

На правах рукописи

Попов Евгений Сергеевич

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ
ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА
В УСЛОВИЯХ ОРОГРАФИЧЕСКОГО БАРЬЕРА
(на примере бассейна реки Чумыш)**

Специальность 25.00.23 – физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Барнаул – 2007



Работа выполнена на кафедре ландшафтного планирования географического факультета ГОУ ВПО «Алтайский государственный университет»

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор
Ревякин Виктор Семенович

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор
Булатов Валерий Иванович
доктор географических наук, профессор
Белоненко Геннадий Васильевич

Ведущая организация: Институт водных и экологических проблем СО РАН

Защита состоится 24 мая 2007 г. в 13.00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.005.06 при ГОУ ВПО «Алтайский государственный университет» по адресу: 656049, г. Барнаул, пр-т Ленина, 61, географический факультет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного университета.

Автореферат разослан 24 апреля 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук, доцент



В.П. Галахов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Для Алтайского края в силу его географического положения холодный период года имеет значительную продолжительность. Зимние условия во многом определяют структуру ландшафтов и их сезонную динамику. Одним из важнейших компонентов зимнего состояния геосистем является снежный покров, оказывающий большое влияние на протекание процессов обмена веществом и энергией между компонентами природной среды.

Значительное влияние оказывает снежный покров и на ведение хозяйства. Преимущественно аграрная специализация экономики Алтайского края определяет важность учета снежных ресурсов территории при прогнозе перезимовки культурных растений и оценке влагозапасов верхнего слоя почвы в предпосевной период, от чего во многом зависит урожайность сельскохозяйственных культур. Длительный период с устойчивым снежным покровом, обильные снегопады и частая повторяемость метелей оказывают существенное влияние на эксплуатацию автомобильных и железных дорог, значительно удорожая их содержание. Именно снегозапасы формируют максимальный расход воды и объем весеннего половодья, во время которого часто происходит подтопление жилых кварталов.

Необходимость жить и работать в таких условиях определяет актуальность изучения снежного покрова как ведущего фактора функционирования геосистем на протяжении всего холодного периода года.

При этом изученность снежного покрова на территории Алтайского края до сих пор остается неполной, особенно это относится к горной части края, где очень редкая сеть пунктов гидрометеорологических наблюдений не может обеспечить достоверной картины распределения снегозапасов. Для таких территорий одним из наиболее надежных способов получения достоверных данных об основных параметрах снежного покрова является проведение полевых снегомерных работ.

Цель исследования: выявить региональные особенности пространственной дифференциации и внутригодовой динамики основных параметров снежного покрова в условиях орографического барьера в северо-восточной части Алтайского края.

Для достижения обозначенной цели были поставлены следующие задачи:

- оценить изученность снежных ресурсов Алтайского края;
- рассмотреть основные факторы накопления и перераспределения снежного покрова;
- проанализировать внутригодовую динамику основных параметров снежного покрова;

- выявить особенности пространственной неоднородности распределения снежного покрова на разных масштабных уровнях;
- определить наиболее эффективную методику построения карт толщины снежного покрова и максимальных снегозапасов для рассматриваемой территории.

Объект исследования: снежный покров в бассейне р. Чумыш, расположенный в северо-восточной части Алтайского края.

Предмет исследования: пространственно-временная дифференциация снежного покрова в условиях орографического барьера.

Исходные материалы. В основу работы положены материалы, полученные автором в ходе полевых исследований в бассейне Чумыша в период с 2003 по 2007 г. Для проведения сравнительного анализа снежности и условий снегонакопления использованы материалы полевых исследований автора в других районах Алтайского края в период с 1997 по 2002 г. Всего за время подготовки диссертационной работы было организовано 16 научных экспедиций. Кроме того, использованы данные регулярных наблюдений на гидрометеорологических станциях и постах, литературные источники, картографические материалы, а также данные космического мониторинга за снежным покровом.

Методы исследования. При выполнении работы автор опирался на методические подходы снеговедения, изложенные в трудах Г.Д. Рихтера, Г.К. Тушинского, В.М. Котлякова, А.К. Дюнина, И.Д. Копанева, Э.Г. Коломыца, В.М. Мишона, А.В. Погорелова, В.С. Ревакина, В.П. Галахова, Н.И. Быкова и др. Для решения поставленных задач применялись ландшафтно-маршрутные снегомерные наблюдения, ландшафтно-индикационный и фитоиндикационный методы, методы математической статистики, картографические, дистанционные методы и др.

Научная новизна.

- Впервые проведен комплексный анализ снеговедческих наблюдений на территории Алтайского края, позволивший систематизировать проводимые когда-либо исследования снежного покрова в зависимости от их направленности, времени выполнения и территориального охвата.

- Для рассматриваемой территории на основе экспериментальных данных и материалов гидрометеорологических станций и постов впервые составлена подробная комплексная характеристика снежности, учитывающая факторы формирования и перераспределения снежного покрова и отражающая основные особенности его пространственной дифференциации и внутригодовой динамики.

- Проведена оценка эффективности применения различных методических подходов при картографировании снежного покрова в разных масштабах.

- Обоснована эффективность применения фитоиндикационного метода при изучении и картографировании снежного покрова в условиях низкогорного речного бассейна и составлена индикационная таблица на уровне растительных формаций.

- Впервые для горных ландшафтов Салаира на основе данных полевых наблюдений определены региональные зависимости значений снегозапасов и плотности от толщины снежного покрова.

Практическая значимость работы.

Полученные результаты могут быть использованы при гидрологических расчетах весеннего половодья на Чумыше, для учета снежных ресурсов при составлении комплексных планов развития территории и обоснования инвестиционных строительных проектов, а также в качестве основы для проведения инженерно-гляциологического районирования территории.

Экспериментальные данные об основных параметрах снежного покрова могут выступать в качестве реперных значений при изучении изменений природной среды в условиях меняющегося климата.

Полученные зависимости снегозапасов и плотности от толщины снежного покрова для горных ландшафтов Салаира позволяют производить расчет максимальных снегозапасов, основываясь лишь на данных о толщине снежного покрова, что значительно упрощает проведение снегомерных работ на данной территории, характеризующейся значительной мощностью снежного покрова.

Проведенный анализ погрешностей, возникающих при различном количестве измерений параметров снежного покрова на снегопунктах, дает возможность планировать организацию полевых наблюдений над снежным покровом на данной территории с заданной точностью.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследования докладывались на научных конференциях международного, всероссийского и регионального уровней: Барнаул (1999, 2001, 2002, 2005, 2006), Новосибирск (2000), Красноярск (2000), Томск (2002), Горно-Алтайск (2005). Результаты исследований изложены в 13 опубликованных работах и применяются в учебном процессе на географическом факультете АлтГУ в рамках дисциплин «Зимняя полевая учебная практика» и «Картография».

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 145 страницах, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 145 источников и 23 приложений.

В первой главе рассматривается изученность снежного покрова Алтайского края, выделяются основные этапы, направления снеговедческих исследований и территориальный охват.

Во второй главе описана методика проведения полевых наблюдений над снежным покровом и проведена оценка точности определения основных параметров снежного покрова в районе исследования.

Третья глава посвящена анализу факторов формирования и перераспределения снежного покрова в бассейне Чумыша.

В четвертой главе рассматриваются режимные характеристики снежного покрова и динамика снегонакопления и снеготаяния в бассейне Чумыша.

