

ВОПРОСЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ И ОХРАНА ПРИРОДНЫХ ВОД

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
(Межвузовский)

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. И. КАЛИНИНА

ЛЕНИНГРАД
1986

Вопросы гидрологических расчетов и охрана природных вод. Межвузовский сборник научных трудов. Л., изд. ЛПИ, 1986, вып. 94, с. 165. (ЛГМИ).

Сборник посвящен вопросам расчета различных гидрологических характеристик. Значительное внимание уделено методике расчета минимального стока на территории ЕТС; приведены разработки, связанные с гидрологическим районированием и расчетами максимального дождевого стока на территории Северной Кореи. В ряде статей рассматриваются вопросы изменчивости уровней озер, распределения годового стока, влияние деятельности человека на водный режим.

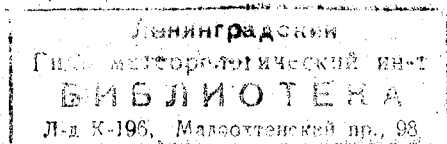
Целый ряд статей посвящен вопросам охраны природных вод, влиянию на них антропогенной деятельности.

Сборник рассчитан на специалистов гидрологов, аспирантов и студентов гидрометеорологических специальностей.

Табл. 23. Илл. 51. Библ. 142.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

проф. А. М. Владимиров, ответственный редактор (ЛГМИ), доц. В. Г. Орлов (ЛГМИ), проф. С. А. Чечкин (ЛГМИ), проф. Н. В. Разумихин (ЛГУ), канд. техн. наук Б. М. Доброумов (ГГИ), канд. геогр. наук Ф. А. Иманов, ответственный секретарь (ЛГМИ).



339796

А. М. ВЛАДИМИРОВ, В. С. ДРУЖИНИН (ЛГМИ),
И. И. ПАРИНОВ (Гидропроект), М. В. ПАРЛОВ (ДиксонУГКС)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК ЕТС В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ СЕЗОН

Важность исследований характеристик минимального летне-осеннего стока, их изменения во времени и пространстве возрастает с каждым годом. Меженный сток является лимитирующим для многих отраслей народного хозяйства: промышленности, энергетики, судоходства и др. Особую роль низкий сток играет при проектировании водоохранных мероприятий, так как именно в эти периоды способность водотоков к разбавлению сточных вод и самоочищению наименьшая. В то же время в период межени происходит наибольший забор воды на нужды орошения и водоснабжения, особенно в зоне недостаточного увлажнения.

Существующие в настоящее время методы расчета характеристик минимального стока базируются на использовании аппарата математической статистики. Правильность его применения, а следовательно, и надежность получаемых результатов определяются прежде всего структурой рядов, в зависимости от которой должны использоваться те или иные методы статистической обработки.

Анализ и обобщение данных о структуре рядов минимальных летне-осенних среднесуточных расходов воды производился по 77 створам на реках бассейнов Белого, Баренцева и Балтийского морей, 57 створам на реках бассейна Каспийского моря и 94 створам на реках бассейнов Черного и Азовского морей. В целом по Европейской территории Союза было использовано 228 рядов с продолжительностью наблюдений более 30—40 лет. Основное число водосборных бассейнов (70—80%) относится к категории средних с диапазоном площадей 1000—50000 км², сток которых по территории изменяется зонально. Большинство из рассматриваемых рядов (60%) имеют период наблюдений 40—60 лет.

Ряды минимальных расходов воды исследовались на случайность и независимость их формирования, однородность и внутрирядную связность. При этом использовались статистиче-

ские критерии проверки гипотез. Все расчеты производились на ЭВМ по программам, имеющимся в Государственном гидрологическом институте.

Проверка гипотезы о случайности и независимости формирования рядов минимальных летне-осенних среднесуточных расходов производилась при помощи критериев общего числа и максимальной длины серий. Эти статистические критерии основаны на сопоставлении указанных характеристик ряда с выборкой той же продолжительности, составленной из случайных и независимых величин. При этом были исследованы повторяемость и продолжительность серий различной водности в колебаниях минимальных расходов в рассматриваемый сезон. Группировки повышенной и пониженной водности оценивались по отношению к медиане многолетнего ряда.

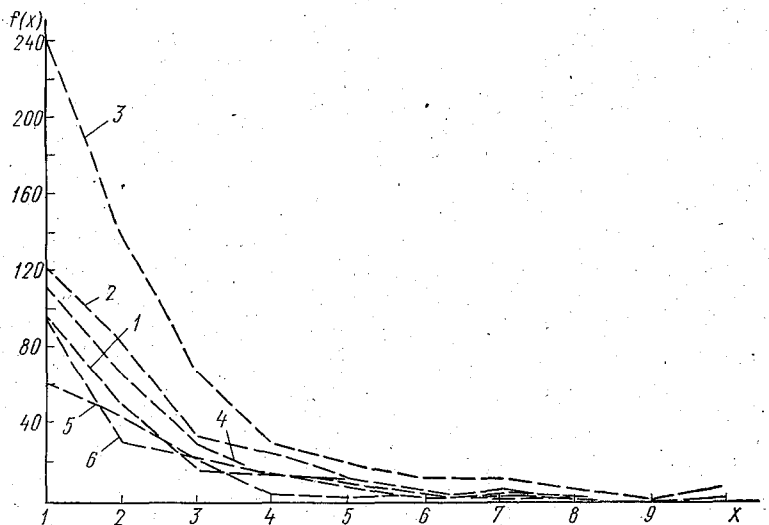
Из анализа полученных результатов следует, что повторяемость группировок для всей рассматриваемой территории уменьшается с увеличением их продолжительности. В частности, для рек бассейнов Белого, Баренцева и Балтийского морей наибольшее число серий 727 из 1557 составляют группировки длительностью в один год (46% от общего числа); в два года — 413 (26%) и в три года — 195 (12%), на долю более продолжительных серий приходится около 16% от их общего числа. Наибольшее число группировок продолжительностью 10 лет и более отмечено на реках побережья Финского и Рижского заливов до устья р. Западной Двины (8 серий). Всего таких серий по всем бассейнам — 15. Полное отсутствие таких группировок наблюдается на севере ЕТС — на Кольском полуострове и в Карелии, а также на реках от Северной Двины до Печоры включительно. Наглядное представление об этом дает гистограмма вероятностей появления серий повышенной водности, приведенная на рисунке.

