

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОДОВОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ КАРСТОВОГО РЕЛЬЕФА И МУССОННОГО КЛИМАТА

Ван Хао , П.С. Лопух

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Рассмотрены пространственно-временные закономерности формирования стока по типовым гидрологическим постам наблюдений провинции Гуйчжоу. Установлены тенденции изменения стока по 6 станциям наблюдений за 27 лет.

Ключевые слова: Гуйчжоу; КНР; сток; половодье; сухой период; анализ; тенденции.

SPATIO-TEMPORAL REGULARITIES OF THE FORMATION OF ANNUAL DRAINAGE IN CONDITIONS OF KARST RELIEF AND MONSOON CLIMATE

Van Khao, P.S. Lopuch

(Belorussian state university, Minsk, Belarus)

The spatio-temporal patterns of runoff formation at typical hydrological observation stations in Guizhou Province are considered. Trends in runoff changes were established at 6 observation stations over 27 years.

Keywords: Guizhou; China; runoff; flood; dry period; analysis; trends.

Методика исследования. Для анализа годового стока нами рассмотрена статистика стока по 6 типовых гидрологических станциям в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 год. Для измерения характера и закономерности изменения годового стока в провинции Гуйчжоу использовались коэффициент распределения и коэффициент неравномерности распределения стока в течение года, степень и период концентрации, а также диапазон изменения стока. Кроме того, с целью обеспечения научной основы для рационального развития, всестороннего использования и оптимального распределения водных ресурсов использовались анализ межгодовой аномалии и коэффициент отношения модулей, коэффициент вариации и годовой коэффициент экстремальных значений.

Обсуждение результатов исследования

Особенности гидрологического режима рек региона. Сток в провинции Гуйчжоу в основном формируется за счет осадков. Среднегодовая амплитуда величины стока варьирует от 200 до 1200 мм.

Среднегодовая величина стока в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 год составляла 602.8 мм. Распределение стока в течение года происходит крайне неравномерно, объем воды в сезон паводков (с мая по октябрь) составлял от 75% до 80% от общего годового объема воды; в сухой период с ноября по апрель следующего года объем воды составлял менее 20% от общего годового объема воды. Для паводкового режима в провинции Гуйчжоу характерны резкие подъёмы и спады, их высота небольшая, а продолжительность – недолгая, образно говоря, «паводки проходят тонкой линией, а засуха обрушивается большим пластом». Среди различных стихийных бедствий в провинции Гуйчжоу засухи встречаются наиболее часто, а пораженная ими территория – наибольшая. Существует четкая закономерность в режиме засух: небольшая засуха отмечается раз в 3 года, умеренная засуха раз в 5 лет и сильная засуха раз в 10 лет.

Для анализа и расчета были выбраны 6 типовых гидрологических станций провинции Гуйчжоу, характеризующие особенности стока в основных гидрографических районах провинции. Размещение 6 гидрологических станций показано на рис. 1: Фэнган, Ванцао, Хуанмаоцунь, Сювэнь, Малин и Балин. Статистика стока в этих шести гидрологических станциях отражает закономерности изменений стока в провинции Гуйчжоу.



Рис. 1. Распределение типовых гидрологических станций провинции Гуйчжоу

Анализ характеристик годового распределения стока. На пополнение стока с учётом сезонных изменений влияют такие метеорологические факторы, как температура, скорость ветра и количество осадков. Пополнение стока отражает процесс сезонных изменений. Вышеперечисленные характеристики приводят к неравномерному распределению речного стока в течение года. В настоящее время существует множество методов, с помощью которых можно охарактеризовать особенности распределения стока в течение года. Автор использовал коэффициент распределения и коэффициент неравномерности распределения стока в течение года, степень и период концентрации и диапазон изменения стока, а также анализирует характеристики распределения стока в провинции Гуйчжоу с разных точек зрения.