В пятой главе приведены основные параметры снежного покрова в бассейне Чумыша и проведен анализ его пространственной дифференциации на разных масштабных уровнях, а также описаны принципы построения карт максимальных снеготолщин и толщины снежного покрова и проведена оценка их точности.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Пространственно-временная дифференциация снежного покрова в бассейне Чумыша на макромасштабном уровне определяется влиянием Салаирского орографического барьера.

Наличие в восточной части бассейна орографического поднятия (Салаирского кряжа), протянувшегося с северо-запада на юго-восток, в сочетании с преобладающим западным переносом воздушных масс вызывает проявление барьерного эффекта, вследствие чего восточная (горная) часть бассейна характеризуется повышенным увлажнением как в теплый, так и в холодный период года. Это приводит к тому, что в зимнее время толщина снежного покрова и снеготолщины увеличиваются с запада на восток – от устьевой (равнинной) части к горной части бассейна.

При оценке дифференциации снежного покрова на макромасштабном уровне мы попытались выявить математические зависимости, отражающие основные закономерности фонового распределения снежного покрова под воздействием орографического барьера. Традиционно в горных условиях используются зависимости вида $h = f(H)$ и $W = f(H)$, отражающие изменение толщины снежного покрова и снеготолщины с увеличением абсолютной высоты местности. Однако, учитывая абсолютные высоты Салаирского кряжа, помимо приведенных зависимостей, нами были проанализированы еще и зависимости вида $h = f(L)$, $h = f(L/H)$ и $W = f(L)$, $W = f(L/H)$, где L – расстояние от точки наблюдения до осевой линии орографического барьера (в направлении зимнего влагопереноса), а H – абсолютная высота местности.

Для определения зависимостей нами были использованы данные о толщине снежного покрова и снеготолщинах 22 гидрометеорологических

станций и постов, располагающихся как непосредственно на территории бассейна Чумыша, так и за его пределами, однако находящихся в зоне влияния Салаирского барьера. Из 22 станций и постов 13 расположены с наветренной стороны относительно осевой линии Салаирского хряжа, 9 – с подветренной.

При анализе закономерностей пространственной дифференциации значений среднемноголетней максимальной толщины снежного покрова (h_{\max}) наибольшие коэффициенты корреляции были получены для зависимостей вида $h_{\max} = f(L)$ и $h_{\max} = f(L/H)$, соответственно 0,9 и 0,73 для наветренных склонов и 0,81 и 0,72 – для подветренных. Гораздо менее надежная связь была выявлена для зависимости $h_{\max} = f(H)$, для подветренных склонов коэффициент корреляции составил 0,64, а для наветренных – всего лишь 0,21 (табл. 1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что фоновое распределение значений толщины снежного покрова в бассейне Чумыша определяется в первую очередь приближенностью к орографическому барьеру и в меньшей степени зависит от абсолютной высоты местности.

Таблица 1

Статистические параметры зависимостей
среднемноголетней толщины снежного покрова на период
максимальных снегозапасов от орографических характеристик

Вид зависимости	Для наветренных станций			Для подветренных станций		
	r	R^2	уравнение	r	R^2	уравнение
$h_{\max} = f(H)$	0,21	–	–	0,64	0,41	$y = 0,0711x + 5,27$
$h_{\max} = f(L)$	–0,90	0,85	$y = 582,52x^{-0,6848}$	–0,81	0,6	$y = 56,26x^{-0,3524}$
$h_{\max} = f(L/H)$	–0,73	0,58	$y = 429,76x^{-0,4221}$	–0,72	0,56	$y = 62,39x^{-0,2574}$

Схожая ситуация отмечается и при корреляционном анализе среднемноголетних значений максимальных снегозапасов (W_{\max}) в зависимости от приближения к орографическому барьеру и от абсолютной высоты местности. Наиболее надежная связь характерна для зависимостей вида $W_{\max} = f(L)$ и $W_{\max} = f(L/H)$, соответственно 0,85 и 0,67 для наветренных склонов и 0,86 и 0,79 – для подветренных. Как и в случае с толщиной снежного покрова, при анализе зависимости снегозапасов от абсолютной высоты местности коэффициент корреляции для подветренных склонов составил 0,68, а для наветренных – и вовсе 0,16 (табл. 2).

Зависимости $h_{\max} = f(L)$ и $W_{\max} = f(L)$ для наветренных и подветренных склонов Салаирского хряжа разные (рис. 1–2). Они имеют нелинейный характер и лучше всего аппроксимируются степенными

функциями с достоверностью аппроксимации (R^2), изменяющейся в пределах от 0,6 до 0,9.

Таблица 2

Статистические параметры зависимостей среднегоголетних максимальных снегозапасов от орографических характеристик

Вид зависимости	Для наветренных станций			Для подветренных станций		
	r	R^2	уравнение	r	R^2	уравнение
$W_{\max} = f(H)$	0,16	—	—	0,68	0,46	$y = 0,2495x - 4,511$
$W_{\max} = f(L)$	-0,85	0,77	$y = 1577,7x^{-0,722}$	-0,86	0,63	$y = 190,75x^{-0,4815}$
$W_{\max} = f(L/H)$	-0,67	0,50	$y = 1074,2x^{-0,4316}$	-0,79	0,61	$y = 224,46x^{-0,3572}$

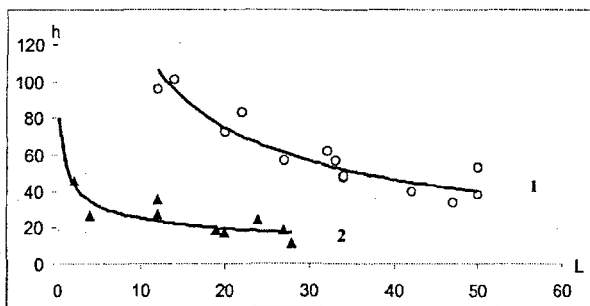


Рис. 1. Зависимость среднегоголетней толщины снежного покрова (h_{\max}) от расстояния до орографического барьера (L) (станции и посты наветренных (1) и подветренных (2) склонов)

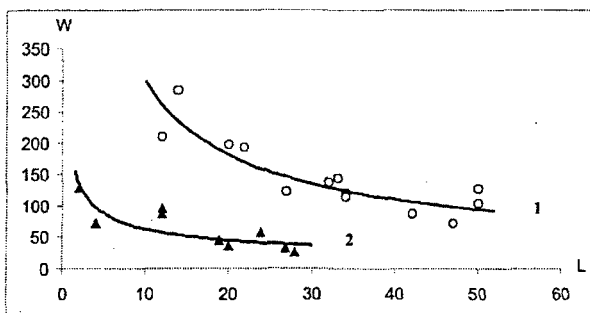


Рис. 2. Зависимость среднегоголетних максимальных снегозапасов (W) от расстояния до орографического барьера (L) (станции и посты наветренных (1) и подветренных (2) склонов)

Проведенный корреляционный анализ показал, что наиболее тесная связь распределения фоновых значений максимальных снеготзапасов и толщины снежного покрова проявляется в зависимости от расстояния до орографического барьера (L), из чего следует, что ведущим фактором, влияющим на процесс осадкообразования и формирования полей осадков и снежного покрова на исследуемой территории, является приближенность к орографическому барьеру, определяющая интенсивность турбулентных движений орографического происхождения.