Для рек бассейна Каспийского моря из общего числа серий 1048, группировки в один год составляют 445 (42%), в два года 225 (21%) и в три года 130 (12%). На долю более продолжительных группировок приходится 25% от их общего количества. Группировок длительностью 10 лет и более насчитывается 26, причем большинство из них (16) относятся к Верхне-Волжскому району.

Для рек бассейнов Черного и Азовского морей продолжительность серий в один год составляет 45% от общего числа, серий в два года 20—25% и серий в три года 12—15%. Наибольшее число серий в 10 лет и более встречаются на реках Среднего и Нижнего Поднепровья — 11; Донского района — 9; Белоруссии и Верхнего Поднепровья, а также Украины и Молдавии по 6. В целом по бассейнам этих морей подобные группировки составляют около 15% от общего числа.

Произведенные расчеты позволяют выполнить анализ исследуемых рядов с точки зрения случайности и независимости их

формирования путем сопоставления общего числа и длин серий имеющих выборки с теоретическими значениями, свойственными случайным статистическим совокупностям. Критерий максимальной длины серий можно рассчитывать, используя закон распределения Пуассона [3]



Гистограмма вероятностей появления серий повышенной и пониженной водности различной продолжительности (λ):

1 — реки Кольского полуострова и Карелии; 2 — реки бассейнов Онеги и Северной Двины; 3 — реки бассейна Финского и Рижского заливов до устья Западной Двины; 4 — реки от Сев. Двины до Печоры включительно; 5 — реки бассейна Зап. Двины и побережья до устья р. Неман; 6 — реки бассейна р. Неман до государственной границы.

$$k = \frac{\lg \left[-\frac{n}{\ln(1-\alpha)} \right]}{\lg 2} - 1,$$

где n — число членов ряда; α — уровень значимости в долях от единицы; $k = k_{\max}$ — максимальная длина серий ряда.

Критическое общее число серий определяется по уравнению

$$R = \frac{1}{2} (n + 1) - U_{\alpha} \sqrt{n - 1},$$

где U_{α} — нормированное отклонение от среднего случайной величины R , распределенной по нормальному закону при α -процентном уровне значимости; R — общее число серий.

Проверка рядов по этим критериям основана на нулевой гипотезе об отсутствии внутрирядных связей. В качестве основного был принят пятипроцентный уровень значимости, но дополнительно оценка производилась при $\alpha = 1$ и 10%.

Как показал анализ результатов расчета для северных рек, гипотеза о случайности и независимости опровергается для 9

створов по критерию общего числа серий и для 12 по критерию максимальной длины. Причем в основном это реки бассейна Балтийского моря и лишь две из них относятся к бассейну Белого моря. Для Кольского полуострова, Карелии и для рек от Северной Двины до Печоры включительно все исследуемые ряды оказались случайными. По бассейну Западной Двины и побережью Балтики до устья р. Немана зафиксирован только один пункт, для которого данная гипотеза опровергается. Таким образом, для северных рек ряды минимальных среднесуточных летне-осенних расходов представляют собой в основном совокупности, составленные из случайных и независимых величин.

Для рек бассейна Каспийского моря большинство рядов (67%) оказались не соответствующими гипотезе случайности и независимости, причем более жестким оказался критерий максимальной длины серий. В действительности, в соответствии с принятым в гидрологии предположением, что стоквые ряды обладают свойством эргодичности, этот критерий является излишне жестким, так как появление длинных серий равновероятно в любой из выборок и не противоречит гипотезе о случайности и независимости данного ряда. В Нижнем Поволжье только один ряд оказался случайным, в Верхне-Волжском районе гипотеза о случайности и независимости опровергается для 62% рядов, а в бассейне реки Камы для 67%. Для рек бассейнов Черного и Азовского морей гипотеза о случайности и независимости рядов минимальных расходов опровергается примерно в 40% от общего числа исследуемых совокупностей. Наибольшее число неслучайных последовательностей отмечено в Белоруссии и Верхнем Поднепровье (62%), Среднем и Нижнем Поднепровье (56%), в районе бассейнов рек Дона и Северского Донца (46%). Таким образом, в отличие от северных районов на юге ЕТС почти для половины пунктов наблюдения за минимальными летне-осенними среднесуточными расходами воды гипотеза о случайности и независимости этих рядов опровергается.

Поскольку проверка гипотезы о случайности и независимости рядов минимальных летне-осенних среднесуточных расходов воды показала, что для значительной части рядов гипотеза должна быть опровергнута, было исследовано наличие в них внутрирядной связности путем расчета автокорреляционных функций

$$r(\tau) = \frac{\sum_1^{\tau} (x_i - \bar{x}_i) (x_{i+\tau} - \bar{x}_{i+\tau})}{\sigma_{i+\tau} (n - \tau - 1)},$$

где n — число членов исходного ряда; τ — величина сдвига; x_i и $\bar{x}_i$ — значения членов ряда от x_1 до $x_{n-\tau}$ и от $x_{1+\tau}$ до x_n ;

$x_{i+\tau}$, σ_i , $\sigma_{i+\tau}$ — средние и их среднеквадратические отклонения соответствующих отрезков ряда.