Структура распределения стока в провинции Гуйчжоу в течение года остается стабильной. Максимальный месячный сток неизменно наблюдается в июле. Годовое распределение стока 6 типовых гидрологических станций в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 год происходит крайне неравномерно: наибольший объем стока наблюдается в середине года, минимальный объем приходится на начало и конце года. С точки зрения сезонного распределения, летний сток является наибольшим, составляя 50 % - 60 % от общего годового стока; зимний сток является наименьшим, его показатель - менее 10 % от общего годового стока.

Неравномерное распределение стока в течение года. Неравномерное распределение стока в течение года обычно описывается коэффициентом неравномерности и полным поправочным коэффициентом. Для этого выбирается коэффициент неравномерности распределения стока в течение года C и анализируется сток выбранной гидрологической станции за месяц. Далее действует следующая установка: чем больше коэффициент неравномерности распределения стока за год, тем больше разница между объемом стока в каждый месяц, и тем выше неравномерность распределения стока в течение года. Коэффициент неравномерности распределения стока в течение года C_v , формула месячного расчета:

$$C_{v, \text{月}} = \frac{\sigma}{\bar{R}}, \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (R_i - \bar{R})^2}, \quad (2)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i. \quad (3)$$

где среднемесячный сток в течение года – 100 млн. м³; R_i – сток i месяца, м³; i – месяц, $i = 1, 2, \dots, 12$; σ - стандартное отклонение.

Используя серии измерений месячного стока 6 типовых гидрологических станций в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 год, нами было рассчитано неравномерное распределение стока в провинции Гуйчжоу в течение года, результаты представлены в табл. 1. Из таблицы следует, что процесс изменения коэффициента неравномерности распределения стока на шести типовых гидрологических станциях в провинции Гуйчжоу в течение года происходит синхронно. Распределение стока на каждом из участков в течение года относительно равномерное. В разные периоды года коэффициент неравномерного распределения стока на исследуемой территории обычно имеет тенденцию сперва увеличиваться, а затем уменьшаться. Это свидетельствует, что годовое распределение стока в провинции Гуйчжоу относительно выровнялось за несколько последних лет, усилилась способность сезонного регулирования стока рек, увеличивается доля от годового стока в непаводковые сезоны.

Степень и период концентрации стока. Рассчитав данные измерений месячного стока по 6 типичным гидрологическим станциям в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 гг., были использованы степень концентрации и период концентрации для выражения годового распределения стока и времени появления максимального стока.

Таблица 1

Коэффициент неоднородности распределения стока на типовых гидрологических станциях провинции Гуйчжоу (1985 - 2012 гг.)

Год	станция Фэнган	станция Ванцао	станция Хуанмаоцунь	станция Сюэнь	станция Малин	станция Балин	Среднее значение
1985—1989	0.79	0.87	1.18	1.06	1.11	1.28	1.05
1990—1999	0.90	0.94	1.32	1.15	1.19	1.23	1.12
2000—2012	0.77	0.88	1.04	0.95	1.07	1.39	1.02
Среднее значение	0.82	0.90	1.17	1.04	1.12	1.31	

Вектор обозначает собой показатель ежемесячного стока в течение года, модуль вектора представляет величину месячного стока, направление вектора, указывающее на соответствующий месяц, выражается окружностью (360° круга рассматривается как 12 месяцев в году, 30° эквивалентно 1 месяцу).

Просуммировав векторы, отражающие ежемесячный сток в течение года, мы сделали следующие выводы: степень годовой концентрации стока (год *RCD*) – это отношение модуля комбинированного вектора к годовому стоку; годовой период концентрации стока (год *RCP*) - это направление результирующего вектора, то есть касательный угол отношения горизонтальной составляющей к вертикальной составляющей. Формула расчета года *RCD* и года *RCP* может быть выражена следующим образом:

$$RCD_{year} = \frac{\sqrt{R_X^2 + R_Y^2}}{R_{year}}, \quad (4)$$

$$RCP_{year} = \arctan\left(\frac{R_X}{R_Y}\right), \quad (5)$$

$$R_X = \sum_{i=1}^{12} R_i \sin \theta_i, \quad (6)$$

$$R_Y = \sum_{i=1}^{12} R_i \cos \theta_i. \quad (7)$$

Из табл. 2 следует, что с 1990 по 1999 год в провинции Гуйчжоу имели самую высокую степень концентрации годового стока, среди которых показатели станций Хуанмаоцунь и Балин были самыми большими (63 % по сравнению с другими станциями); степень концентрации годового стока с 2000 по 2012 год была наименьшей, а показатели станции Фэнган меньше, чем у других станций.

