

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ МАСС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СНЕГОЗАПАСОВ В ГОРАХ

В.П. Галахов

Алтайский государственный университет

На основании экспериментальных данных и численного моделирования представлена методика определения максимальных снегозапасов в горах.

Расчет полей осадков в горах весьма сложен и, очевидно, поэтому в настоящее время осуществляют лишь попытки построить крупномасштабные карты среднесезонных максимальных снегозапасов. В методику построения этих карт закладывается зависимость увеличения снегозапасов с высотой. Действие этих высотных зависимостей ограничиваются небольшим районом, на который они получены.

При различных гидрологических расчетах требуется определить поле осадков (снегозапасов) на сравнительно небольшой территории (порядка 10–15 тыс. км²). Причем, исходные параметры и полученные результаты должны определяться с шагом в 5–10 км. Очевидно, что применение в расчетных схемах гидродинамических моделей для этого возможно, но они весьма сложны при расчетах, а главное требуют введения большого числа первичных предиктантов, задать которые чаще всего в условиях интересующих нас площадей и с учетом имеющегося обеспечения аэрологической информацией, практически невозможно. В наших предыдущих работах [2, 3] была показана возможность расчетов ежегодных снегозапасов в горах. Однако, для численных экспериментов был выбран такой район исследований, воздушные потоки в котором, при подходе к горной системе с юго-запада, запада и северо-запада трансформируются в одно преобладающее направление. В случае, если такой трансформации не происходит, встает вопрос определения их направления в каждом конкретном случае. Поэтому для расчетов полей осадков (снегозапасов), хотя бы на экспертном уровне, была сделана попытка создать модель расчета движения воздушных потоков, исходная информация, в которую требовалась бы минимальная, в качестве последней используется абсолютная высота подстилающей поверхности (снятая с определенным шагом), скорость и направление подхода воздушных потоков и температура приземного слоя воздуха, получить которые вполне возможно по данным немногочисленных аэрологических наблюдений. Сделав предварительные замечания, перейдем непосредственно к решению поставленной задачи.

В условиях неустойчивой атмосферы (в период прохождения фронтальных зон) каких-либо волновых колебаний атмосферы не будет наблюдаться. Как указывает Л.Т. Матвеев [6, С. 201]: «Линии тока в данном случае симметрично искривлены над горой, а при удалении от нее быстро становятся горизонтальными». Полная система уравнений движения воздушных масс

состоит из уравнений движения, уравнения неразрывности, уравнения притока тепла и уравнения притока влаги. Два последних уравнения при создании модели расчета снегозапасов в условиях сложной орографии можно опустить.

Согласно [4, С. 216]: «за счет сильного упрощения уравнений движения относительно простое моделирование воздушного потока, обтекающего препятствие или переваливающего через него» можно осуществить в том случае, если [4, С. 216]:

1. Сильное торможение восходящих движений происходит в нижней тропосфере (т.е. при условии мощной устойчивой стратификации выше верхней границы пограничного слоя);
2. Высота местности в основном значительно меньше этой высоты;
3. Горизонтальная термическая неоднородность как атмосферы, так и подстилающей поверхности мала.

Приводимая ниже модель может быть применена в случае относительно низких и средних гор (до 3 км) и только лишь в зимний период, когда действительно термическая неоднородность подстилающей поверхности мала.

Воздух, встречающий препятствие, должен иметь достаточную кинетическую энергию, чтобы подняться на препятствие. Согласно Р. Барри [10, С. 67] максимальная высота, на которой исчерпывается кинетическая энергия частиц воздуха, составляет:

$$Z_{\max} = \frac{U}{\sqrt{\frac{g(\Gamma - \gamma)}{T}}}$$

где, U – скорость ветра поднимающего частицу,

$\sqrt{\frac{g(\Gamma - \gamma)}{T}}$ – статическая устойчивость (результат

рующая сил плавучести и тяжести), g – ускорение свободного падения, Γ – сухадиабатический градиент, γ – вертикальный градиент температуры воздуха (согласно Л.Т. Матвеева, его можно принять равным 0,007 град/м [7], T – температура в °К.