Оценка значимости ординат автокорреляционных функций производилась по Р. А. Фишеру на основании t -распределения с $(n-2)$ степенями свободы [1]. Учитывая невысокую точность расчета ординат этой функции при больших τ и то обстоятельство, что для стоковых рядов наибольший интерес представляют коэффициенты автокорреляции между смежными членами ряда, на данном этапе работы анализировались первые ординаты автокорреляционных функций $r(1)$. Как показал анализ величин $r(1)$ для рек бассейнов Белого, Баренцева и Балтийского морей, количество статически значимых $r(1)$ составляет около 15%, т. е. исследуемые ряды представляют собой в основном выборки, состоящие из случайных и независимых величин. Для рек бассейна Каспийского моря 36 рядов (63%) имеют значимую связь между смежными числами ряда, причем в 31 случае весьма значимую (с вероятностью 99%). Величины значимых коэффициентов автокорреляции лежат в пределах от 0,26 до 0,76. Наибольшее их число — 48% имеет величину 0,21—0,40 и лишь 12% превышают 0,61. При более детальном рассмотрении по территории можно отметить, что в Верхне-Волжском районе наибольшее число значимых $r(1)$ лежит в пределах 0,21—0,40 (45%). Для бассейна реки Камы равное количество значимых $r(1)$ по 44% лежат в пределах 0,21—0,40 и 0,41—0,60. В нижнем Поволжье максимальное значение $r(1)$ равняется 0,50, но в 83% случаев $r(1)$ превышает величину 0,41. Доля значимых коэффициентов связи по отдельным районам составляет 73, 45 и 86% соответственно.

Для рек бассейнов Черного и Азовского морей около 50% исследуемых рядов имеет значимые коэффициенты автокорреляции. Наибольшее их количество приходится на районы Западной Украины и Молдавии — 78%, Донского района — 71%, Среднего и Нижнего Поднепровья — 56%. Наименьшее по районам Крыма и Северного Кавказа 27%. Численные значения коэффициентов автокорреляции смежных лет лежат в диапазоне от — 0,43 до 0,95. Из них 46% превышают величины 0,31 и 23% превышают значения 0,5. Если рассматривать отдельно по районам, то для Западной Украины и Молдавии количество $r(1) > 0,31$ составляет 78% от всех значений, для Донского района 71%, Среднего и Нижнего Поднепровья — 44%. Для рек Северного Кавказа и Крыма это значение составляет 25%, а для Западного Кавказа 18%.

Несомненный интерес представляет то обстоятельство, что практически все значения $r(1)$ по исследуемой территории положительны. Это в свою очередь не является характерным для случайных выборок с $r(1) = 0$.

При использовании аппарата математической статистики в гидрологических расчетах важно также знать являются ли име-

ющиеся выборки стационарными (однородными), так как использование теоретических кривых распределения, строго говоря, возможно только в том случае, если эти совокупности сформированы из качественно однородных и независимых элементов.

В практике гидрологических расчётов оценка однородности производится обычно путем сравнения различных статистических характеристик. Статистические критерии однородности разработаны для независимых случайных величин, но как это было показано выше далеко не все ряды минимальных среднесуточных расходов удовлетворяют этому условию. Как известно внутрирядная корреляция уменьшает объем независимой информации, что приводит к увеличению диапазона колебаний выборочных значений параметров и, вытекающему отсюда расширению доверительного интервала. В последнее время появились работы, позволяющие производить оценку однородности для рядов, имеющих внутрирядную связь между смежными членами ряда [2].

В настоящей работе оценка однородности производилась с учетом этого обстоятельства при помощи параметрических критериев Стьюдента — Госсета для оценки однородности средних значений двух полупериодов:

$$t = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{n_x \sigma_x^2 + n_y \sigma_y^2}} \sqrt{\frac{n_x n_y (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}},$$

где $\bar{x}$ и σ_x^2 — средние и дисперсии первой и $\bar{y}$ и σ_y^2 второй половины ряда наблюдений, и Фишера:

$$F = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_x^2},$$

σ_x^2 , σ_y^2 — дисперсии первой и второй половины исследуемого ряда, причем $\sigma_y^2 > \sigma_x^2$.

Кроме вышеназванных использовался непараметрический критерий Колмогорова — Смирнова, основанный на сравнении эмпирических функций обеспеченности, сравниваемых полупериодов:

$$\lambda = \max |P_1(x) - P_2(x)| \sqrt{\frac{n}{2}},$$

где $P_1(x)$, $P_2(x)$ — эмпирические функции обеспеченности; n — число членов ряда.

В результате проверки гипотезы об однородности средних и дисперсий оказалось, что для рек бассейнов Белого, Баренцева и Балтийского морей около 15% рядов являются неоднородными по средним и около 20—25% по дисперсиям. Наибольшее число рядов, для которых гипотеза об однородности по дисперсиям опровергается, приходится на реки Финского и Рижского заливов до устья Западной Двины.

Из анализа результатов проверки гипотезы однородности рядов минимальных расходов, произведенного при 5%-ом уровне значимости для бассейна Каспийского моря следует, что 45% рядов не удовлетворяют гипотезе. Наибольшая часть рядов, для которых гипотеза однородности опровергается относятся к Верхне-Волжскому району — 53%, в бассейне р. Камы их насчитывается 38% и в Нижнем Поволжье — 29%.

