

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 556.5(1/9)

И.П. Вершинина, Н.В. Игловская

ОЦЕНКА СНЕГОЗАПАСОВ В ГОРАХ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Проведена оценка запасов воды в снежном покрове для горной территории юго-востока Западной Сибири. Построена карта снегозапасов по бассейнам рр. Томи и Бии с использованием данных спутников NOAA TERRA и автоматизированного программного пакета «SNOW».

**Ключевые слова:** космоснимки; снегозапас; р. Бия; р. Томь.

Основную долю в питании сибирских рек составляют талые воды, образующиеся за счет таяния накопившихся твердых осадков за зимний период года. Для прогноза максимальных уровней воды и объема речного стока за период весеннего половодья, оценки увлажнения почв тальми водами, расчетов снеговой нагрузки на сооружения при проектировании мероприятий по борьбе со снежными заносами – важно точнее оценить запасы воды в снежном покрове и динамику таяния снега в весенний период. Новую информацию о территориальном распределении снежного покрова дает космический мониторинг. Анализ натурных наблюдений за снежным покровом и первых снимков со спутников проведен многими исследователями до 80-х гг. прошлого века [1–3]. Спустя 30 лет появилась возможность использовать модернизированное спутниковое оборудование и разработанные новейшие методики определения снегозапасов на недоступных для человека высотах.

Цель статьи – оценка запасов воды в снежном покрове для горной территории юго-востока Западной Сибири по бассейнам рр. Бии и Томи до 2007 г. и апробация методики их получения с помощью космической информации, предложенной в работах [1, 4]. Для исследуемых водосборов выполняется впервые.

Общая площадь бассейнов рр. Бии и Томи, расположенных в пределах одной из сложных орографических систем, – 129 000 км<sup>2</sup>. Рельеф местности сильно расчленен и покрыт лесной, лесостепной и степной растительностью. Бассейны Бии и Томи граничат по хребту Бийская грива. С его северных склонов начинаются истоки рр. Кондомы и Мрас-Су (левые притоки

Томи). На южных склонах берут начало рр. Ульмень и Лебедь – правые притоки Бии.

Физико-географические условия бассейнов Бии и Томи (климат, характер рельефа, растительность) в общих чертах сходны, что указывает и на общность условий снегонакопления. В зависимости от высоты и местоположения снег устанавливается в октябрь–ноябре, сходит в марте–мае. Климат исследуемой территории находится под воздействием трех типов циркуляции воздушных масс: северная меридиональная, южная меридиональная, западный перенос [5]. По данным метеорологической станции Турочак, характеризующей климатические показатели на высоте 326 м, многолетний минимум средней месячной температуры воздуха приходится на январь – 26,5°С, средняя годовая температура – 4,3°С. Годовое количество осадков на высотах выше 1500 м составляет более 900 мм, из них 30–40% выпадает в твердом виде. Высота снежного покрова распределяется неравномерно. В горной части высота снега достигает 2–3 м, а на подветренных склонах местами до 10 м. Средний многолетний запас воды в снежном покрове в бассейне Бии изменяется от 150 до 760 мм, а в бассейне Томи от 300 до 600 мм [5, 6].

Величина снегозапаса наветренных и подветренных склонов различается кратно. На безлесных пространствах существенным фактором неравномерности распределения снежного покрова является ветровой перенос, благодаря которому значительные массы снега сносятся к лесным опушкам и накапливаются в руслах временных водотоков.

Таблица 1

Высота водосборов и метеопунктов, расположенных в бассейнах рек, среднее многолетнее значение слоя стока второго квартала и запаса воды на 20 марта

Река – пост	Средневзвешенная высота водосбора (Н), м	Средний многолетний слой стока за второй квартал, мм	Пункт наблюдений	Высота пункта наблюдений, м	Средний многолетний запас воды в снеге на 20 марта, мм
р. Лебедь – Усть Лебедь	400	250	Турочак	326	173
			Курмач-Байгол	480	149
			Артыбаш	436	148
р. Кондома – пгт. Куздеево	510	406	Кондома	354	301
р. Мрас-Су – п. Усть-Кабырза	770	364	Усть-Кабырза	411	201

В табл. 1 приводятся данные о величинах средних многолетних запасов воды в снеге на 20 марта и стока за второй квартал в бассейнах рр. Лебедь, Кондома и Мрас-Су, из которых видно, что сток весеннего половодья пре-

вышает снегозапасы, измеренные в пунктах наблюдений. Это объясняется нерепрезентативностью снегомерных маршрутов, которые в основном освещают снегонакопление в долинах, где накапливается меньше снега, чем на

склонах гор, а также участием весенних осадков, выпадающих в период снеготаяния и после схода снега на увлажненную талыми водами поверхность бассейнов.