Влияние Салаирского орографического барьера сказывается и на режимных характеристиках снежного покрова в бассейне Чумыша. Появление первого снега в первую очередь происходит на западных отрогах Салаирского кряжа в интервале высот 400–550 м, спустя 2–4 суток первый снег выпадает в равнинной части бассейна. Среднее число дней со снежным покровом в бассейне увеличивается при приближении к орографическому барьеру в среднем на 10–15 дней и составляет 170 дней в центральной (лесостепной) части бассейна, 175 – в нижней (борово́й) и 180–190 дней – в горной (Салаирской) части. Схожая картина наблюдается и в отношении периода с устойчивым снежным покровом, продолжительность которого на территории бассейна при приближении к барьеру увеличивается со 145 до 175 дней. Проведенный статистический анализ по 19 пунктам гидрометеорологических наблюдений показал, что в целом по бассейну пространственная изменчивость числа дней с устойчивым снежным покровом проявляется в основном за счет различия в датах разрушения устойчивого снежного покрова (табл. 3).

Таблица 3

Пространственная изменчивость дат образования и разрушения устойчивого снежного покрова и числа дней с устойчивым снежным покровом в бассейне Чумыша

Режимная характеристика снежного покрова	σ , дни	C_v , %
Число дней с устойчивым снежным покровом	10.8	6.3
Дата образования устойчивого снежного покрова	4.4	1.4
Дата разрушения устойчивого снежного покрова	9.5	8.9

Самые поздние даты разрушения устойчивого снежного покрова приходятся на наиболее снежную часть бассейна – таежные ландшафты Салаирского кряжа.

2. По степени снежности и особенностям перераспределения снежного покрова в пределах бассейна Чумыша выделяются пять зон, при этом определяющим фактором пространственной дифференциации снежного покрова на мезомасштабном уровне выступает

растительность, что позволяет использовать ее в качестве индикатора при картографировании снежного покрова.

Учитывая большие размеры бассейна Чумыша и неоднородность проявления факторов снегонакопления в пределах исследуемой территории, особенности пространственной дифференциации рассматривались нами на трех масштабных уровнях (макро-, мезо- и микромасштаб), на каждом из которых формирование полей снежного покрова подчинено действию различных факторов. При рассмотрении пространственной дифференциации снежного покрова на исследуемой территории нами на основе анализа ландшафтной структуры бассейна были определены пять ключевых участков, на наш взгляд, репрезентативных в отношении формирования и перераспределения снежного покрова.

В ходе проведения полевых снегомерных работ (2003–2007 гг.) в пределах выделенных ключевых участков было отмечено, что экспозиционные различия в снегонакоплении в пределах одной растительной формации не выражены. Так же, при наличии на склоне одной растительной формации не наблюдается изменения толщины, плотности снежного покрова и снегозапаса с увеличением абсолютной высоты местности. Результаты наблюдений свидетельствуют о том, что на мезомасштабном уровне в пределах рассматриваемого бассейна растительность оказывает определяющее влияние на пространственное перераспределение снежного покрова. Исходя из этого и принимая во внимание то, что растительность является интегральным показателем ландшафта, можно сделать вывод, что при картографировании снежного покрова на основе индикационного подхода растительность, как физиономичный компонент ландшафта, вполне может выступать в качестве индикатора.

Для картографирования снежного покрова нами на основе материалов полевых наблюдений и данных гидрометеорологических станций была составлена фитоиндикационная таблица на уровне растительных формаций (табл. 4), которая позволила перейти от карты растительности к картам снежного покрова (см. приложение 2). В качестве основы при составлении карт снежного покрова использовалась карта растительности юго-востока Западной Сибири, составленная Е.И. Лапшиной (1963).

Материалы полевых наблюдений и данные гидрометеорологических станций позволяют выделить в пределах бассейна Чумыша пять зон, отличающихся между собой по снежности и особенностям перераспределения снежного покрова:

1. «Устьевая зона» – устьевая часть бассейна с грядово-западным рельефом, занятая сосновым травяным лесом;

Таблица 4

Индикационная таблица для определения толщины
снежного покрова и снегозапасов в бассейне Чумыша
(составлена на основе карты растительности Е.И. Лапшиной, 1963)

№ п/п	Номера контуров раст-ти	Растительная формация	Толщина снежного покрова (см)	Снегозапас (мм)
1	5	Сосновые и березово-сосновые травяно-кустарничковые и травяные леса	70-90	125-140
2	8	Березовые и осиново-березовые травяные остепненные леса и колки	50-80	115-160
3	9	Березовые заболоченные леса	50-80	115-160
4	10	Ивняки и другие кустарники в сочетании с травяными болотами и заболоченными низинными лугами	70-80	140-170
5	11	Сельскохозяйственные земли и лесные луга на месте лиственных лесов	55-100	140-190
6	19	Пойменные луга в сочетании с травяными болотами и кустарниками	55-100	140-190
7	21	Сельскохозяйственные земли на месте остепненных разнотравно-злаковых и разнотравно-бобово-злаковых лугов и луговых степей в сочетании с березовыми колками	50-70	105-165
8	22	Остепненные ветвикообразные, мятликовые и настоящие овсянничевые луга в сочетании с ковыльными степями по дну и склонам долин и логов	50-70	105-165
9	27	Сельскохозяйственные земли на месте злаково-разнотравных и разнотравно-злаковых луговых степей в сочетании с березовыми колками	50-70	105-165
10	29	Сельскохозяйственные земли на месте богаторазнотравных ковыльных степей	40-60	80-100
11	50	Осиново-пихтовые высокоотравные леса с комплексом травяных реликтов (черневая тайга)	85-120	250-285
12	51	Осиновые и березовые травяные леса на месте черневой тайги	105-125	275-305
13	52	Сельскохозяйственные земли и лесные луга на месте темнохвойных лесов	55-100	140-190
14	54	Сосновые и березово-сосновые травяные леса с кустарниковым подлеском	70-90	125-140
15	60	Низинные луга в сочетании с травяными болотами и кустарниками	70-80	140-170

* Все характеристики снежного покрова приведены на период максимальных снегозапасов. Номера контуров растительности приведены по карте Е.И. Лапшиной (1963).

2. «Бийско-Чумышская зона» – Бийско-Чумышская возвышенность с полого-увалистым рельефом и четвертая надпойменная обская трасса, расчлененные овражно-балочной сетью, занятые лесостепной растительностью;

3. «Предсалаирская зона» – предсалаирская холмисто-увалистая среднерасчлененная равнина с остепненными лугами и березовыми перелесками;

4. «Салаирская зона» – Салаирский кряж с останцово-грядовым рельефом с березово-осиновыми и осиново-пихтовыми закустаренными (черневыми) лесами.

5. «Зона барьерной тени» – крайняя восточная часть бассейна со злаково-разнотравными и разнотравно-злаковыми степями.

Основные характеристики снежного покрова для названных зон приведены в таблицах 5–6.