Для рек бассейнов Черного и Азовского морей около 30% рядов оказались нестационарными по средним, причем наибольшее количество отмечено для районов Белоруссии и Верхнего Поднепровья 54%, а также для бассейнов Северного Донца 69%. Доля рядов неоднородных по дисперсиям составила 47% в целом по бассейнам Черного и Азовского морей. Причем для района Белоруссии и Верхнего Поднепровья количество рядов для которых гипотеза о неоднородности по дисперсиям опровергается составляет 62%, Среднего и Нижнего Поднепровья — 63%, Приазовья и Северного Донца — 85%.

Обобщая полученные результаты в целом по Европейской территории Союза можно отметить, что для северных рек, т. е. рек бассейнов Белого, Баренцева и Балтийского морей ряды минимальных среднесуточных летне-осенних расходов представляют собой, в основном, однородные совокупности, состоящие из случайных и независимых величин. Для рек бассейнов Каспийского и Азовского морей количество рядов, представляющих собой неоднородные выборки, имеющие значимую связь между смежными членами ряда значительно возрастает и достигает 40—60% от их общего количества, а по отдельным районам 60—80%. Для объяснения физических причин нарушения однородности, появления значимых внутрирядных связей и т. д. в каждом конкретном случае требуется тщательный генетический анализ, который не всегда возможен из-за отсутствия необходимых данных. Однако, основываясь на полученных статистическим путем результатах по большому числу пунктов наблюдений, расположенных на обширной территории, можно предположить, что в засушливых районах и зоне недостаточного увлажнения, где минимальный сток формируется главным образом за счет глубоких грунтовых вод, обладающих большой инерционностью, характерно наличие рядов со значимой внутрирядной связностью. Для рек зоны достаточного и избыточного увлажнения, где летне-осенняя межень часто прерывается дождевыми паводками, ряды минимального стока в основном представляют собой последовательности случайных и независимых величин. Значительную роль в формировании структуры рядов летне-осенних минимальных расходов играет хозяйственная деятельность человека, так как наибольшее количество неоднородных рядов приходится на урбанизированные районы с высоко развитым сельским хозяйством.

Таким образом, произведенное исследование позволяет составить представление о структуре рядов минимальных летне-осенних расходов рек Европейской территории СССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закс Л. Статистическое оценивание. — М.: Статистика, 1976. — 598 с.
2. Рождественский А. В., Сахарюк А. В. Обобщение критериев однородности Стьюдента и Фишера на случай коррелированных во времени и пространстве гидрологических характеристик. — Труды ГГИ, 1981, вып. 282, с. 51—71.
3. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 424 с.

УДК 556.048

И. Ф. ГОРОШКОВ, В. М. САКОВИЧ (ЛГМИ)

ВЛИЯНИЕ ОЗЕР НА МИНИМАЛЬНЫЙ ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ СТОК

Вопрос о влиянии озерного регулирования на величину минимального стока рек вызывает интерес исследователей. Причиной этого является несомненная зависимость минимального стока рек от озерности водосборов. Многие гидрологи, в разное время, обращались к исследованию этого вопроса. Однако до сих пор отсутствует достаточно полное решение, позволяющее дать количественную оценку влияния озерности при расчетах минимального стока неизученных рек.

В работах [1, 6, 7] были предложены формулы для расчета средних многолетних значений минимального суточного стока рек с учетом влияния озерности. Анализ этих зависимостей был проведен А. А. Соколовым [6]. В формулах Н. Д. Антонова и А. А. Соколова величина минимального суточного стока зависит от площади водосбора реки и его озерности. Эти две формулы носят универсальный характер и предлагались для расчета норм минимального суточного стока как озерных, так и неозерных рек.

Как показали исследования А. М. Владимирова [3, 4], процесс формирования минимального стока имеет очень сложный характер, существенно зависит от физико-географических условий, факторов подстилающей поверхности и значительно меняется даже в одних и тех же регионах. Поэтому стремление к разработке универсальной формулы для расчета характеристик минимального стока с учетом озерности водосборов неизбежно ведет к снижению точности рассчитанных величин. Кро-

ме того, формулы перечисленных авторов были получены по материалам наблюдений за стоком в тех районах, где минимальный суточный сток соответствует зимнему периоду. Это не отвечает существующей в настоящее время практике расчетов минимального стока, когда расчет ведется отдельно для зимнего и летне-осеннего периодов.

В «Указаниях по расчету минимального стока» СН 346-66 рекомендовалась формула, предложенная В. А. Барановым и Л. Н. Поповым [2]:

$$\bar{Q}_{\text{оз.м}} = \bar{Q}_{\text{з.м}} + 0,37 \beta \bar{Q}, \quad (1)$$

где $\bar{Q}_{\text{оз.м}}$ — минимальный месячный (30-дневный) среднемноголетний зимний расход воды озерной реки; $\bar{Q}_{\text{з.м}}$ — минимальный месячный среднемноголетний зимний расход воды неозерной реки; $\bar{Q}$ — среднемноголетний годовой расход воды; $\beta = \frac{S}{W}$ — относительная емкость озера; S — емкость озера, в пределах многолетней амплитуды колебаний уровня воды; W — средняя многолетняя величина притока в озеро.