Данные метеорологических наблюдений за снежным покровом на исследуемой территории используются по пяти репрезентативным станциям за период с 1951 по 2007 г. Теснота связи между значениями снегозапаса, измеряемого на 20 марта, представлена величинами коэффициентов парной корреляции, которые изменяются от 0,47 до 0,92 (табл. 2).

Величины снегонакопления на высотах до 500 м освещается наземными данными, а от 1000 до 2000 м, где формируются максимальные снегозапасы, стационарные наблюдения отсутствуют. В верхних зонах запас воды в снеге определяется косвенными методами (высотные зависимости, балансовые расчеты и т.д.). Дистанционные методы изучения снежного покрова позволяют оценивать методом «теплого проявления» заснеженность достаточно больших территорий [1].

Таблица 2

Значения коэффициентов парной корреляции (r) по величине среднегогодового запаса воды на 20 марта

Метеостанция	Турочак	Кондома	Усть-Кабырза	Курмач-Байгол	Артыбаш
Турочак	1	0,76	0,75	0,92	0,78
Кондома	0,76	1	0,47	0,68	0,60
Усть-Кабырза	0,75	0,47	1	0,67	0,76
Курмач-Байгол	0,92	0,68	0,67	1	0,47
Артыбаш	0,78	0,60	0,76	0,47	1

В Среднесибирском УГМС и Институте леса СО РАН в 1995–1996 гг. были разработаны программные элементы автоматизированной системы оперативной оценки площади заснеженности по результатам многозональной космической съемки (программный пакет «SNOW») [4]. Первоначально для получения космических снимков использовались снимки спутника *NOOA*. Данная технология успешно применялась для разработки методики прогнозов горных рек Сибири. Однако при работе с бассейнами, имеющими большие площади хвойных лесов (лесные районы бассейна Томи и сопредельные территории Алтая и Саян), возникали трудности с дешифрированием сезонной снеговой линии. Проблема повышения точности определения снеговой линии в лесу была в основном решена при получении снимков спутника *TERRA* (радиометр MODIS), который проводит наблюдения в диапазонах спектра, необ-

ходимых для классификации снежного покрова, а также имеет более высокое линейное разрешение съемки.

Для определения снегозапасов на основе информации о высоте снеговой границы применялся метод «теплого проявления», который был предложен Ю.М. Денисовым для Средней Азии по материалам аэрофотосъемки. Подробное описание метода изложено в статье [1].

Впервые для Алтая метод использовался с применением космических снимков станции «Салют». В статье приводится карта [2], построенная для района Белухи (Катунский хребет) на основе расчета снегозапасов по высоте снеговой линии. Авторы показали, что даже единичные снимки существенно уточняют характер изолиний в горных районах, и указали на большие возможности метода при изучении последовательной серии снимков.