Таблица 5
Характеристики снежного покрова в выделенных зонах

Зона	h_{cp} , см	w_{cp} , мм	ρ_{cp} , г/см ³	Тип развития снежной толщи
«Устьевая»	70–90	125–140	0,2–0,23	разрыхление
«Бийско-Чумышская»	50–70	105–165	0,23–0,29	разрыхление
«Предсалаирская»	55–100	140–190	0,21–0,25	разрыхление
«Салаирская»	85–125	250–305	0,24–0,27	уплотнение
«Зона барьерной тени»	40–70	80–100	0,22–0,25	разрыхление

Таблица 6
Пространственная изменчивость основных параметров снежного покрова в выделенных зонах

Зона	$Cv(h)$, %	$Cv(w)$, %	$Cv(\rho)$, %
«Устьевая»	5,3	3,3	5,1
«Бийско-Чумышская»	11,4	15,9	9
«Предсалаирская»	7,2	9,4	3,8
«Салаирская»	5,6	5,8	4,2
«Зона барьерной тени»	9,8	11,1	7,6

Наиболее снежной в бассейне является «Салаирская зона». Максимальные снеготзапасы на некоторых участках могут достигать 370–400 мм. Это, как правило, безлесные седловинные участки пологих водораздельных поверхностей и пригребневые участки подветренных склонов восточной и северо-восточной экспозиции. Наименьшие значения толщины снежного покрова и снеготзапаса в пределах рассматриваемой зоны приходятся на днище речных долин, в особенности на участки с елово-березовым лесом, а также на безлесные склоны на мес-

те выгоревших либо вырубленных лесов, что связано с интенсивными процессами сдувания снега и его испарением на открытых пространствах. Средние значения толщины снежного покрова и снегозапаса в хвойном лесу обычно меньше, чем в лиственном, на 10–15 см и 25–30 мм соответственно. К тому же березово-осиново-пихтовые леса отличаются большей пространственной неоднородностью залегания снежного покрова. Коэффициент вариации толщины снежного покрова достигает здесь 8,5%, тогда как в лиственном лесу его значения составляют 3–4%.

Для «Предсалаирской зоны» характерно уменьшение толщины снежного покрова и снегозапасов до 55–100 см и 140–190 мм соответственно. Средние значения толщины снежного покрова на открытых участках и в березовых перелесках схожи между собой, однако в березовых перелесках, особенно с густым подлеском, пространственная изменчивость толщины снежного покрова значительно меньше, чем на открытых участках. Однако следует отметить, что в «Предсалаирской зоне» различия в значениях плотности и снегозапасов между открытыми и залесенными участками выражены гораздо в меньшей степени по сравнению с «Бийско-Чумышской» зоной. Это связано с тем, что площадь открытых участков в «Предсалаирской зоне» значительно меньше, а березовые перелески часто сплошной полосой протягиваются на значительные расстояния, вследствие чего уменьшается скорость ветра и сокращается зона разгона метели.

В «Бийско-Чумышской зоне» четко выражен контраст в снегонакоплении на открытых участках и в колках. Толщина снежного покрова в березовых колках с подлеском на 13–20% выше, чем в поле, и составляет в среднем 65–70 см. Разница в значениях снегозапасов чуть менее выражена, поскольку сглаживается более высокой плотностью снежного покрова на степных участках. Тем не менее, как и толщина снежного покрова, снегозапасы в березовых колках выше в среднем на 5–11%, чем на степных участках, и составляют в среднем 115–160 мм. Для данной зоны характерен значительный контраст значений плотности снежного покрова на открытых участках и в березовых колках. Плотность снежного покрова в период максимальных снегозапасов на открытых участках составляет 0,25–0,29 г/см³, при этом плотность верхних горизонтов снежной толщи в результате ветрового уплотнения может достигать 0,32 г/см³ и более.

Более равномерно залегает снежный покров в «Устьевой зоне». Коэффициент вариации толщины снежного покрова составляет в среднем 5,3%, плотности – 5,1% и снегозапаса – 3,3%. Столь низкая степень пространственной изменчивости параметров снежного покрова в этой части бассейна вызвана прежде всего распространением здесь со-

сных лесов, ограничивающих развитие метелевого переноса и испарения снега в лесном массиве. Толщина снежного покрова и снеготзапасы в этой зоне несколько выше, в сравнении с близлежащими лесостепными ландшафтами.

В «Зоне барьерной тени» толщина снежного покрова и снеготзапасы резко уменьшаются по сравнению с остальной частью бассейна Чумыша и составляют соответственно 40–70 см и 80–100 мм. Пространственная изменчивость параметров снежного покрова в этой зоне характеризуется значительными величинами (табл. 6), поскольку открытые участки, занятые степной растительностью, создают благоприятные условия метелевого перераспределения снега.

Для территории бассейна Чумыша и в особенности для Салаирского кряжа, который довольно слабо обеспечен данными гидрометеорологических наблюдений, важной задачей является выявление региональных соотношений между толщиной, плотностью и снеготзапасом, что позволяет производить расчет максимальных снеготзапасов для данной территории, основываясь лишь на данных о толщине снежного покрова. На основе данных гидрометеорологических станций и материалов собственных полевых наблюдений нами были рассчитаны зависимости плотности $\rho = f(h)$ и снеготзапаса от толщины снежного покрова $w = f(h)$ (рис. 3–4).

Данные зависимости могут быть выражены следующими уравнениями:

$$\rho = 0,0787 \cdot h^{0,2983} \quad (1)$$

$$w = 1,2679 \cdot h^{1,1504} \quad (2)$$

Достоверность аппроксимации для первого уравнения 0,87, для второго – 0,97 вполне позволяет в дальнейшем использовать полученные зависимости для расчетов снеготзапасов в бассейне Чумыша.

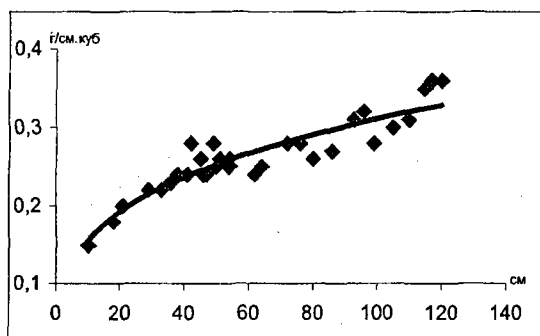


Рис. 3. Зависимость плотности от толщины снежного покрова в бассейне Чумыша

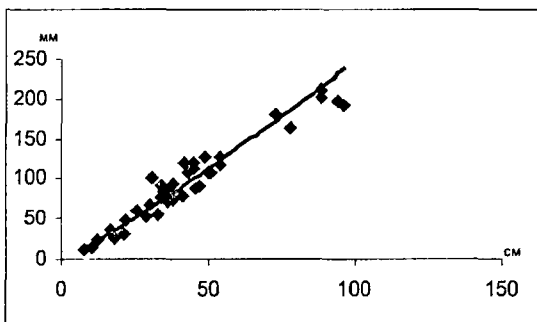


Рис. 4. Зависимость снегозапасов от толщины снежного покрова в бассейне Чумыша

3. При составлении карт максимальных снегозапасов для низкоречных речных бассейнов, располагающихся в зоне воздействия орографического барьера, наиболее эффективным является применение фитоиндикационного метода или использование зависимости изменения снегозапасов от приближения к орографическому барьеру.

Одним из важнейших этапов изучения пространственной дифференциации снежного покрова является его картографирование. При этом всегда возникнет вопрос о том, какой из методических подходов составления карт максимальных снегозапасов наиболее приемлем для конкретных территорий.

В зависимости от принципа построения карты снежного покрова можно разделить на три группы:

- карты, построенные методом интерполяции по данным сети гидрометеорологических станций и постов;

- карты, в основе построения которых лежат математические зависимости, например $h = f(H)$ и $W = f(H)$, $h = f(L)$ и $W = f(L)$, $h = f(L/H)$ и $W = f(L/H)$ и др.;

- карты, в основе построения которых лежит индикационный подход.

