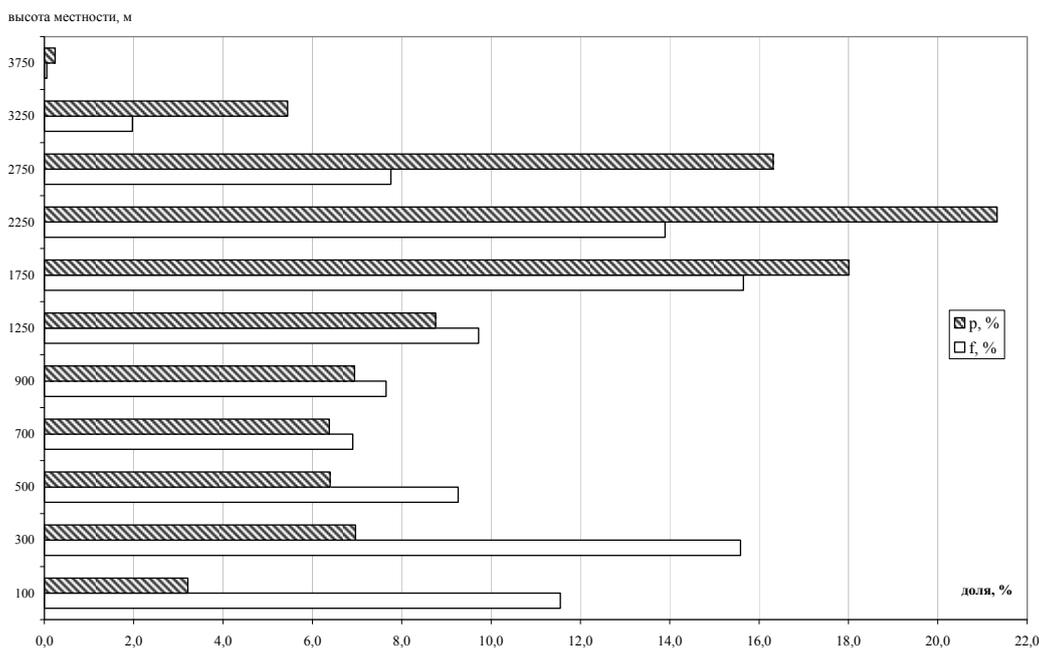


Рис. 4. Распределение площадей (f) и весовых коэффициентов снеговых запасов (p) по высотным зонам для бассейна р. Обь – г. Барнаул

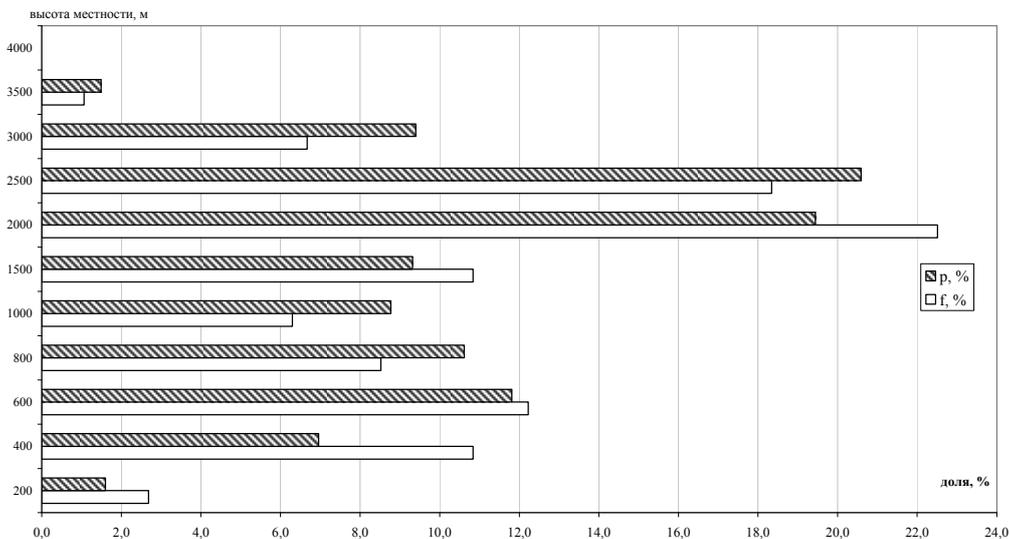


Рис. 5. Распределение площадей (f) и весовых коэффициентов снеговых запасов (p) по высотным зонам для бассейна р. Бия – г. Бийск