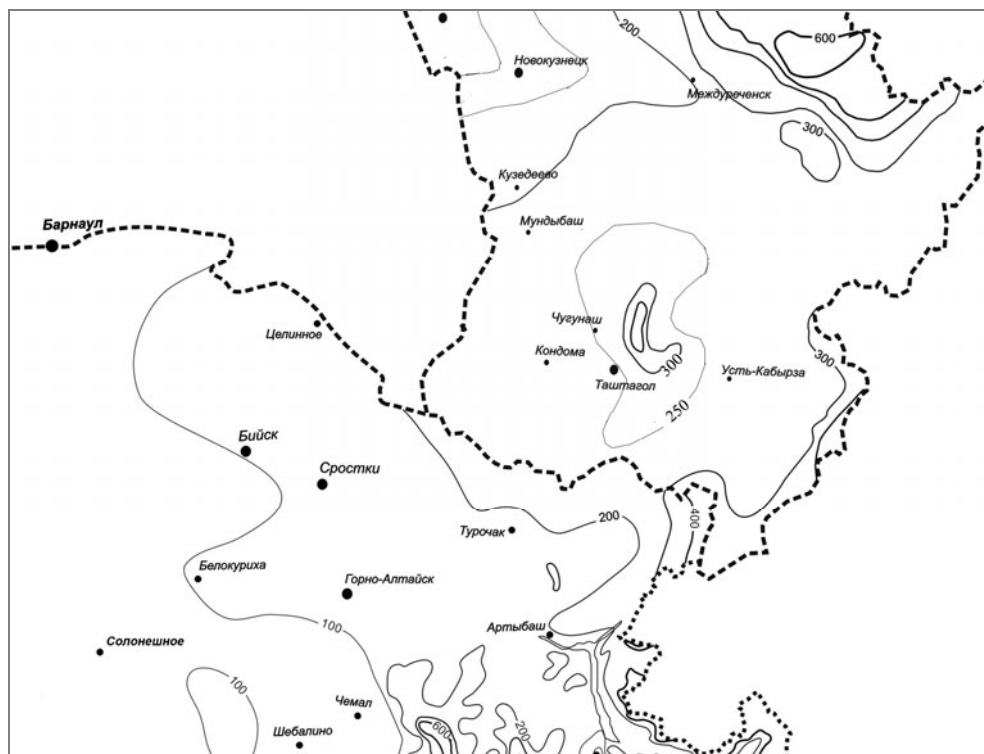


Рис. 1. Карта-схема изолиний снегозапаса на 20 марта 2004 г.

Расчет запаса воды в снеге по космическим снимкам ведется в следующей последовательности:

1. Получение разновременных космических снимков со спутника *TERRA*.

2. Отбор снимков с отчетливо дешифрируемой снеговой линией (отсутствием облачности и свежевыпавшего снега в предыдущие съемки дни, а также учет площадей, занятых темнохвойными лесами). Возможно использование снимка для отдельной части бассейна, отдельно взятого района, где отсутствует облачность.

3. Формирование базы данных о пространственных координатах и высотах точек вдоль сезонной снеговой линии на дату снимка с применением программного пакета «SNOW» [4].

4. На основе метода «теплового проявления» в избранной точке пространства получаем величину возможного снегозапаса [1], которую в последующем приводим к определенной дате с использованием данных

наземных пунктов наблюдений за ходом температуры воздуха и осадков.

5. В полученном поле точек величин снегозапаса можно провести изолинии величины снегозапаса (построить карту), выделить районы и т.д.

На рис. 1 приводится карта изолиний снегозапаса на 20 марта, построенная для 2004 г., по которой получен оптимальный набор снимков (более 10), пригодных для цифровой обработки. Величины запаса воды в снежном покрове в бассейнах Бии и Томи изменяются от 100 до 450 мм. Сравнительная оценка точности построенной карты (табл. 3) проводилась по наблюдаемым значениям снегозапаса (данные наземных снегомерных съемок), а также ее сравнением с картой, опубликованной в работе В.С. Ревякина [3]. Относительные отклонения снятых с карты значений снегозапаса, по сравнению с данными снегомерных съемок 2004 г., не превышают 20% (см. рис. 1).

Т а б л и ц а 3

Сравнительная оценка снегозапасов, полученная разными методами

Станция	Снегозапас по данным наблюдений на 20 марта 2004 г., мм	Снегозапас по карте, полученной на основе спутниковой информации на 20 марта 2004 г., мм	Относительная ошибка расчета, %	Средний многолетний снегозапас по данным наблюдений, мм	Снегозапас по карте из работы В.С. Ревякина, мм [3]	Относительная ошибка расчета, %
Турочак	175	186	6	189	151	20
Кондома	264	240	9	307	250	19
Усть-Кабырза	218	260	19	216	433	100
Кебезень	144	157	9	165	159	4
Артыбаш	187	196	5	161	154	4

Обработка спутниковой информации за другие годы (1996–2007) для уточнения хода изолиний запасов воды в снеге в каждом отдельном году и среднемноголетних значений продолжается, но уже очевидно, что применение

спутниковой информации для оценки заснеженности речных бассейнов позволяет получать достоверные величины снегозапасов в горных районах, где стационарные наземные наблюдения не проводятся.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. Ревякин В.С. и др. Снежный покров Алтае-Саянской области // Труды МГИ. 1979. Вып. 35. С. 109–120.
4. Бураков Д.А., Кашкин В.Б., Сузинин А.И. и др. Методика определения заснеженности речного бассейна по спутниковым данным для оперативных прогнозов стока // Метеорология и гидрология. 1996. № 8. С. 100–109.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. СПб.: Гидрометеоздат, 1993 Ч. 1–6, вып. 20.
6. Модина Т.Д. Климат Республики Алтай. Новосибирск: НПУ, 1997. С. 177.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 26 ноября 2009 г.