

РАСЧЕТ ВЕСЕННИХ ОСАДКОВ В ГОРНОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА р. ЕНИСЕЙ

В статье представлен метод расчета суточных сумм осадков весеннего периода в горных районах бассейна реки Енисей, основанный на фактическом материале наблюдений.

Ключевые слова: р. Енисей, расчет осадков, дождевой сток, высотные зависимости.

I.N. Gordeev

SPRING RAINFALL CALCULATION IN THE YENISEI RIVER BASIN MOUNTAINOUS PART

The technique for calculating the daily total rainfall in spring period in the mountainous regions of the Yenisei River basin, which is based on the observation facts, is given in the article.

Key words: the Yenisei River, rainfall calculation, rainfall runoff, altitudinal dependences.

Постановка проблемы. Основным источником питания рек Сибири являются атмосферные осадки. В холодный период они накапливаются в твердом виде и определяют величину будущего весеннего половодья. Оценка их вклада в весеннем стоке с достаточной точностью определяется с помощью снегомерных съемок в бассейне перед началом таяния. В теплый период осадки выпадают в основном в жидком виде. Количество жидких осадков учитываются сетью метеорологических станций, расположенных, как правило, на равнине. Оценка величины осадков в неисследованной горной части бассейна является одной из задач математического моделирования в гидрологии.

В практике гидрологических расчетов и прогнозов известно несколько способов расчета осадков в бассейнах горных рек. Основное их количество основано на учете достаточно хорошо изученного влияния рельефа местности на образование и распределение осадков. В настоящее время широко применяется метод с использованием плювиометрических градиентов. Например, А.В. Петенков [1] использует следующую линейную схему расчета:

$$X_i = X_{st} \cdot \left(1 + \gamma \frac{\Delta H}{100} \right), \quad (1)$$

где X_i – сумма осадков на расчетной высоте, мм;
 X_{st} – сумма осадков на равнинной станции, мм;
 γ – плювиометрический градиент;
 ΔH – разность между расчетной высотой и высотой станции, м.
 Разность между высотами определяется по формуле

$$\Delta H = H_i - H_{st}, \quad (2)$$

где H_i – расчетная высота, м;
 H_{st} – высота станции, м.
 Ю.М. Денисов [2] для расчета талого стока горных рек использовал криволинейный вид зависимости (1)

$$X_i = X_{st} \cdot \left(+ k_1 \cdot \Delta H + k_2 \cdot (\Delta H)^2 \right), \quad (3)$$

где k_1, k_2 – эмпирические коэффициенты.

С помощью данных зависимостей можно рассчитать сумму осадков на любой высоте за любой интервал времени. Сложность возникает при задании эмпирических коэффициентов. Обычно они подбираются по виду высотных зависимостей осадков с применением регрессии или оптимизации. Рассмотрим некоторые недостатки данных схем.

Во-первых, часты случаи, когда на равнине осадки не наблюдаются, а в горах идут дожди. Рассмотренные выше схемы расчета учесть их не в состоянии, особенно при работе с малыми временными интервалами (сутки и менее).

Во-вторых, в формулах (1), (3) величина увеличения осадков в горах зависит от их количества на опорной станции. Осадки в горах, рассчитанные по данным высотной станции, оказываются выше, чем рассчитанные по данным равнинных станций.

В-третьих, расчет по (1) и (3) дает завышение сумм осадков в горах при интенсивных ливнях на равнине. Действительно, на территории гор Южной Сибири интенсивные осадки (более 30 мм в сутки) обычно выпадают при прохождении атмосферных фронтов. Они распределены достаточно равномерно в районах расположения перемещающихся фронтов и слабо изменяются при изменении высоты местности.

Методика проведения исследований. В работе по расчету гидрографов половодья сибирских рек предстояло учесть недостатки рассмотренных выше схем и определиться с методом расчета количества осадков в горной части водосбора рек в период формирования весеннего половодья. В целях разработки районной схемы расчета осадков в горах Саян в весенне-летний период были использованы все имеющиеся в Среднесибирском УГМС данные наблюдений за атмосферными осадками на метеорологических станциях и гидрометеорологических постах. В бассейнах Красноярского и Саяно-Шушенского водохранилищ в разное время велись наблюдения за количеством осадков на 93 пунктах, в основном расположенных в долинах. Самой высокой является станция Оленья речка (высота 1404 м), в то время как максимальные высоты местности достигают 3500 м и выше.