В «Указаниях по определению расчетных гидрологических характеристик» СН 435-72 рекомендовалась аналогичная зависимость, в которой вместо средних многолетних значений минимального стока озерной и неозерной рек использовались соответствующие величины стока 80%-ной обеспеченности. Обе рекомендовавшиеся ранее формулы можно применять только для расчета минимального стока в зимний период. Использование в них показателя относительной емкости озера не позволяет производить расчеты для рек, на водосборах которых имеются неисследованные озера. В результате в издании «Определение расчетных гидрологических характеристик» — СНиП 2.01.14-83, в соответствии с работами [3, 4], для рек, имеющих озерность до 3—5%, рекомендуется использовать ту же зависимость, что и для неозерных рек, а для рек с большей озерностью применять метод аналогии. Рекомендации по количественной оценке влияния озерности отсутствуют.

Учитывая изложенные обстоятельства и тот факт, что в настоящее время существует хорошо разработанная методика расчета характеристик минимального стока рек, влияние озерности целесообразно оценивать в виде поправки к величинам, рассчитанным по методу, изложенному в [4]. В этом отношении заслуживает внимания формула, предложенная В. А. Урываевым [7]:

$$m_{\text{сут}} = 0,18 M_0 + 0,014 f_0 M_0, \quad (2)$$

где $m_{\text{сут}}$ — среднее многолетнее значение минимального суточного модуля стока; M_0 — модуль годового стока; f_0 — озерность водосбора в процентах, и соответствующая ей по структуре

формула (1). Первые члены этих уравнений характеризуют среднегодовую величину минимального суточного стока рек при отсутствии озер, а вторые — величину изменения стока в результате влияния озер.

Нами исследовалась возможность применения зависимостей, аналогичных формулам (1) и (2), для оценки влияния озер на норму не только зимнего, но и летне-осеннего минимального стока рек с целью наметить пути количественной оценки такого влияния. Для этого была выбрана наиболее простая зависимость вида (2). Основным недостатком этой формулы, как было показано А. А. Соколовым в [6], является то, что она не учитывает влияние площади водосбора рек. Это, несомненно, снижает ее точность, но качественная картина влияния озер отражается хорошо.

Анализ проводился для 34 створов, расположенных в Карелии и на северо-западе ЕТС. Сходство климатических и географических условий позволяет считать, что модули годового стока на всех реках не зависят от площади водосборов и их озерности. Основные характеристики водосборов приведены в

Величины относительных модулей летне-осеннего минимального (месячного) стока некоторых водосборов

№ п/п	Река—пункт	Площадь водосбора, км ²	Озерность, %	Средний модуль л/(с·км ²)		Относительный модуль стока
				годовой	минимальный	
1	Паша—с. Часовенское	5710	1	10,8	3,1	0,28
2	Шуя—п. Бесовец	9560	10	9,5	5,4	0,57
7	Утроя—п. Б. Губа	2970	2	5,1	1,3	0,25
8	Ловать—г. В. Луки	3270	6	5,7	2,1	0,36
9	Суна—пгт. Поросозеро	3370	14	10,6	8,1	0,76
10	Кереть—ж/д мост	2560	18	8,9	7,1	0,80
14	Саба—д. Райково	1280	2	6,6	1,5	0,23
15	Шомба—п. Шомба	1030	8	9,2	4,6	0,49
16	Поньгома—д. Поньгома	1220	11	9,0	5,3	0,59
17	Сяньга—п. Чуралахта	1610	23	8,7	6,9	0,79
25	Поломь—с. Яжелбицы	631	3	10,1	2,6	0,25
26	Гороховка—с. Токарево	700	9	10,5	5,2	0,49
27	Ногейс—йоки-с. Лув-озеро	759	16	10,1	6,8	0,68
32	Льста—д. Глазатово	122	2	9,8	2,2	0,22
33	Яндеба—п. Яндеба	280	3	10,8	2,9	0,26
34	Черная—д. Семашко	293	9	11,0	4,3	0,39

таблице. Величина озерности водосборов изменяется от 1 до 23%, а диапазон площадей — от 122 до 9560 км². При расчете среднегодовых величин годового и летне-осеннего мини-

мального стока использовались ряды совместных наблюдений с 1955 по 1980 г.

На рис. 1 показана зависимость относительных модулей минимального летне-осеннего месячного стока ($m_{\text{мес}}$) от степени озерности (f_0 , %). Относительные модули стока определены как отношение среднего многолетнего минимального месячного стока к среднему многолетнему годовому стоку. Аналогичные зависимости, приводимые в работах [2, 7], имеют линейный характер во всем диапазоне изменения величины озерности. В условиях внутригодового распределения стока это не отвечает физическому характеру процесса. Если проэкстраполировать связь, предложенную В. А. Урываевым, до озерности 50% и больше, то соответствующий минимальный сток будет равен годовому стоку и даже превышать его. Это возможно только в отдельные годы для летне-осеннего минимального стока. На рис. 1 это отражено изменением характера связи при больших значениях озерности. Линия связи проведена с учетом того, что относительные модули стока ни в одном из случаев не превысили величины 0,80. Это также полностью соответствует исследованиям Д. Л. Соколовского для рек Ленинградской области,

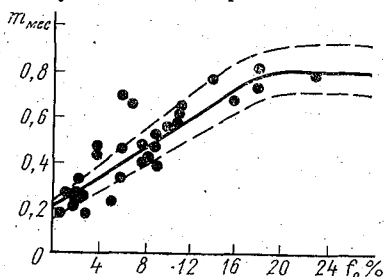


Рис. 1. Зависимость относительного минимального месячного модуля стока ($m_{\text{мес}}$) в летне-осенний период от озерности водосбора (f_0 , %).