Начальные условия для расчета можно задать имея аэрологическую информацию о скорости ветра, его направлении, температуре воздуха. На уровне $Z_{\max}$ примем, что скорость ветра равна нулю. Модуль скорости ветра при подъеме будет уменьшаться, при спуске увеличиваться. Направление вектора скорости, при

подъеме-спуске, поскольку трение между воздушными частицами невелико [7], прием параллельным земной поверхности. Вертикальную составляющую (U_z) для расчета подъема-спуска воздуха в соответствии с рекомендацией Р. Скорера [8] будем несколько уменьшать, т.к. во фронтальной зоне существуют конвективные ячейки, размеры которых в среднем изменяются в пределах 20–30 км и, соответственно, в них наблюдается не только подъем воздуха, но и спуск по краю конвективной ячейки [7, С. 84].

Для оценки корректности модели движения воздушных масс воспользуемся районом примерно от 80 до 92 град восточной долготы и от 48 до 56 град северной широты, включая аэрологические станции Новосибирск, Барнаул, Кош-Агач, Абакан. С исследуемого района была снята матрица абсолютных высот размерами 40x40 точек с шагом в 25 км. Считалось, что воздушный поток движется слева-направо. В случае если фронтальная зона подходит к горной стране под каким-то углом, матрица разворачивалась. Счет в матрице идет слева-направо и снизу-вверх. Начальные условия задаются первому столбцу: скорость воздушного потока через 0,5 км: от 0,5 до 3,0 км (V), температура воздуха (T) и направление ветра (ORT). Вначале для самого нижнего слоя определяется построчно V , T , ORT и время прохождения воздушным потоком данной точки (τ). Причем, если на пути воздушного потока встречается препятствие больше $Z_{\max}$ всем остальным точкам в строке присваивается значение $\tau \gg \tau_{\text{реальн}}$. При следующих расчетах направление воздушного потока, начиная со второго столбца, искусственно изменяется по трем наиболее вероятным румбам. Если τ данной итерации меньше τ предыдущей, то старые значения стираются и присваиваются новые (таким образом учитываются уравнения движения). Если происходит разделение потока, то скорость уменьшается пропорционально количеству разветвлений (учет уравнения неразрывности). Температура воздуха, поскольку в зимних условиях она незначительно влияет на $Z_{\max}$, принималась

постоянной. Число подобных повторений (итераций) соответствует числу столбцов в матрице.

Для более точного определения необходимых нам характеристик в узловых точках, расстояние между ними делилось дополнительно на 10 частей. После того как определено положение нижнего слоя, для верхнего он принимался подстилающей поверхностью и счет уже шел относительно его.

Численные эксперименты. Как уже упоминалось ранее фронтальная зона, это не сплошной воздушный поток поднимающийся вверх или опускающийся вниз. Он имеет ячеистую структуру. В центре ячеек наблюдается подъем воздуха, на периферии – опускание. Как указывает Р. Скорер [8, С. 331]: «Скорость восходящего потока на оси термика, используемого планеристами, примерно в 2,2 раза выше скорости подъема самого термика». Естественно, что во фронтальной зоне это значение существенно меньше. Однако наши поиски таких значений по литературе не увенчались успехом. Поэтому эта величина определялась методом подбора при ее крайних значениях (1,0–2,0) с шагом равным 0,25. Результаты численных экспериментов показывают, что наибольшая сходимость модуля скорости получается в случае уменьшения вертикальных движений на 0,25 (рис. 1, 2). Поэтому в дальнейшей работе использовалось именно это значение коэффициента уменьшения модуля вертикальной скорости. Для определения насколько адекватно отражает наша модель трансформацию фронтальных зон, были проведены численные эксперименты за весь период прохождения фронтальной зоны.

Результаты анализа, часть которых приводится на рис. 3, 4 показали следующее:

1. Модель достаточно хорошо воспроизводит качественную картину трансформации скорости и направления воздушных потоков при прохождении фронтальных зон в горах.

2. В случае если фронтальная зона выражена достаточно резко, воспроизведение полей скоростей во времени на аэрологическом разрезе происходит со вполне

