

**ГИДРОЛОГИЯ**

*А.М. Владимиров, Чжан Гоюй*

**ОЦЕНКА СТОКА ВОДЫ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ  
С ИНТЕНСИВНЫМ РАЗВИТИЕМ  
ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*A.M. Vladimirov, Zhang Guoyu*

**EVALUATION ON RUNOFF IN ECONOMICALLY  
DEVELOPED REGIONS**

*Предложены уравнения для расчета восстановления естественного стока рек, которые использованы для построения карт осадков стока воды и определения водных ресурсов. Исследования сделаны на примере рек бассейна оз. Наньси (КНР).*

*Ключевые слова: осадки, слой стока, естественный сток, водные ресурсы.*

*This paper proposes a formula of restoring computation of natural runoff, and utilizes this formula to calculate and establish the rainfall graph and runoff graph and confirm the water resources quantity. The paper takes the Nansi lakes basin in China as example.*

*Keywords: rainfall, runoff depth, natural runoff, water resources.*

Постоянно увеличивающееся народонаселение ряда регионов Земли, особенно на Азиатской территории (Китай, Индия, Ближний Восток и др.), ведет к росту водопотребления. Увеличивается потребление воды для орошения на засушливых территориях, несмотря на развитие самых современных способов орошения. Растет водопотребление в промышленности, несмотря на увеличение замкнутых систем водоснабжения. Увеличивается население – растет питьевое и хозяйственно-бытовое потребление воды, несмотря на борьбу за экономию воды. Нехватка воды ведет к необходимости строить водохранилища или производить переброску стока из одной реки в другую. Однако при оценке водных ресурсов какой-либо территории необходимо использовать прежде всего данные о естественном стоке рек. Но чем интенсивнее развивается регион, тем труднее производить эту оценку. В общем виде речной сток будет представлен уже в форме суммы двух параметров: естественный сток реки –  $h_e$  и сток, приобретенный в результате переброски или заимствованный из водохранилища –  $h_{пр}$ .

В районах с интенсивным использованием речных вод необходимо проводить исследования руслового водного баланса, чтобы иметь достаточно надежные данные о стоке воды в различные отрезки времени и на разных участках

реки. В зависимости от местоположения створа измерений стока воды уравнение руслового водного баланса будет иметь разнообразное количество составляющих с разным знаком. Поэтому этот баланс обычно составляют для основных рек региона или конкретного речного бассейна. Для оценки общей увлажненности больших регионов с учетом условий формирования местного стока и дополнительного питания рек за счет переброски стока можно исследовать соотношения осадков речного местного стока и количества поступающей воды с внешней территории.

Главной задачей исследований являлось изучение соотношения естественного (природного) и нарушенного годового стока, оценка количества воды, какое можно изъять для хозяйственных нужд и какое необходимо оставить для сохранения экологически нормального состояния водного объекта (экологический сток).

Различные виды сельскохозяйственного и промышленного производства требуют разное количество воды. Поэтому целесообразно провести классификацию водопотребителей в бассейне озера. Основное потребление воды происходит, как и в России, для удовлетворения потребностей ирригации, точнее, для орошения. Вторым большим водопотребителем является промышленность. Третьим следует назвать питьевое и хозяйственно-бытовое водопотребление. Эти виды потребления воды дают сбросы использованной воды. Структура расчетных уравнений для оценки стока меняется не только от вида водопользования, но и от вида объекта, из которого поступает дополнительная вода – из водохранилища или в результате переброски воды из другой реки.

Примером такого региона может служить бассейн оз. Наньси, расположенный на востоке Китая между реками Хуанхэ и Янцзы. На примере этого региона можно исследовать способы оценки элементов водного баланса и определения водных ресурсов рек и озер, испытывающих очень большие нагрузки на водные системы с целью удовлетворения потребностей в воде населения, сельского хозяйства и промышленности.

Бассейн оз. Наньси занимает площадь 31,5 тыс. км<sup>2</sup> и является экономически развитым районом Китая. Так, валовой внутренний продукт в 2009 г. составил 80 млрд долл. Этот район обеспечивает водой 22 млн человек. В ортографическом отношении территория бассейна делится на две части: большую – равнинную (западная часть) и меньшую – равнинно-возвышенную (восточная часть). Озеро Наньси является самым большим пресным озером на востоке Китая, его площадь – 1270 км<sup>2</sup>. На севере бассейн оз. Наньси граничит с бассейном р. Хуанхэ, на юге заканчивается выходом к каналу, идущему к р. Хуайхэ.