Таблица 2

Результаты расчета концентрации годового стока на гидрологических станциях провинции Гуйчжоу (1985 по 2012 гг.)

Год	станция Фэнган	станция Ванцао	станция Хуанмаоцунь	станция Сюэнь	станция Малин	станция Балин	Среднее значение
1985—1989	40	42	62	55	62	70	55
1990—1999	47	46	63	53	62	63	56
2000—2012	38	39	53	50	59	66	51
Среднее значение	41	42	58	52	61	66	

Из этого следует, что период концентрации годового стока 6 типовых гидрологических станций в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 год приходился не позднее 6 августа и не раньше 27 июня. Период концентрации годового стока с 1990 по 1999 год случился раньше, чем в 1985-1989 годы, на станции Малин период начался раньше на 30 дней. Формула сравнения периода концентрации годового стока с 2000 по 2012 год, где: R год – годовой сток; R_X и R_Y – сумма горизонтальной и вертикальной составляющих месячного стока соответственно; θ_i – векторный угол стока i месяца. Концентрация годового стока хорошо отражает степень концентрации стока в течение года, когда она равняется 100 % (год RCD), являясь максимальным предельным значением, и это указывает на то, что годовой сток в этой области сосредоточен в одном месяце. Когда она равна 0 % (год RCD), являясь минимальным предельным значением, это указывает на то, что годовой сток в этой области равномерно распределяется в течение 12 месяцев, то

есть ежемесячный сток примерно одинаковый. Результаты расчетов степени и периода концентрации годового стока на исследованных станциях в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 год представлены в табл. 3. В целом степень концентрации годового стока с 1985 по 1999 год имела тенденцию к росту, а с 1990 по 2012 год – к снижению, то есть общая тенденция сперва увеличивалась, а затем снижалась. Это говорит о том, что степень концентрации распределения годового стока в провинции Гуйчжоу в последние годы снизилась и распределение годового стока стало равномернее. С 1990 по 1999 год на станциях были зафиксированы задержки, и задержка на станции Малин длилась дольше всего 15 дней. В последние годы период концентрации годовой стока в основном случается в середине июля.

Динамика изменения годового стока. Чем больше диапазон изменений стока в течение года, тем меньше степень регулирования, освоения и использования водных ресурсов. Для оценки диапазона изменения типичного стока в провинции Гуйчжоу использовано два показателя: диапазон относительного изменения и диапазон абсолютного изменения. Для выражения диапазона абсолютного изменения стока S_r используется разница между максимальным показателем месячного стока S_{max} и минимальным показателем месячного стока S_{min} . Для выражения диапазона относительного изменения стока S_a используется отношение максимального показателя месячного стока S_{max} к минимальному показателю месячного стока S_{min} .

Таблица 3

Результаты расчета периода концентрации годового стока в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 гг.

Год	станция Фэнган		станция Ванцао		станция Хуанмаоцунь		станция Сюэнь		станция Малин		станция Балин	
	RCP _{year} / (°)	Дата	RCP _{year} / (°)	Дата	RCP _{year} / (°)	Дата	RCP _{year} / (°)	Дата	RCP _{year} / (°)	Дата	RCP _{year} / (°)	Дата
1985—1989	188.52	23 – 07	182.91	18 – 07	201.57	08 – 06	188.57	24 – 07	197.96	02 – 08	198.56	03 – 08
1990—1999	162.83	27 – 06	166.87	02 – 07	183.94	07 – 19	179.70	14 – 07	194.94	03 – 07	192.23	27 – 07
2000—2012	176.45	11 – 07	171.35	06 – 07	184.15	07 – 19	178.14	13 – 07	183.64	18 – 07	179.90	14 – 07
Среднее значение	175.93	11 – 07	173.71	09 – 07	189.88	07 – 25	182.13	17 – 07	192.18	27 – 07	190.23	25 – 07