При выполнении диссертационного исследования на основе разных методических подходов была составлена серия карт снежного покрова (приложения 1–2) и затем проведена оценка точности построенных карт максимальных снегозапасов, рассчитанных способом интерполяции, на основе зависимостей $W_{\max} = f(H)$ и $W_{\max} = f(L)$, а также фитоиндикационного метода. Первые два способа были выбраны как традиционно применяемые, а оставшиеся два – как, на наш взгляд, наиболее применимые для природных условий низкоречного бассейна Чумыша, находящегося в зоне влияния Салаирского орографического барьера.

Одним из наиболее объективных способов проверки точности составленных карт максимальных снегозапасов является сопоставление реально измеренного стока со стоком, рассчитанным на основе карт максимальных снегозапасов (Галахов, 2003).

Для оценки составляющих водного баланса и проверки точности составленных карт максимальных снегозапасов была использована имитационная модель расчета поверхностного стока, предложенная В.П. Галаховым (2002, 2003, 2006). При проведении расчетов в модели мы заменяли лишь блок максимальных снегозапасов, все остальные составляющие рассчитывались идентично. Для получения гидрометрической информации использовались данные постов Тальменка ($F = 20\ 600\ \text{м}^2$), Сорокино ($F = 15\ 900\ \text{м}^2$) и Кытманово ($F = 11\ 000\ \text{м}^2$). Все расчеты производились за период с 1967–1968 по 1979–1980 балансовые годы.

Рассчитанные с помощью модели значения стока сравнивались с реально измеренными величинами на гидрометрических постах (табл. 7–10). Затем для каждого из примененных методов определения максимальных снегозапасов были рассчитаны значения среднего квадратического отклонения реального и рассчитанного стока за балансовый год (табл. 11).

Таблица 7

Измеренный и расчетный сток за балансовый год
(снегозапасы определялись методом интерполяции)

Год баланс.	Кытманово			Сорокино			Тальменка		
	YB	YR	ΔR	YB	YR	ΔR	YB	YR	ΔR
1967–68	174,7	147,6	+27,1	153,4	133,7	+19,7	156,5	126,4	+30,1
1968–69	341,7	383,0	-41,3	296,4	335,9	-39,5	249,8	270,2	-20,4
1969–70	275,1	183,0	+92,1	236,0	165,1	+70,9	229,1	152,4	+76,7
1970–71	250,2	207,7	+42,5	258,6	193,2	+65,4	227,8	176,9	+50,9
1971–72	227,2	224,8	+2,4	214,2	217,1	-2,9	198,0	192,0	+6,0
1972–73	309,2	263,6	+45,6	260,5	225,3	+35,2	241,0	190,3	+50,7
1973–74	162,5	123,4	+39,1	157,0	113,0	+44,0	137,9	108,9	+29,0
1974–75	247,1	187,8	+59,3	237,3	176,5	+60,8	209,1	163,3	+45,8
1975–76	160,6	148,2	+12,4	160,3	142,9	+17,4	142,0	132,4	+9,6
1976–77	221,3	227,4	-6,1	218,0	209,5	+8,5	202,8	184,5	+18,3
1977–78	207,6	173,2	+34,4	200,2	153,3	+46,9	198,0	142,4	+55,6
1978–79	254,6	263,6	-9,0	244,4	239,3	+5,1	235,5	211,1	+24,4
1979–80	132,6	103,8	+28,8	133,9	100,2	+33,7	137,1	102,2	+34,9

Примечание: в таблицах 7–10 YB – измеренный сток; YR – расчетный сток; ΔR – разница измеренного и рассчитанного стоков.

Материалы расчетов показывают, что наименьшее среднее квадратическое отклонение получается, если максимальные снегозапасы рассчитывались на основе фитоиндикационного метода, затем идет

расчет по зависимости $W = f(L)$, далее расчет по зависимости $W = f(H)$, и наибольшая ошибка получается, если карта максимальных снегозапасов была составлена методом интерполяции.

Таблица 8

Измеренный и расчетный сток за балансовый год (снегозапасы определялись по зависимости $W = f(H)$). Переход от среднеголетних снегозапасов к ежегодным проводился по коэффициентам снежности).

Год баланс.	Кытманово			Сорокино			Тальменка		
	YB	YR	ΔR	YB	YR	ΔR	YB	YR	ΔR
1967-68	174,7	170,8	+3,9	153,4	150,2	+3,2	156,5	139,3	+17,2
1968-69	341,7	456,1	-114,4	296,4	365,5	-69,1	249,8	296,3	-46,5
1969-70	275,1	197,2	+77,9	236,0	175,7	+60,3	229,1	159,4	+69,7
1970-71	250,2	206,0	+44,2	258,6	189,8	+68,8	227,8	177,1	+50,7
1971-72	227,2	211,9	+15,3	214,2	201,0	+13,2	198,0	183,2	+14,8
1972-73	309,2	290,4	+18,8	260,5	241,5	+19,0	241,0	207,5	+33,5
1973-74	162,6	149,8	+12,8	157,0	138,5	+18,5	137,9	129,7	+8,2
1974-75	247,1	216,3	+30,8	237,3	190,4	+46,9	209,1	168,5	+40,6
1975-76	160,6	167,8	-7,2	160,3	156,9	+3,4	142,0	144,3	-2,3
1976-77	221,3	246,1	-24,8	218,0	218,0	0,0	202,8	194,7	+8,1
1977-78	207,6	209,4	-1,8	200,2	181,7	+18,5	198,0	163,5	+34,5
1978-79	254,6	281,6	-27,0	244,4	238,1	+6,3	235,5	210,5	+25,0
1979-80	132,6	131,9	+0,7	133,9	122,8	+11,1	137,1	119,3	+17,8

Таблица 9

Измеренный и расчетный сток за балансовый год (снегозапасы определялись по зависимости $W = f(L)$). Переход от среднеголетних снегозапасов к ежегодным проводился по коэффициентам снежности).

Год баланс.	Кытманово			Сорокино			Тальменка		
	YB	YR	ΔR	YB	YR	разн.	YB	YR	ΔR
1967-68	174,7	158,3	+16,4	153,4	140,9	+12,5	156,5	128,5	+28,0
1968-69	341,7	381,2	-39,5	296,4	331,9	-35,5	249,8	269,3	-19,5
1969-70	275,1	190,4	+84,7	236,0	171,9	+64,1	229,1	153,8	+75,3
1970-71	250,2	218,7	+31,5	258,6	198,1	+60,5	227,8	177,4	+50,4
1971-72	227,2	222,8	+4,4	214,2	207,2	+7,0	198,0	181,9	+16,1
1972-73	309,2	254,8	+54,4	260,5	228,3	+32,2	241,0	197,9	+43,1
1973-74	162,6	153,4	+9,1	157,0	144,5	+12,5	137,9	132,4	+5,5
1974-75	247,1	219,01	+28,0	237,3	197,0	+40,3	209,1	173,2	+35,9
1975-76	160,6	168,5	-7,9	160,3	156,1	+4,2	142,0	139,6	+2,4
1976-77	221,3	227,4	-6,1	218,0	205,0	+13,0	202,8	181,2	+21,6
1977-78	207,6	185,2	+22,4	200,2	165,9	+34,3	198,0	149,2	+48,8
1978-79	254,6	258,3	-3,7	244,4	229,7	+14,7	235,5	200,8	+34,7
1979-80	132,6	157,6	+5,0	133,9	117,7	+16,2	137,1	112,1	+25,0