В исследуемой территории весеннее половодье в горах продолжается с апреля по июль. Суммы осадков за этот период в пунктах наблюдений приводились к среднемноголетним значениям.

Согласно [3], количественно уменьшение осадков на подветренной равнине соизмеримо с увеличением осадков на возвышенностях, а увеличение осадков на наветренных склонах в значительной мере компенсируется их уменьшением на подветренной части территории. Это позволяет выделить на территории бассейна Енисейских водохранилищ однородные районы по характеру среднего многолетнего высотного распределения осадков в период снеготаяния. На рисунке 1 представлена связь рассчитанных сумм осадков от высоты. По виду связи выделены три высотные зависимости, соответствующие трем характерным районам бассейна водохранилищ Енисейских ГЭС.

Первая зависимость имеет наибольший градиент увеличения осадков с высотой, территориально соответствует правобережью Енисея, в пределах бассейнов р. Сыда, Туба, Оя. Это самый увлажненный район бассейна.

Вторая зависимость характеризуется меньшими градиентами, соответствует левобережью р. Енисей в пределах бассейнов р. Абакан, Кантегир, Ус. Данный район также достаточно увлажнен, но в этом отношении заметно уступает первому.

Третья зависимость характеризует распределение весенних осадков южнее хребта Западного Саяна, в пределах Республики Тыва. Данный район вследствие континентальности климата и наличия дождевой тени от хребтов Алтая наименее увлажнен. Здесь наблюдаются и наименьшие градиенты увеличения осадков с высотой.

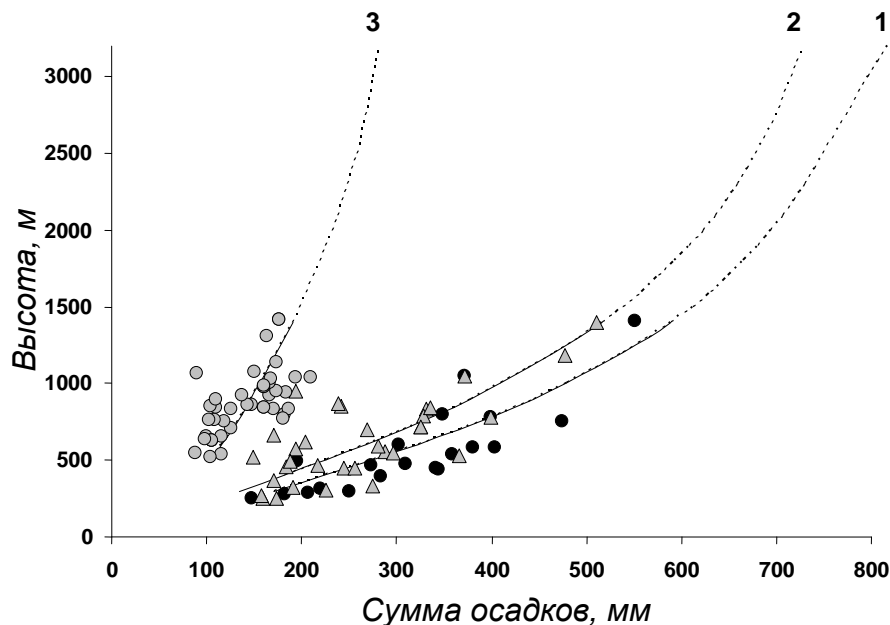


Рис. 1. Зависимость средних многолетних сумм осадков за период апрель-июль от высоты местности: 1 – район "Правобережье"; 2 – район "Левобережье"; 3 – район "Тыва"

Поле точек наблюдаемых значений аппроксимированы аналитическими зависимостями (в нашем случае были выбраны полиномы 2-й и 3-й степени). В областях, не обоснованных данными наблюдений (выше 1500 м), связь была проведена согласно ранее проведенным исследованиям и общим представлениям о распределении осадков в высокогорьях [4–6].

В [6] представлены результаты расчета зависимостей годовых осадков в исследуемом бассейне от высоты местности по методу водного баланса. На высотах свыше 1500 м наблюдается плавное снижение интенсивности увеличения осадков с высотой. Уменьшение осадков с высотой здесь инструментально не зафиксировано.