В отношении диапазона абсолютных изменений стока в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 годы (S_r) следует отметить, что время появления максимального показателя на каждой станции свое. Максимальные показатели на станциях Фэнган и Ванцао появились в 1985-1989 годах, максимальные значения станций Хуанмаоцунь, Сюэнь и Малин- в 1990-1999 годах, станция Балин достигла максимальных показателей в 2000-2012 годы. Что касается диапазона относительных изменений стока S_a , за исключением станции Балинг, максимальное значение относительного изменения

стока остальных пяти типовых гидрологических станций произошло в 1990–1999 годах. Особенно это заметно на станциях Хуанмаоцунь и Балин. В целом диапазон изменения стока на исследуемой территории в течение года имел тенденцию первоначально к росту, а затем к снижению. В последние годы разрыв между максимальным ежемесячным стоком и минимальным ежемесячным стоком в провинции Гуйчжоу постепенно сузился, а годовое распределение стока стало более равномерным.

Межгодовая аномалия и коэффициент отношения модулей. Согласно нормам гидропрогноза, в зависимости от процентного соотношения аномалий стока P и коэффициента отношения модулей стока K_p год классифицируется как год с обильным количеством осадков, год с умеренным количеством осадков или засушливый год. Среди них разница между значением в ряду стока определенного года и средним значением ряда используется для представления значения аномалии стока. Отношение значения аномалии к среднему значению ряда используется для выражения процентного отношения аномалии стока; отношение значения стока за определенный год к среднему значению ряда стока используется для выражения коэффициента модуля стока. После обработки аномалии любая последовательность может быть преобразована в последовательность со средним значением 0. Таким образом, можно сделать анализ более удобным, а результаты расчетов – более понятными. Из анализа расчета становится очевидно, что между коэффициентом модуля стока и процентом аномалии стока разница составляет единицу. Таким образом, процент аномалий стока можно использовать в качестве параметра для анализа годовых изменений стока в провинции Гуйчжоу.

С 1985 по 1989 год процент аномалий стока на станциях Фэнган, Ванцао, Малин и Балин находился в диапазоне от -10 % до 10 % - это годы с умеренным количеством воды, однако на станции Хуанмаоцунь и станции Сюэвнь наблюдались относительно засушливые несколько лет. Период с 1990 по 1999 годы на станциях Ванцао и Балин был отмечен умеренным количеством воды, на других гидрологических станциях – относительной влажностью; а в промежутке с 2000 по 2012 год показатели стоков всех 6 типовых гидрологических станций достигали нормы. Видно, что межгодовые изменения стока в провинции Гуйчжоу имеют очевидную синхронность, изменения из года в год незначительны. Что касается среднегодового стока процент аномалий стока с 1985 по 1989 год составил -5.47 %, что указывает на годы с умеренным количеством воды. Процент аномалий стока с 1990 по 1999 год составлял -10.34 %, что указывает на засушливые годы. Процент аномалий стока с 2000 по 2012 год составил -5.85 %, что указывает на годы с нормальным количеством воды. Несмотря на то, что

средний показатель стока по данным большого количества лет недостаточно точен для описания лет с обильным, умеренным и недостаточным количеством влаги, согласно положениям норм гидрологического прогноза, межгодовой уровень стока может отражаться иначе. Таким образом, из процента аномалии стока видно, что общий сток в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 год сначала увеличился, а затем уменьшился, а сток с 2000 по 2012 год сократился по сравнению с 1990-1999 годами.

Коэффициент вариации стока по исследованным станциям в провинции Гуйчжоу с 1985 по 2012 год постепенно увеличивался от станций Фэнган и Ванцао до станций Малин и Балин. Это говорит о том, что межгодовые колебания стока в южной части провинции Гуйчжоу велики, в то время как её северная часть относительно стабильна. За исключением станции Балин, максимальный сток других гидрологических станций за всю историю приходился на период до 2000 года, а минимальный сток станций Хуанмаоцунь, Сюэнь и Малин наблюдался в 2011 году.