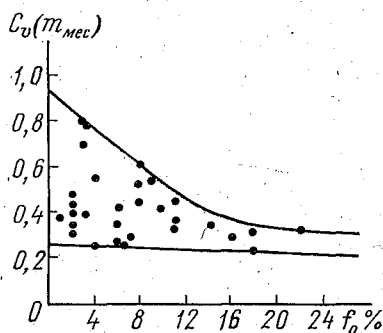


Рис. 2. Зависимость коэффициента вариации относительного минимального месячного стока от озерности водосбора.

результаты которых приведены в [5]. Подтверждением такого характера связи может также служить зависимость коэффициента вариации относительных модулей отдельных лет от озерности водосбора, показанная на рис. 2. Из этого рисунка видно, что с увеличением озерности соотношение между минимальным месячным летне-осенним и годовым стоком становится более постоянным и мало отличается от среднеевропейского значения. Эти колебания в определенной мере зависят от количества и

времени выпадения осадков, а также от объемов и дружности весеннего половодья, которые определяют степень его трансформации при одной и той же регулирующей емкости озер

и, соответственно, степень влияния на величину летне-осеннего минимального стока.

Уравнение регрессии для линейного участка зависимости, представленной на рис. 1, имеет вид

$$\overline{M}_{\text{мин.мес}} = 0,2 \overline{M}_{\text{год}} + 0,034 f_0 \overline{M}_{\text{год}}, \quad (3)$$

где $\overline{M}_{\text{мин.мес}}$ — минимальный месячный модуль стока в летне-осенний период; $\overline{M}_{\text{год}}$ — средний годовой модуль стока; f_0 — озерность водосбора в процентах. Коэффициент корреляции этой связи составил величину 0,93. При вычислении коэффициента корреляции не учитывалась крайняя точка, соответствующая наибольшему значению озерности, и две точки с большими отклонениями в сторону увеличения относительного модуля стока. Отклонение этих точек связано с влиянием гидротехнических сооружений, расположенных на водосборах рек.

Для оценки возможности учета влияния озерности на минимальный суточный летне-осенний сток была построена зависимость, аналогичная представленной на рис. 1. Характер связи остался прежним. При больших значениях озерности также наблюдается изменение характера зависимости. Относительный суточный модуль стока не превышает величины 0,72. Коэффициент корреляции этой зависимости также составил величину 0,93. Уравнение регрессии для линейного участка можно представить в виде

$$\overline{M}_{\text{мин.сут}} = 0,07 \overline{M}_{\text{год}} + 0,033 f_0 \overline{M}_{\text{год}}, \quad (4)$$

где $\overline{M}_{\text{мин.сут}}$ — минимальный суточный модуль стока в летне-осенний период. Соответствие зависимостей для месячных и суточных значений минимального летне-осеннего стока подтверждается графиком связи месячных и суточных относительных модулей стока, показанном на рис. 3. Связь эта достаточно тесная, уравнение регрессии имеет вид

$$m_{\text{мес}} = 1,00 m_{\text{сут}} + 0,13,$$

где $m_{\text{мес}}$ и $m_{\text{сут}}$ — относительный месячный и, соответственно, суточный модуль минимального летне-осеннего стока. Точки, отклонившиеся от основной группы, соответствуют тем водосборам, на которых ведется регулирование стока. Нужно отметить, что на графике, представленном на рис. 1, наибольший разброс точек наблюдается в пределах изменения озерности до 5—6%. Причин этому

много: различное местоположение озер в бассейне, разная регулирующая емкость озер при одинаковой площади зеркала, различная глубина озер и степень дренирования подзем-

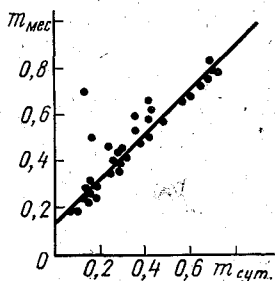


Рис. 3. Связь относительного минимального месячного ($m_{\text{мес}}$) и относительного минимального суточного ($m_{\text{сут}}$) модулей стока летне-осеннего периода.

ных вод, различная заболоченность и залесенность речных водосборов. Уместно отметить, что по исследованиям А. М. Владимирова в пределах рассматриваемой здесь территории выделяется 9 районов по общим условиям формирования меженного стока.

Принятые при анализе допущения и, в первую очередь, то, что не учитывалось положение озер на водосборе и площади водосборов, отражаются на точности полученных зависимостей. Так, на рис. 1, наибольшие положительные отклонения от линии связи, соответствуют водосборам с площадью более 1500 км². Наибольшие отрицательные отклонения соответствуют водосборам с площадью до 900 км². Это согласуется с изложенным в работах А. М. Владимирова [3, 4] характером влияния площади водосбора на величину минимального стока и подтверждает необходимость учета этого влияния.

Исследования проведены на ограниченном материале, отражают влияние общей озерности водосборов на минимальный сток летней межени и позволяют надеяться на получение количественной оценки этого влияния. Анализ показал, что предложенные в работах [2, 7] подходы применимы не только к зимнему, но и к летне-осеннему периоду меженного стока.