Таблица 10

Измеренный и расчетный сток за балансовый год (снегозапасы определялись с использованием фитоиндикационного метода. Переход от среднемесячных снегозапасов к ежегодным проводился по коэффициентам снежности)

Год баланс.	Кытманово			Сорокино			Тальменка		
	УВ	УР	ΔR	УВ	УР	ΔR	УВ	УР	ΔR
1967–68	174,7	196,3	+21,6	153,4	173,1	-19,7	156,5	170,7	-14,2
1968–69	341,7	286,9	+54,8	296,4	266,5	+29,9	249,8	225,0	+24,8
1969–70	275,1	221,7	+53,4	236,0	197,9	+38,1	229,1	191,0	+38,1
1970–71	250,2	229,5	+20,7	258,6	208,2	+50,4	227,8	199,0	+28,8
1971–72	227,2	233,1	-5,9	214,2	220,8	-6,6	198,0	195,1	+2,9
1972–73	309,2	227,0	+82,2	260,5	207,0	+53,5	241,0	189,5	+51,5
1973–74	162,5	174,8	-12,3	157,0	157,7	-0,7	137,9	153,4	-15,5
1974–75	247,1	253,6	-6,5	237,3	228,8	+8,5	209,1	211,8	-2,7
1975–76	160,6	207,1	-46,5	160,3	191,3	-31,0	142,0	180,0	-38,0
1976–77	221,3	235,0	-13,7	218,0	218,7	-0,7	202,8	191,5	+11,3
1977–78	207,6	231,7	-24,1	200,2	207,0	-6,8	198,0	194,4	+3,6
1978–79	254,6	255,5	-0,9	244,4	240,7	+3,7	235,5	204,0	+31,5
1979–80	132,6	168,6	-36,0	133,9	151,9	-18,0	137,1	153,1	-16,0

Таблица 11

Среднее квадратическое отклонение реального и рассчитанного стока за балансовый год при различных методах расчета максимальных снегозапасов

Пост	Принцип расчетов максимальных снегозапасов			
	Интерполяция	$W = f(H)$	$W = f(L)$	Фитоиндикация
Кытманово	43	45	35	39
Сорокино	43	38	34	28
Тальменка	42	36	38	27

Таким образом, для северо-восточной части Алтайского края, где абсолютные высоты не превышают 600 м, карты максимальных снегозапасов целесообразнее всего строить с применением фитоиндикационного метода или рассчитывая значения снегозапасов по зависимости $W = f(L)$. Как было показано в расчетах, традиционные подходы к составлению карт максимальных снегозапасов (по зависимости $W = f(H)$ и методом интерполяции) оказываются менее точными.

Одним из способов повышения точности определения характеристик снежного покрова и составления карт максимальных снегозапасов являются оценка и учет погрешностей, возникающих в процессе получения исходных данных при проведении снегомерных работ.

На основе материала снегомерных работ, проведенных в бассейне Чумыша в период с 2003 по 2006 г., нами были рассчитаны абсолютные и относительные ошибки определения средних значений толщины, плотности и водозапаса снежного покрова на снегопунктах.

Величины ошибок определялись по стандартным формулам математической статистики и теории ошибок (Червяков, 1998; Шереметов, Сюбаев, 1988):

$$\mu = \sigma/\sqrt{n} \quad (3)$$

$$\delta = C_v/\sqrt{n}, \quad (4)$$

где μ – абсолютная ошибка определения среднего; δ – относительная ошибка определения среднего; σ – среднее квадратическое отклонение; C_v – коэффициент вариации; n – количество измерений параметра снежного покрова на снегопункте.

Анализ полученных данных показал, что самые большие ошибки при определении средних значений снеготолщин в бассейне Чумыша приходятся на Бийско-Чумышскую возвышенность, для которой характерна наибольшая пространственная изменчивость всех параметров снежного покрова. Ошибка средних значений снеготолщин составляет здесь 3,4–8,6%. Самые маленькие значения ошибок в пределах бассейна характерны для «Устьевой зоны» – 0,7–2,1%, что связано с достаточно равномерным распределением снеготолщин под пологом сосновых лесов. В горной части бассейна, занятой преимущественно лесной растительностью, величины ошибок значительно меньше в сравнении с равнинной частью бассейна (0,7–3,7%). При этом на участках с темнохвойными (черневыми) лесами ошибки будут несколько выше, чем на участках с мелколиственным лесом, что связано с влиянием кроны пихты на неравномерность распределения снеготолщин под пологом темнохвойного леса. Похожее соотношение для различных частей бассейна будет наблюдаться и между величинами ошибок средних значений толщины снежного покрова. Однако ошибки толщины снежного покрова существенно меньше ошибок снеготолщин, что связано с гораздо большим количеством измерений данного параметра на снегопунктах.

На основе данных, полученных в процессе снегомерных работ в бассейне Чумыша, нами был проведен корреляционный анализ и определены зависимости между величиной относительной ошибки средних значений толщины снежного покрова и снеготолщин на снегопункте и коэффициентом вариации, характеризующим пространственную изменчивость рассматриваемого параметра снежного покрова на снегопункте (рис. 5). Расчеты показывают, что точность определения средних значений параметров снежного покрова будет тем выше, чем меньшая пространственная изменчивость снежного покрова наблюдается на снегопункте и чем больше было произведено измерений.

Кроме того, наблюдения и расчеты показали, что величины ошибок на одних и тех же участках в разные по снежности зимы неодинаковы. Наибольшие ошибки отмечаются в малоснежные зимы. В много-

снежные же зимы, напротив, ошибки средних значений толщины снежного покрова не превышают 2,5%, а снегозапасов – 3,5%.

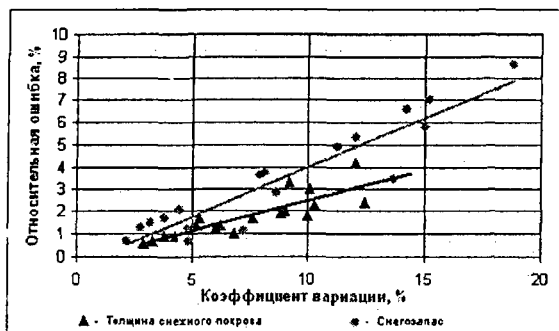


Рис. 5. Зависимость величины относительной ошибки средних значений толщины снежного покрова и снегозапаса от степени их пространственной изменчивости на снегопункте (по материалам полевых наблюдений автора в бассейне Чумыша)

Как уже было отмечено, точность определения средних значений основных параметров снежного покрова зависит в том числе и от количества проведенных измерений. При производстве снегомерных работ количество измерений толщины снежного покрова и плотности с последующим определением снегозапаса регламентируется ведомственными инструкциями. Однако для разных территорий, отличающихся по снежности и особенностям перераспределения снежного покрова, величины ошибок средних значений при одинаковом регламентированном количестве измерений будут отличаться.

В процессе проведения снегомерных работ была предпринята попытка определить, как будут меняться величины ошибок при различном количестве измерений. С этой целью на некоторых снегопунктах в пределах Салаирского ключевого участка производилось по 10, 20, 50 и 100 промеров толщины снежного покрова, с последующим определением абсолютных и относительных ошибок средних значений.