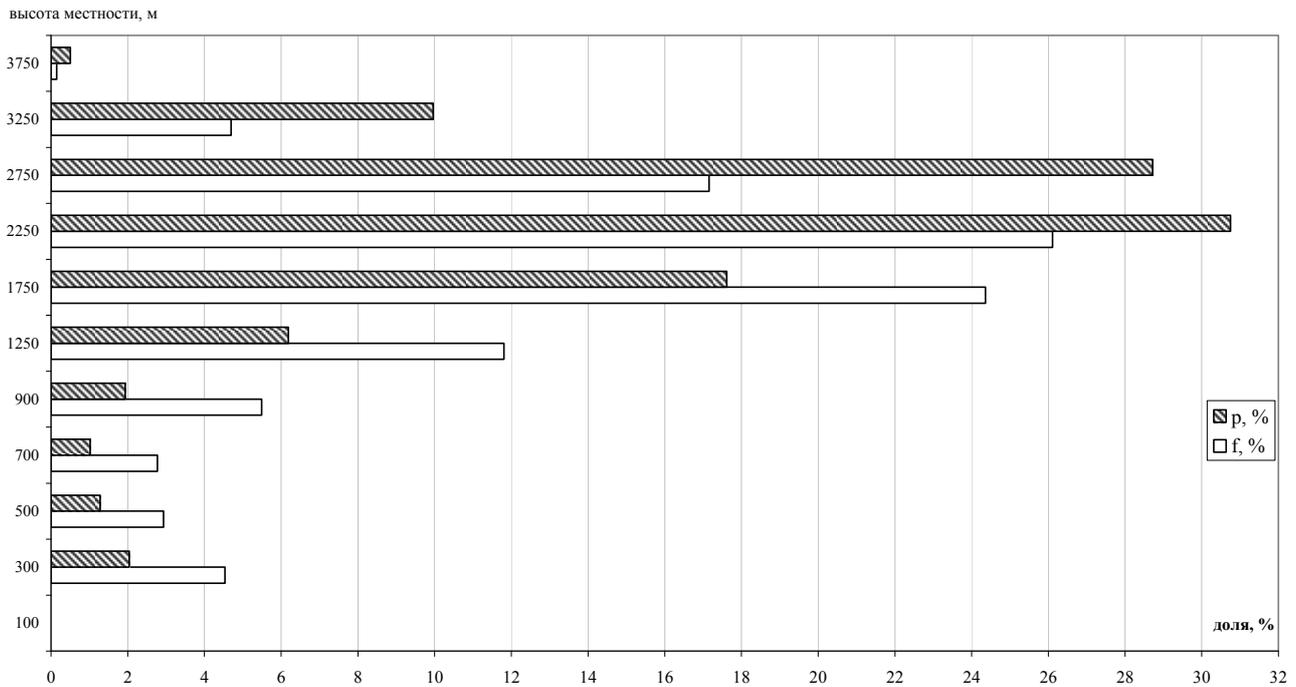


Рис. 6. Распределение площадей (f) и весовых коэффициентов снегозапасов (p) по высотным зонам для бассейна р. Катунь – с. Сростки

ЛИТЕРАТУРА

1. Ревякин В.С., Барахтин В.Н., Виноградов В.А. и др. Снежный покров Горного Алтая // МГИ. М., 1974. Вып. 23. С. 160–168.
2. Ревякин В.С., Попов В.И. Полос снежности Алтая // Известия ВГО. 1976. Т. 108, вып. 6. С. 550–554.
3. Ревякин В.С. и др. Снежный покров Алтае-Саянской области // МГИ. М., 1979. Вып. 35. С. 109–120.
4. Ревякин В.С., Галахов В.П., Голещихин В.П. Горноледниковые бассейны Алтая. Томск: Изд-во ТГУ, 1979. 308 с.
5. Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. Томск: Изд-во ТГУ, 1977. 216 с.
6. Кравцова В.И., Лабутина И.А. Использование космических снимков для гляциологического изучения горных районов // Исследование природной среды космическими средствами. 1974. Т. 3. С. 57–62.
7. Гарелик И.С., Гринберг А.М., Кренке А.Н. Использование материалов съемок со спутников для гляциологических исследований // Известия АН СССР. Сер. Геогр. 1975. № 1. С. 93–101.
8. Котляков В.М., Ходаков В.Г., Гринберг А.М. Тепловое проявление снежно-ледовых объектов как метод количественной интерпретации аэрокосмической информации // Известия АН СССР. Сер. Геогр. 1981. № 3. С. 127–132.
9. Бураков Д.А., Кашкин В.Б., Сухинин А.И. и др. Методика определения заснеженности речного бассейна по спутниковым данным для оперативных прогнозов стока // Метеорология и гидрология. 1996. Вып. 8. С. 100–109.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 22 июня 2009 г.