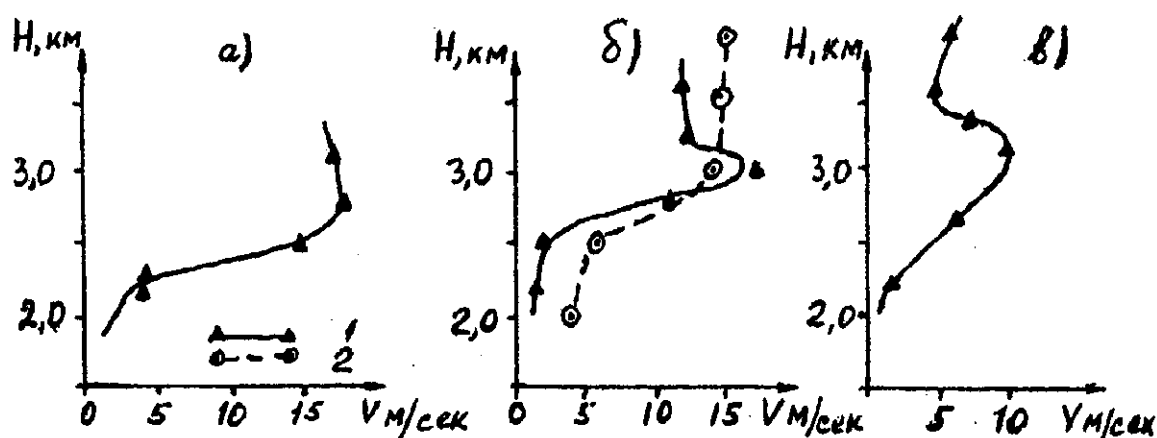


Рис. 1. Изменение модуля скорости ветра при уменьшении вертикальных движений в 1,5 (а); 1,25 (б); 1,0 (в) раза. Аэрологические наблюдения по ст. Кош-Агач от 4.05.1985 г. 1 – численный эксперимент; 2 – аэрологические наблюдения

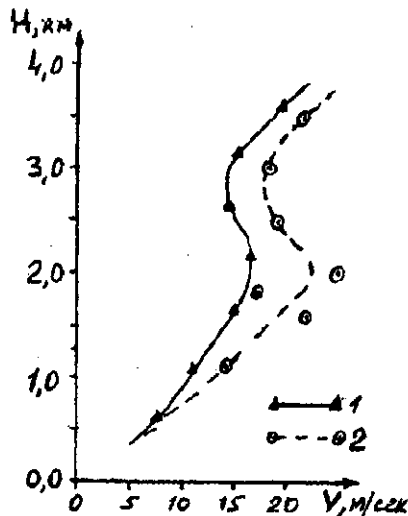


Рис. 2. Модуль скорости ветра при уменьшении вертикальных движений в 1,25 раза. Аэрологические наблюдения по ст. Абакан от 4.05.1985 г. 1 – численный эксперимент, 2 – аэрологические наблюдения

удовлетворяющей нас ошибкой (максимальное отличие точек моделированного поля от реального не более, чем в два раза).

3. В случае если фронтальная зона выражена не столь четко, то качественная картина поля скорости воспроизводится достаточно хорошо, но сами модули, моделированные и реальные, могут отличаться в 2–3 раза.

4. Время движения фронтальной зоны, если рассчитывать его в зависимости от модулей скоростей за определенное время, при численном моделировании занижается примерно в два раза. Но так и должно быть, так как скорость используемая для численного моделирования не есть скорость движения самой фронтальной зоны. Таким образом, и время движения модель воспроизводит достаточно достоверно.

5. Наиболее достоверно поля скоростей воспроизводятся, если задаются с определенным интервалом все слои, начиная от приземного. Если при численном моделировании мы «перепрыгиваем» через слой, то воспроизведение менее адекватно реальной картине.

Для численных расчетов сгонакопления был выбран район Салаирского края и Кузнецкого Алатау. Для расчета суммы вертикальных движений за время полета снежинки через облако примем ее гидравлическую крутность, согласно рекомендации Р.Р. Роджерса [9] равной 0,5 м/сек. Толщину облачной системы равной 2,6 км [5]. Шаг сетки взят равным 10 км, т.к. больший шаг сетки не будет характеризовать адекватно рельеф, а меньший – не дает более точной картины, лишь увеличивая время счета. Распределение скоростей воздуха в период прохождения фронтальных зон, примем осредненным за весь зимний период по данным аэрологической станции Барнаул. Направление подхода фронтальных зон к исследуемому региону примем западным, как наиболее вероятное.