Уравнения районных аналитических кривых представлены в таблице. Связи характеризуют среднее увеличение осадков с высотой в обособленных физико-географических районах (рис. 2).



Рис. 2. Схема районирования территории по зависимости $X = f(H)$ (пунктиром оконтурены районы из [7])

Таблица 1

Уравнения районных высотных зависимостей средних многолетних сумм осадков за период апрель-июль от высоты местности

Район	Уравнение зависимости $\bar{X} = f(H)$
Правобережье	$X = 2.76 \cdot 10^{-8} \cdot H^3 - 2.23 \cdot 10^{-4} \cdot H^2 + 0.692 \cdot H - 18$
Левобережье	$X = 1.63 \cdot 10^{-8} \cdot H^3 - 1.59 \cdot 10^{-4} \cdot H^2 + 0.576 \cdot H - 24$
Тыва	$X = -1.61 \cdot 10^{-5} \cdot H^2 + 0.125 \cdot H + 47$

В основу схемы расчета суточных сумм осадков положено предположение о том, что каждый случай выпадения осадков в однородном районе повторяет среднее многолетнее высотное распределение суммы осадков за сезон. Зная аналитическую зависимость среднего многолетнего распределения весенних осадков по высоте водосбора, суточные суммы рассчитываются по формулам:

$$X_i = X_{st} \cdot \left(\frac{\bar{X}_i}{\bar{X}_{st}} \right)^{\left(\frac{b - X_{st}}{b} \right)} \quad (\text{для } X_{st} < 30 \text{ мм}); \quad (4)$$

$$X_i = X_{st} \quad (\text{для } X_{st} \geq 30 \text{ мм}),$$

где $\overline{X_i}$, $\overline{X_{st}}$ – средние многолетние суммы осадков на расчетной высоте и на высоте станции, мм, определяются по формулам связи $\overline{X} = f(\overline{H})$ из таблицы 1;

b – эмпирический коэффициент.

В данной схеме вместо плювиометрического градиента использовано отношение средних многолетних сумм осадков на разных высотах.

Коэффициент b характеризует пороговую суточную величину осадков на равнинной станции, при которой ослабляется градиент увеличения осадков вверх по склону. Экспериментально для района исследований принято $b = 30$ мм. Таким образом, при выпадении на равнине осадков, близких к 30 мм и более, показатель степени обнуляется, а градиент увеличения осадков с высотой приближается к нулю (т.е. $X_i = X_{st}$). Данная схема подтверждается данными наблюдений.

Результаты исследований. Анализ применимости уравнения (4) в практике расчетов гидрографа стока проверен по многолетним рядам (20 лет) суточных сумм осадков (с апреля по июль) для 9 пар станций (по три пары на каждый выделенный район). Для каждой пары станций средняя квадратическая ошибка расчета осадков по уравнению (4) ниже, чем по уравнениям (1) и (3), а коэффициент корреляции на десятую долю выше.

Разработанная схема имеет преимущество по сравнению с методом плювиометрических градиентов. Выпадение осадков в горах при их отсутствии на равнине компенсируется в предлагаемой схеме некоторым их завышением в дни с их наличием.

Литература

1. Рекомендации по прогнозированию паводочного стока на неизученных и слабо изученных реках Восточной Сибири. – Красноярск: Изд-во СибНИГМИ, 1984. – 78 с.
2. Денисов Ю.М. Схема расчета гидрографа стока горных рек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 104 с.
3. Швер Ц.А. Атмосферные осадки на территории СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 302 с.
4. Апполов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 422 с.
5. Соседов И.С. Исследование баланса снеговой влаги на горных склонах. – Алма-Ата: Наука, 1967. – 200 с.
6. Оценка коэффициентов снегонакопления в бассейне Верхнего Енисея / Д.А. Бураков [и др.] // Тр. ЗапСибНИГМИ. – 1991. – № 94. – С. 51–65.
7. Гордеев И.Н. Вертикальные градиенты температуры воздуха в бассейне Саяно-Шушенского водохранилища // Вестн. Том. ун-та. – 2011. – № 346. – С.181–185.