В дальнейших исследованиях необходимо учитывать такие факторы, как местоположение озер относительно створов наблюдений, площади водосборов рек, заболоченность и залесенность, дренающую способность озерных котловин и ход весенне-летних осадков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Н. Д. Минимальный сток Европейской части СССР. — Труды НИУ ГУГМС, сер. 4, 1941, вып. 2, с. 68—89.
2. Баранов В. А., Попов Л. Н. Карты минимального стока Европейской территории СССР. — Труды ГГИ, 1966, вып. 133, с. 112—147.
3. Владимирова А. М. Минимальный сток рек СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 214 с.
4. Владимирова А. М. Сток рек в маловодный период года. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 296 с.
5. Горошков И. Ф. Гидрологические расчеты. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — с. 169—196.
6. Соколов А. А. Влияние озерного регулирования на величину минимального стока рек. — Труды ГГИ, 1954, вып. 43 (97), с. 175—182.
7. Урываев В. А. Обеспеченность расходов в году рек Европейской части СССР. — Труды НИУ ГУГМС, сер. 4, 1941, вып. 2, с. 53—71.

УДК 556.048

А. М. ВЛАДИМИРОВ, Ф. А. ИМАНОВ (ЛГМИ)

РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА ГОРНЫХ РЕК

В практике строительного проектирования основным способом определения расчетных характеристик минимального стока

рек горных районов является использование районных зависимостей модуля минимального стока от средней высоты водосбора [3, 5]. Однако основным фактором, определяющим величину минимальных расходов воды равнинных и горных рек, являются условия их подземного питания, которые могут быть отражены через площадь водосбора [1]. Использование последней в качестве основного расчетного параметра при определении минимального стока рек, расположенных в различных категориях рельефа, позволяет иметь унифицированный расчетный метод, существенно облегчающий задачи проектировщиков.

Разработка расчетных рекомендаций связана прежде всего с анализом условий формирования минимального стока в горных районах. Наличие больших горных систем в Советском Союзе, расположенных в различных климатических зонах, обуславливает разный характер меженного периода на горных реках. Так, в Карпатах в летне-осенний сезон наблюдаются частые дождевые паводки, обуславливающие повышение летне-осеннего меженного стока и участие в его формировании поверхностных вод. Зимняя межень также нередко нарушается прохождением паводков при оттепелях, хотя она более устойчивая, чем летне-осенняя, и имеет меньшую водность. Похожая картина наблюдается на реках Западного Кавказа. Однако на Восточном Кавказе в формировании меженного стока дождевые или снеговые воды играют существенно меньшую роль.

В горных районах обычно можно выделить три зоны: формирования — 1, транзита — 2 и нарушений стока — 3. Последняя зона особенно хорошо выявляется в период минимального стока. Эти зоны отличаются по климатическим и гидрогеологическим особенностям, а также по характеру взаимодействия речных и подземных вод.

Основную площадь обычно занимает зона формирования речного стока, приуроченная к более возвышенным частям водосборов, где происходит выпадение осадков и выклинивание подземных вод. В зоне транзита отсутствует заметное питание рек, особенно в период межени. Эта зона обычно располагается в нижней части водосбора и нередко совпадает с зоной нарушений стока. Она проявляется лишь в случае отсутствия подземного стока в реки или при «отрицательном» (по Б. И. Куделину) подземном питании рек и характерна для районов недостаточного увлажнения.

В пределах зоны 1, как правило, области формирования и разгрузки подземных вод совпадают. Эти воды разгружаются в реки чаще всего в виде нисходящих родников в местах пересечения водоносных горизонтов с отрицательными формами рельефа или же непосредственно дренируются реками [4].

В летне-осенний сезон количество и частота выпадения дождей закономерно увеличивается с высотой местности. Поэтому

нередко питание рек в период минимального 30-суточного стока становится смешанным (рис. 1).

Например, в Карпатах меженный период в 80% случаев прерывается дождевыми паводками различной продолжительности, из них в 20% случаев в этот период бывает от 3 до 6 паводков.

Однако, поскольку время добегания поверхностных вод на горных водосборах небольшое (в пределах 1—2 суток), можно считать, что минимальный суточный и 10-суточный сток в летне-осенний сезон формируется только подземными водами. Исключение составляют реки с ледниковым питанием, на которых весенне-летнее половодье обычно заканчивается в сентябре—октябре. Поэтому не только минимальный 30-суточный, но и 10-суточный, а также суточный летне-осенний сток таких рек формируется с участием поверхностных вод.

С учетом обводненности водовмещающих пород, количества и дебита родников, а также геоморфологических особенностей зону формирования можно разбить на три части: высокогорную ($H > 2500$ м), среднегорную (1000—2500 м) и низкогорную-предгорную (500—1000 м).

Зона нарушений стока охватывает обычно предгорные и межгорные равнины и низменности (до 500—1000 м). Верхняя граница ее проходит как правило, по вершинам конусов выноса горных рек и образована с слившимися между собой конусами выноса постоянных и временных водотоков.

На режим рек в периоды минимального 30-суточного стока, особенно в летне-осенний сезон, кроме естественных факторов влияют и антропогенные. Это влияние наиболее ярко проявляется на территории Восточного Кавказа, где именно в пределах зоны 3 находятся практически все орошаемые земли региона. Кроме орошения здесь осуществляются различные виды хозяйственной деятельности. И в большой степени в результате ее влияния лишь некоторые реки Восточного Кавказа доносят свои воды до устья.

Для детализации условий формирования минимального стока с целью разработки расчетных методов необходимо осуществлять районирование исследуемой территории с учетом гидрогеологических, климатических и геоморфологических особенностей водосборов.

На территории Восточного Кавказа выделено 22 района (рис. 2). Количество районов и их границы в зимний и летне-осенний сезоны совпадают, что объясняется одинаковым генезисом стока в указанные периоды. Границы районов проводились по границам резкой смены гидрогеологических условий или по водоразделам рек.