На территории бассейна насчитывается 91 река, 10 рек имеют длину от 50 до 100 км, 3 реки – от 101 до 200 км. В бассейне действуют 50 метеорологических постов, 21 речной гидрологический пост, 6 постов на шлюзах и 4 озерных поста (рис. 1). На востоке от оз. Наньси расположены бассейны рек площадью от 114 до 1542 км<sup>2</sup>, а на западе – бассейны равнинных рек площадями от 445 до 5988 км<sup>2</sup>.

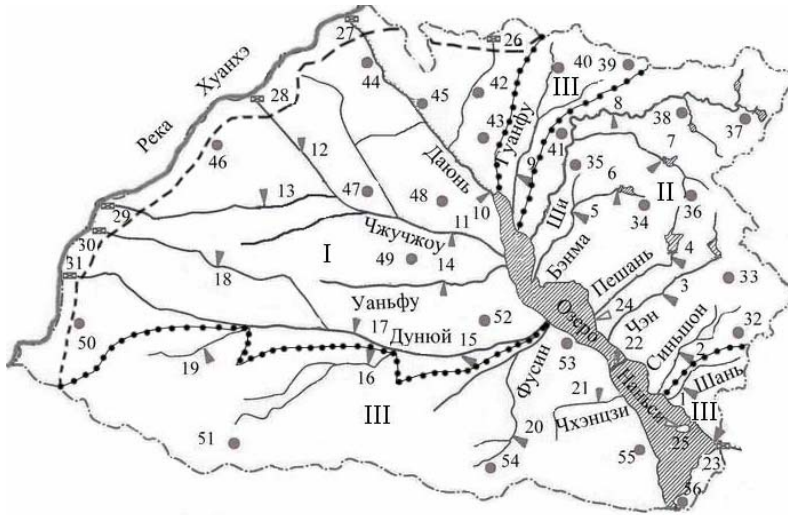


Рис. 1. Схема расположения пунктов бассейна оз. Наньси.

● – метеорологический пункт, ▼ – гидрологический пункт, ▽ – озерный пункт, □ – пункт на шлюзе, ... – границы районов, --- – граница водораздела р. Хуанхэ.

На большинстве рек рассматриваемой территории естественный сток нарушен в результате переброски воды из р. Хуанхэ или устройства водохранилищ, помимо выше указанных причин. Поэтому большое значение имеет надежность гидрометрических данных, получаемых при измерениях и последующих расчетах. Основные трудности при определении надежности данных возникают при определении водопотребления. Большое количество водозаборов и сбросов существенно усложняет оценку общего водозабора или сброса в бассейне конкретной реки.

В общем виде речной сток исследуемой территории можно представить в следующем виде:

$$h_e - h_o - h_{п} - h_{хб} - h_{ив} + h_v + h_x = h_n, \quad (1)$$

где  $h_e$  – естественный сток;  $h_o$  – сток, забираемый на орошение;  $h_{п}$  – сток, забираемый промышленностью;  $h_{хб}$  – сток, забираемый на хозяйственно-бытовые нужды;  $h_{ив}$  – потери воды на испарение из водохранилищ;  $h_v$  – возвратные воды;  $h_x$  – приток воды из р. Хуанхэ;  $h_n$  – наблюдаемый сток в створе измерений.

За рассматриваемый период потери воды на орошение происходили ежегодно. Система орошения практически не менялась. Поэтому значения  $h_o$  могут быть приняты как средние за весь период. Учет забора речных вод на промышленное водоснабжение происходит лишь для больших производств. Водозаборы для питьевого и хозяйственно-бытового назначения учитываются также в основном для больших населенных пунктов. Потери на испарение с поверхности водохранилищ могут быть приняты по данным об испарении с оз. Наньси при наблюдениях на постах гидрометслужбы. Данные о количестве возвратных вод

могут быть рассчитаны воднобалансовым методом. Наиболее надежными являются данные о притоке воды из р. Хуанхэ по результатам измерения на шлюзах.