Проведенные расчеты показали, что при уменьшении количества промерных точек на снегопункте до 10 величина ошибки возрастает на 33–67% относительно погрешности, возникающей при рекомендованных 20 промерных точках. При увеличении числа промерных точек с 20 до 50 уменьшение величины ошибки происходит на 44–68% от значения погрешности при 20 промерах. При дальнейшем увеличении числа промерных точек до 100, т.е. еще в два раза, уменьшение вели-

чины ошибки произошло на 55–73% от значения погрешности при 20 промерах. Следовательно, дальнейшее увеличение объема снегомерных работ в два раза привело к уменьшению погрешности лишь на 5–13% от значения ошибок при 50 промерах (рис. 6).

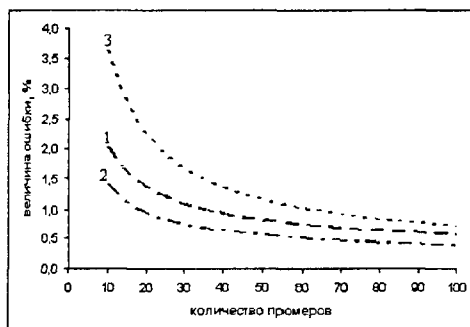


Рис. 6. Изменение величины относительной ошибки при определении средних значений толщины снежного покрова на снегопункте в зависимости от количества промеров (1 – пихтово-березово-осиновый лес; 2 – осиновый лес; 3 – днище долины с густыми зарослями ивы)

Таким образом, при необходимости увеличения точности измерений толщины снежного покрова на данной территории рекомендуется увеличивать количество промерных точек на снегопунктах в 2–2,5 раза. Дальнейшее же увеличение количества промерных точек нецелесообразно ввиду малого влияния на уменьшение погрешности.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Впервые проведен комплексный анализ снеговедческих наблюдений на территории Алтайского края, позволивший систематизировать проводимые когда-либо исследования снежного покрова в зависимости от их направленности, времени выполнения и территориального охвата.

2. Проанализированы основные режимные характеристики снежного покрова и межгодовая изменчивость снегозапасов в бассейне Чумыша.

3. Собран обширный массив статистических данных о толщине, плотности и снегозапасах в бассейне Чумыша, включая горные ландшафты Салаирского края, в наименьшей степени обеспеченных данными гидрометеорологических наблюдений.

4. Выявлены основные особенности пространственной дифференциации снежного покрова на макро-, мезо- и микромасштабном уровнях. Определены основные факторы пространственной неоднородности поля

снежного покрова и проведено районирование бассейна Чумыша по снежности и особенностям перераспределения снежного покрова.

5. Обоснована эффективность применения фитоиндикационного метода при изучении и картографировании снежного покрова в условиях низкогорного речного бассейна и составлена индикационная таблица на уровне растительных формаций.

6. На основе экспериментальных данных получены региональные зависимости снегозапасов и плотности от толщины снежного покрова для горных ландшафтов Салаира. Полученные зависимости позволяют производить расчет максимальных снегозапасов, основываясь лишь на информации о толщине снежного покрова, что значительно упрощает проведение снегомерных работ на данной территории, характеризующейся значительной мощностью снежного покрова.

7. С помощью различных методических подходов составлена серия карт толщины снежного покрова на максимум снегонакопления и максимальных снегозапасов для бассейна Чумыша и его отдельных частей в масштабах 1:1000 000 и 1:100 000.

8. С помощью имитационной модели расчета поверхностного стока осуществлена проверка точности составленных карт максимальных снегозапасов. В результате было установлено, что при составлении карт максимальных снегозапасов для низкогорных речных бассейнов, располагающихся в зоне воздействия орографического барьера, наиболее эффективным является применение фитоиндикационного метода или использование зависимости изменения снегозапасов от приближения к орографическому барьеру.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Попов, Е.С. Асимметрия снежности в бассейне реки Чарыш / Е.С. Попов // Бассейновая парадигма в географии: Тез. докл. – Барнаул: Изд-во НИИ ГП, 1999. – С. 32–34.

2. Попов, Е.С. К изучению роли нивально-гляциальных процессов в системе комплексного природопользования / Е.С. Попов // Проблемы региональной экологии: Материалы I регион. науч.-практ. конф. молодежи. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – Вып. 6. – С. 142–143.

3. Попов, Е.С. Картографирование снежного покрова в бассейне реки Сентелек / Е.С. Попов, Е.В. Полковникова // Экология Южной Сибири: Материалы Сибирской науч. конф. студентов и молодых ученых. – Красноярск, 2000. – Т. 2. – С. 36–37.

4. Попов, Е.С. Опыт построения крупномасштабной карты толщины снежного покрова в бассейне реки Сентелек на основе ландшафтной карты / Е.С. Попов, Е.В. Полковникова // Горы и человек: антропогенная трансформация горных геосистем: Материалы Всерос. науч. конф. – Барнаул, 2000. – С. 89–90.

5. Попов, Е.С. Ландшафтно-индикационные исследования снежного покрова в бассейне реки Чарыш / Е.С. Попов // Антропогенная трансформация горных

геосистем (Алтай и Саяны): история, состояние и проблемы: Материалы Всерос. молодежной науч. конф. с участием стран СНГ. – Барнаул, 2001. – С. 118–120.

6. Попов, Е.С. Воздействие снежно-ледовых образований на жизнедеятельность населения в бассейне р. Чарыш / Е.С. Попов // Горы и человек: от стратегии Природы к стратегии Разума: Материалы междисциплинарной науч. конф. молодых ученых Алтайского государственного университета. – Барнаул, 2002. – С. 110–113.

7. Попов, Е.С. Изученность снежно-ледовых образований в бассейне р. Чарыш / Е.С. Попов // Проблемы гляциогидроклиматологии Сибири и сопредельных территорий: Материалы науч.-практ. конф., посвящ. 110-летию со дня рождения М.В. Тронова. – Томск: Изд-во ТГУ, 2002. – С. 47–48.

8. Попов, Е.С. Сравнительный анализ расчета максимальных снеготпасов в условиях низких гор (бассейн Чумыша) / Е.С. Попов, В.П. Галахов, В.О. Дмитриев // Известия АлтГУ. – 2003. – №3(29). – С. 79–84.

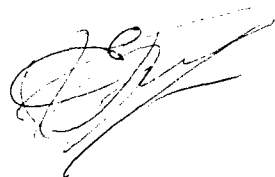
9. Попов, Е.С. Исследование снежного покрова в бассейне р. Тогуленок зимой 2003/04 года (Салаирский кряж) / Е.С. Попов // Вопросы горного страноведения: Материалы регион. конф. – Барнаул, 2005. – С. 138–144.

10. Попов, Е.С. Исследование снежного покрова в бассейне реки Тогуленок зимой 2004/05 года (Салаирский кряж) / Е.С. Попов // Вестник молодых ученых: Сборник науч. работ. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2005. – С. 27–32.

11. Попов, Е.С. Снежный покров в бассейне Чумыша (по материалам наблюдений зимой 2004/05 г.) / Е.С. Попов // Труды молодых ученых Алтайского государственного университета: Материалы XXXII науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и учащихся лицейных классов. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2005. – С. 189–193.