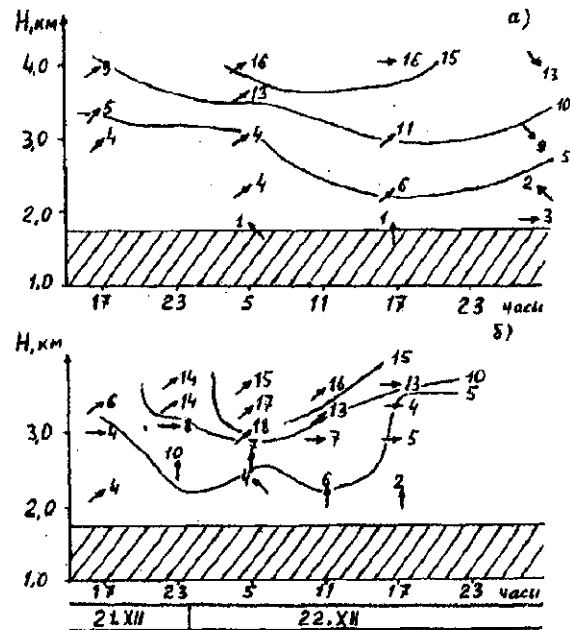


Рис. 3. Разрез полей модулей скоростей и направлений ветра по ст. Колп-Агач 21–22 декабря 1985 г. Начальные условия задавались по ст. Новосибирск на высотах 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 3 км. а – данные аэрологических наблюдений, б – численный эксперимент

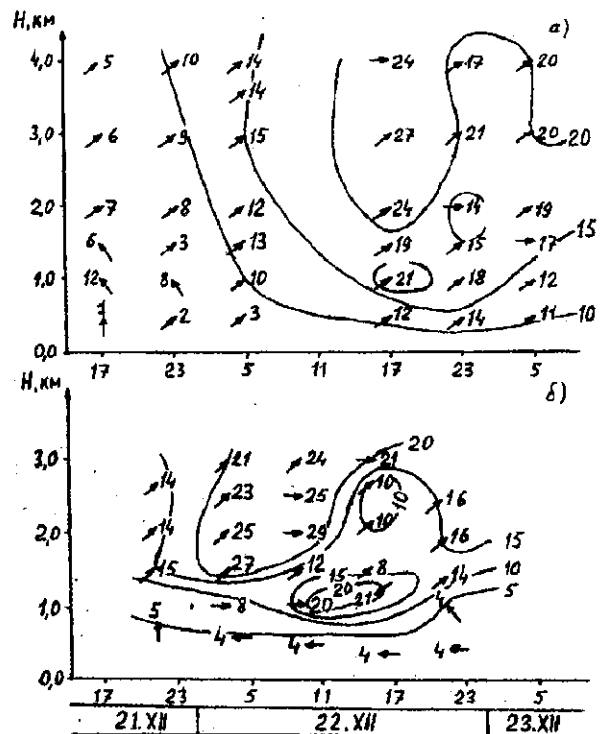


Рис. 4. Разрез полей модулей скоростей и направлений ветра по ст. Абакан 22–23 декабря 1985 г. Начальные условия задавались по ст. Новосибирск на высотах 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 3 км. а – данные аэрологических наблюдений, б – численный эксперимент

Для нахождения орографической добавки к вертикальным скоростям движения воздуха в модели был разработан блок, который накапливал их сумму за все время полета снежинки через облачную систему. Получив картину распределения вертикальных скоростей за счет орографии в облачной системе, была сделана попытка увязать ее со средними многолетними

осадками холодного периода по 20 метеостанциям, находящимся в районе исследований. Материалы расчетов показали, что сумма вертикальных движений за счет орографии и сумма зимних осадков имеют коэффициент корреляции равный 0,84. Полученные результаты можно принять как вполне удовлетворительные и использовать для построения соответствующих карт.

Литература

1. Барри Р.Г. Погода и климат в горах. Л., Гидрометиздат, 1964. 263 с.
2. Галахов В.П., Дементьев М.В., Осипов А.В., Сюбаев А.А. Расчет максимальных снегозапасов в условиях сложной орографии (по исследованиям в бассейне р. Катунь) // Труды ЗСРНИГМИ. 1985. М., Гидрометиздат, Вып. 72. С. 109–115.
3. Галахов В.П., Дементьев М.В., Сюбаев А.А. Об использовании коэффициентов смежности для расчета ежегодных максимальных снегозапасов (на примере бассейна Верхней Катуни) // Труды ЗСРНИГМИ. 1986. М., Гидрометиздат, Вып. 76. С. 100–105.
4. Динамика погоды (под ред. С. Манабе). Л., Гидрометиздат, 1988. 420 с.
5. Дубровина Л.С. Облака и осадки по данным самолетного зондирования. Л., Гидрометиздат, 1982. 216 с.
6. Матвеев Л.Т. Динамика облаков. Л., Гидрометиздат, 1981. 311 с.
7. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л., Гидрометиздат, 1984, 751 с.
8. Скорер Р. Аэрогидродинамика окружающей среды. М., Мир, 1980. 549 с.
9. Роджер Р.Р. Краткий курс физики облаков. Л., Гидрометиздат, 1979. 231 с.