В зависимости от преобладающего использования вод уравнение (1) будет несколько изменяться. Большая часть рассматриваемой территории находится под влиянием вод р. Хуанхэ, поскольку основные реки этого района (рис. 1, район I) в верховьях связаны с ней через каналы и шлюзы. Уравнение руслового водного баланса для основных рек этого района, связанных с р. Хуанхэ, будет:

$$h_e + h_x - \sum h_o - \sum h_n - \sum h_{xб} + h_b = h_n. \quad (2)$$

В уравнении учтены суммарные оттоки воды на орошение, промышленное и хозяйственно-бытовое потребление. Естественный сток в конкретном створе можно определить по уравнению:

$$h_e = h_n + \sum h_{от} - \sum h_b - h_x, \quad (3)$$

где  $h_{от}$  – суммарный отток воды из русла.

Для восточной части исследуемой территории (рис. 1, район II), где на реках имеются водохранилища, естественный сток рек можно оценить по уравнению

$$h_e = h_n + \sum h_{от} - \sum h_b + h_{ив}, \quad (4)$$

где  $h_{ив}$  – потери воды на испарение из водохранилищ.

При сезонном и более коротком сроке регулирования стока водохранилищами в уравнении появляется еще один параметр ( $h_{вд}$ ), показывающий изменение стока из водохранилища в результате сброса воды или ее задержание в водохранилище

$$h_e = h_n + \sum h_{от} - \sum h_b + h_{ив} \pm h_{вд}. \quad (5)$$

В районе III отсутствуют водохранилища и переброска стока, поэтому уравнение руслового водного баланса несколько упрощается

$$h_e = h_n + \sum h_{от} - \sum h_b. \quad (6)$$

Это же уравнение применяется для аналогичных случаев в предшествующих районах.

Приведенные выше уравнения были использованы для восстановления естественного (природного) стока рек на базе данных Управления водных ресурсов бассейна оз. Наньси.

Непрерывные ряды наблюдений за стоком и осадками насчитывают 40 лет (с 1968 по 2007 г.). Анализ нормированных разностных интегральных кривых слоя осадков (рис. 2, а) показал, что в период с 1968 по 2007 г. наблюдается один цикл водности – с 1975 по 2007 г., состоящий из маловодной и многоводной фаз.

Самым многоводным годом был 1975 г., а самым маловодным – 2002 г. Анализ нормированных разностных интегральных кривых расходов воды для всех постов (рис. 2, б) показал, что в целом характерны синхронные колебания

стока, которые повторяют аналогичные колебания слоя осадков. Поэтому для исследований использованы данные об осадках и стоке за период 1975–2007 гг. В табл. 1 приведены гидрометеорологические данные для речных бассейнов.

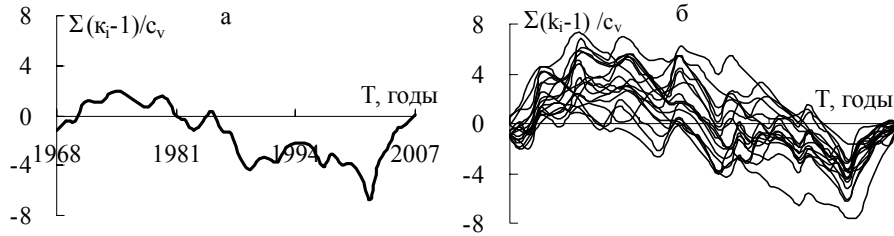


Рис. 2. Нормированные разностные интегральные кривые слоя осадков (а) и наблюдаемых расходов воды для всех постов бассейна оз. Наньси (б) за период 1968–2007 гг.

Таблица 1

Морфометрические и гидрометеорологические данные рек бассейна оз. Наньси за период 1975–2007 гг.