12. Попов, Е.С. Снежный покров в бассейне р. Тогуленок (Салаирский кряж) / Е.С. Попов, М.В. Кобзева // Ползуновский вестник. – 2006. – №2-1. – С. 246–251.

13. Попов, Е.С. Оценка точности определения основных параметров снежного покрова на снегопунктах в бассейне р. Тогуленок (Салаирский кряж) / Е.С. Попов // География и природопользование в Сибири: Сборник науч. ст. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2006. – С. 175–183.



Подписано в печать 20.04.2007. Формат 60х84/16.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 143.

Типография Алтайского государственного университета:
656049, Барнаул, ул. Димитрова, 66

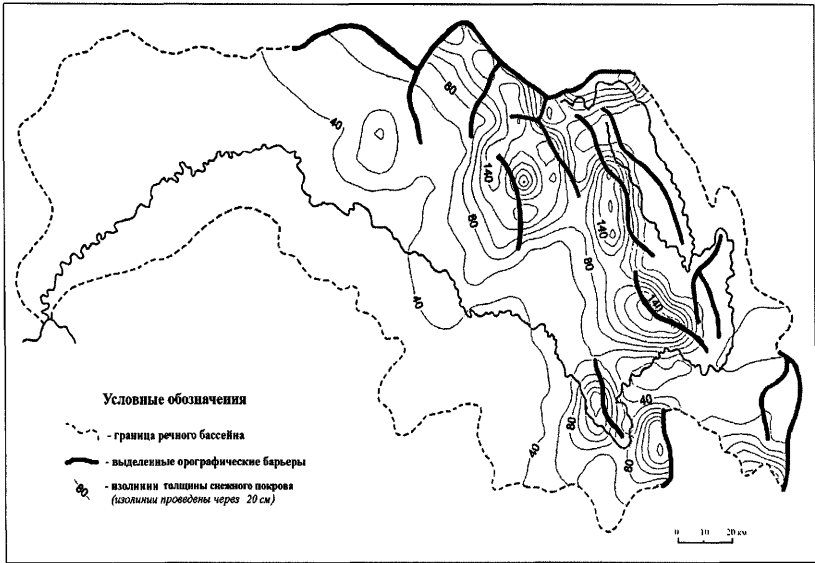


Рис. 1 Карта среднегогодовой толщины снежного покрова в бассейне р.Чумыш, на период максимальных снегозапасов построенная по зависимости $h=f(L)$

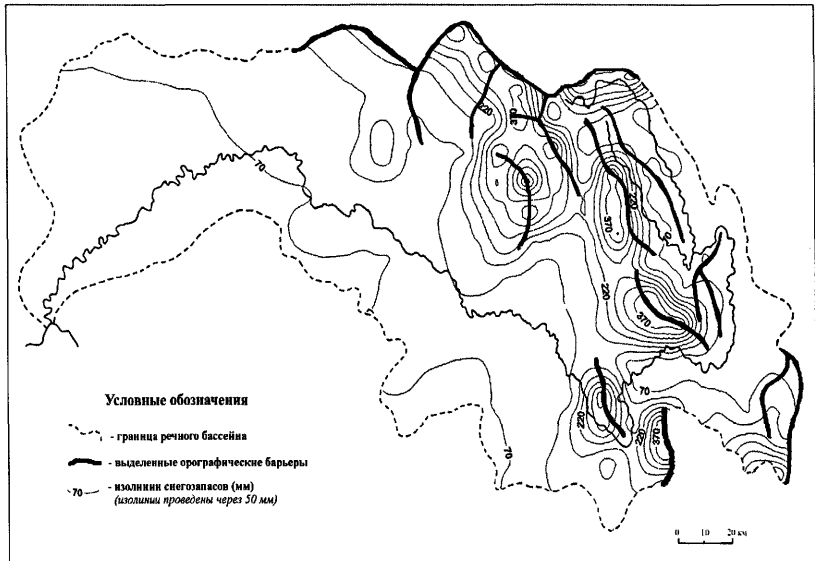


Рис. 2 Карта среднегогодовых снегозапасов в бассейне р.Чумыш, построенная по зависимости $W=f(L)$

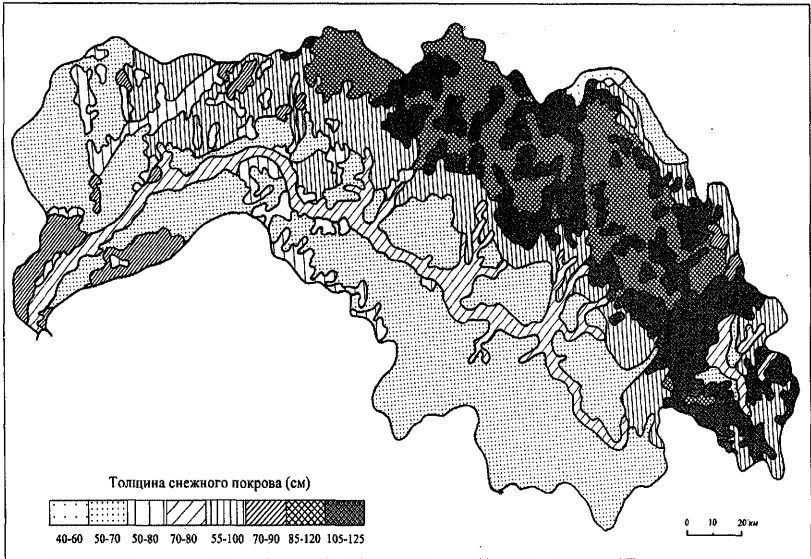


Рис. 1 Карта толщины снежного покрова в бассейне р.Чумыш на период максимальных снегозапасов, построенная на основе фитоиндикационного метода (по материалам наблюдений автора в период с 2003 по 2006 гг.)

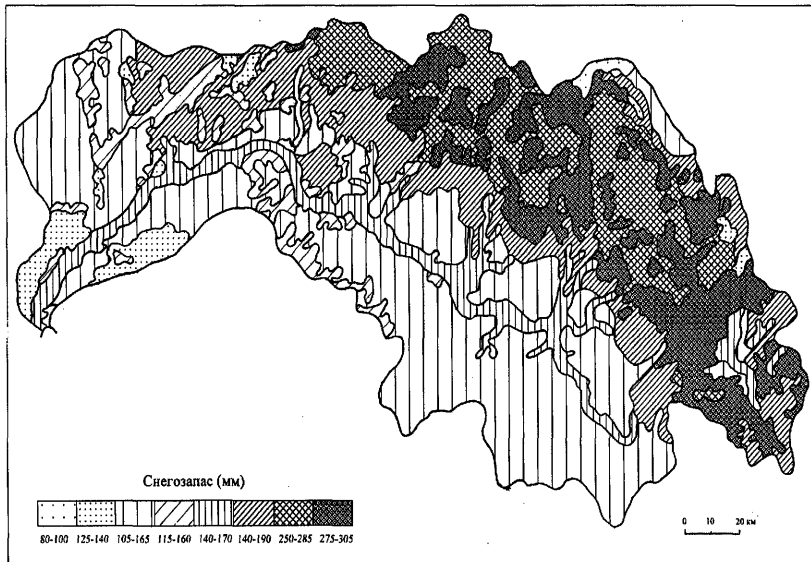


Рис. 2 Карта максимальных снегозапасов в бассейне р.Чумыш, построенная на основе фитоиндикационного метода (по материалам наблюдений автора в период с 2003 по 2006 гг.)