Название реки	Номер поста	Название поста	Площадь $F$ , км <sup>2</sup>	Длина главной реки $L$ , км	Средняя высота водосбора $H_{cp}$ , м	Средние годовые осадки $P_{cp}$ , мм	Естественный слой стока $h$ , мм
Шань	1	Хунчэн	260	27	63	764	177
Синьшон	2	Цэхудань	681	38	104	759	223
Чэн	3	Тынся	605	40	111	751	222
Пешань	4	Махэ	213	21	113	728	216
Бэнма	5	Марю	619	40	67	694	92
	6	Хинуань	114	13	85	715	145
Ши	7	Нишань	254	26	109	727	204
	8	Сууань	1542	63	98	711	191
Гуанфу	9	Хуачжуан	1027	68	56	663	72
Даюнь	10	Хонин	3725	89	40	635	62
Чжучжоу	11	Ряшаньца	4236	112	42	620	57
	12	Лунчжуан	520	31	45	589	41
	13	Уырю	796	63	47	601	46
Уаньфу	14	Сичжуан	1199	54	43	657	64
Дунной	15	Инчэн	5988	151	48	636	59
	16	Хуансин	1021	66	46	649	66
	17	Чжанчжуан	3934	116	51	618	52
	18	Мачжуан	755	55	54	598	47
	19	Линмян	938	47	55	605	52
Фусин	20	Фунся	936	25	42	687	84
Чжэнцзи	21	Пынся	445	27	39	697	96

Анализ табл. 1 показывает, что значения среднемноголетнего годового слоя стока изменяются на рассматриваемой территории от 41 до 223 мм. При этом слой стока на востоке бассейна в 2–3 раза больше, чем на западе бассейна. Хотя осадки изменяются по территории лишь на 175 мм.

Распределения осадков по территории бассейна оз. Наньси показано на рис. 3, а.

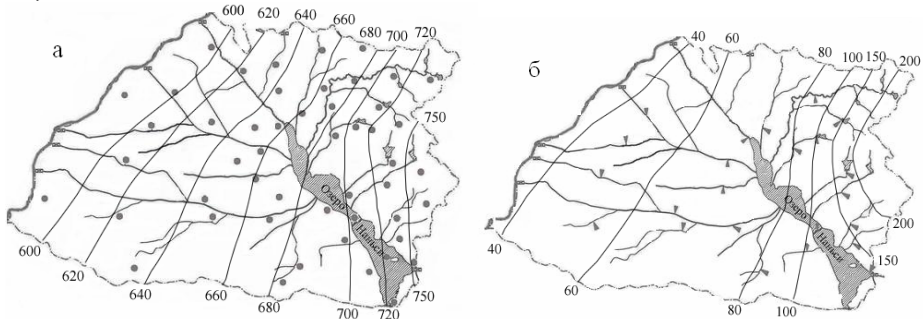


Рис. 3. Схематические карты среднемноголетнего слоя осадков (а) и слоя стока (б) (мм) для бассейна оз. Наньси за период 1975–2007 гг.

Вычисление средних по водосбору осадков производилось с учетом площадей, тяготеющих к метеостанциям. Исследовано влияние возвышенностей, находящихся в районе II, на выпадение осадков. На рис. 4 показан график связи выпадающих годовых осадков со средней высотой водосбора. Анализ графика показывает, что наибольшее количество осадков выпадает именно в районе II.

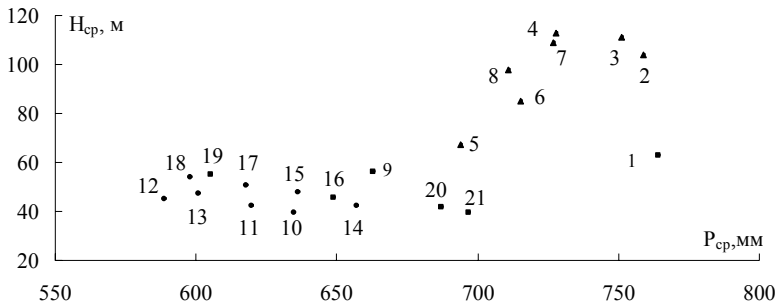


Рис. 4. Связь осадков  $P_{cp}$  со средней высотой водосбора  $H_{cp}$  в бассейне оз. Наньси

Направление изогьет и их изменение по территории соответствуют общему характеру изменения изогьет, приведенному в Атласе 1974 г. [Атлас..., 1974; Мировой водный..., 1974]. Однако значения изогьет в Атласе колеблются для рассматриваемой территории около 500 мм против среднего значения в данном исследовании в 660 мм.

Исследование изменений речного стока по территории бассейна оз. Наньси показывает, что значения среднемноголетнего естественного годового стока рек

меняются в соответствии с изменением осадков. Наибольшие значения стока имеются в районе II, достигающие 200 мм, а наименьшие (40 мм) в долине р. Хуанхэ (рис. 3, б). В указанном Атласе [Атлас..., 1974; Мировой водный..., 1974] изолинии стока имеют такое же направление, но их значение меняется от 60 до 20 мм.

Влияние возвышенностей на сток рек проявляется так же существенно, как и на осадки, что показано на рис. 5.

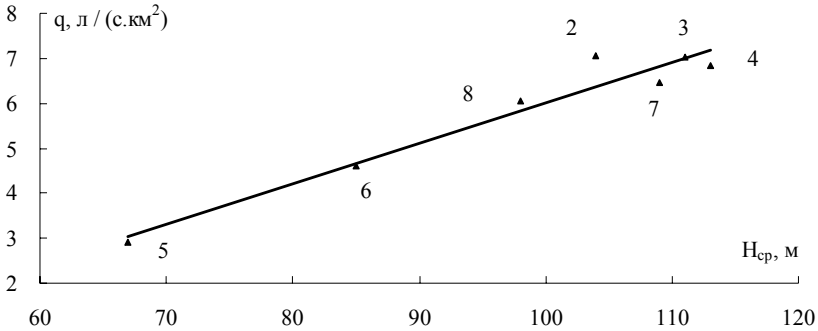


Рис. 5. Связь модуля годового стока  $q$  со средней высотой водосбора  $H_{cp}$  для района II

Исследование связи годового стока с площадью водосбора показывает наличие достаточно четкой зависимости стока от размеров площади. На рис. 6 представлены графики связи для всех трех районов, выделенных на рис. 1. Связь является весьма тесной с коэффициентами корреляции  $r = 0,81 - 0,85$ . Поэтому её можно описать уравнением  $Q = a F$ , определив значения  $a$  для района I, равное 0,0019, для района II – 0,0055 и для района III – 0,0023.

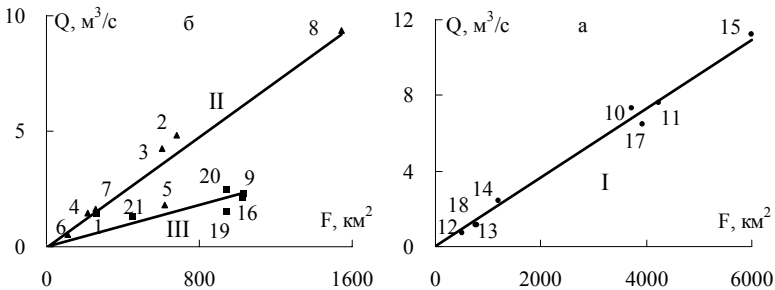


Рис. 6. Связь годового стока с площадью водосбора для района I (а) и районов II, III (б). 2 – номер поста, I – номер района

Тесная связь расходов воды с площадью водосбора позволяет использовать её для определения стока неизученных рек или их частей. В табл. 2 показаны результаты расчетов при использовании карты изогийет и уравнения  $Q = a F$  для определения среднего по району стока воды.

Сумма ресурсов среднемноголетних поверхностных вод бассейна оз. Наньси за период 1975–2007 гг. составила 2,71 км<sup>3</sup>, или 130 м<sup>3</sup> в год на душу населения.

**Расчетные нормы стока воды бассейна оз. Наньси за период 1975–2007 гг.**

Название района	Площадь $F$ , км <sup>2</sup>	Осадки $P$ , мм	Расход воды $Q$ , м <sup>3</sup> /с	
			Рис. 3	Рис. 6
Район I	14 500	634	27,3	27,6
Район II	6800	712	36,4	37,4
Район III	8930	663	22,4	20,5
Бассейн оз. Наньси	30 230	660	86,1	85,5

**Литература**

1. Атлас мирового водного баланса Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1974.
2. *Владимиров А.М.* Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990, с. 139-143.
3. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли (Атлас). – Л.: Гидрометеиздат, 1974.