Применительно к выделенным районам с помощью метода множественной корреляции исследована зависимость минимального 10-суточного летне-осеннего и зимнего стока рек от основных морфометрических характеристик водосборов, т. е. его

площади (A), средней высоты (H) и уклона (I). Использование лишь трех параметров при построении уравнения регрессии связано с недостаточной гидрогеологической изученностью рассматриваемой территории, где количество пунктов наблюдений в среднем составляет 9—12 на район.

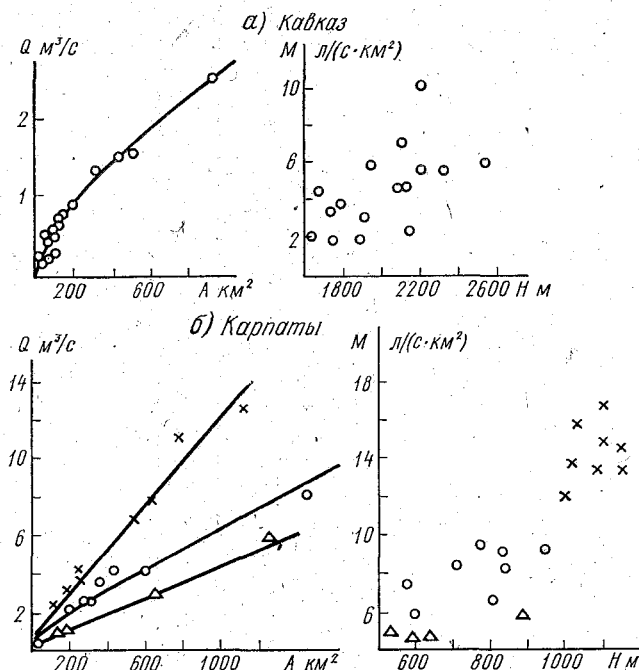


Рис. 1 Зависимость минимальных расходов воды ($Q_{\min}$) от площади бассейна реки (A) и средней высоты водосбора ($H_{\text{ср}}$):

а — Восточный Кавказ, район 12 (зима); б — Карпаты, районы 4, 5 и 6 (лето—осень).

Установлено, что в условиях Восточного Кавказа лишь в двух районах существуют достаточно тесные связи между величиной минимального стока и всеми указанными факторами, о чем свидетельствуют значения полных коэффициентов корреляции, которые для указанных районов составляют 0,90 и 0,92. Для остальных районов указанные коэффициенты находятся в диапазоне значений от 0,60 до 0,80.

Однако все уравнения регрессии, независимо от величины полного коэффициента корреляции, включают лишь один эффективный фактор, вклад которого в уравнение больше 60%. Этим фактором чаще всего являются площадь водосбора или его средняя высота. Поэтому для всех районов отдельно исследованы районные корреляционные связи $M_{\min} = f(H)$ и $Q_{\min} =$

$= f(A)$. Аналогичные зависимости изучались для территории Карпат, где выделено по 6 районов в летне-осенний и зимний сезоны (рис. 3). Некоторое различие в границах районов обусловлено отличием в формировании минимального стока в эти

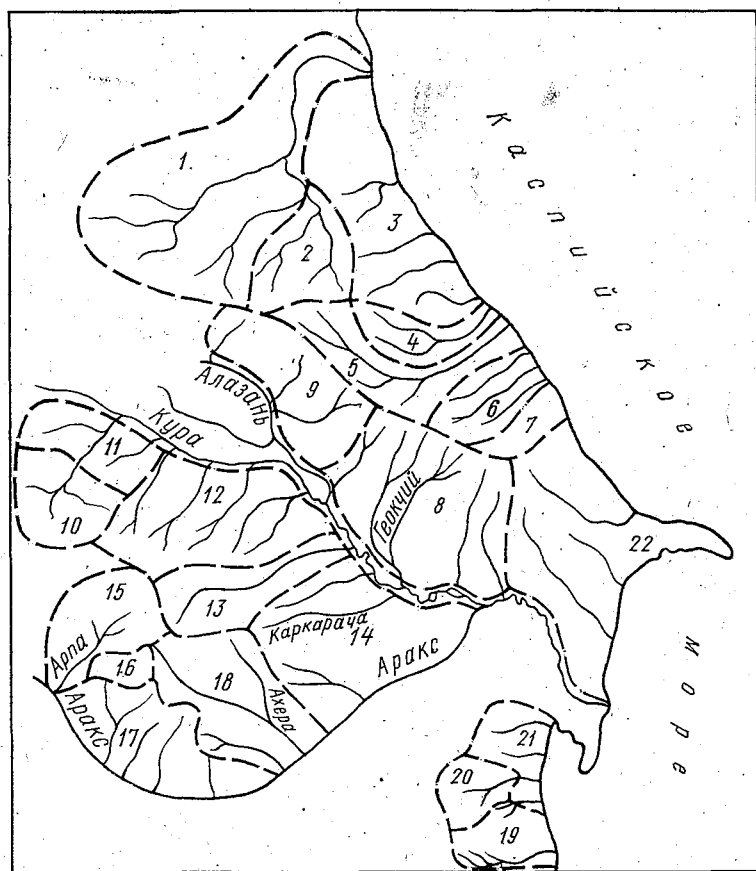


Рис. 2. Карта районов для определения минимальных расходов воды рек Восточного Кавказа:

9 — номер района; ---- граница района.

сезоны за счет существенной разницы в доле поверхностных вод, участвующих в питании рек в меженный период.

Анализ зависимостей модуля минимального стока от средней высоты водосбора показал, что в условиях Карпат и Восточного Кавказа наблюдается увеличение минимального стока с высотой в оба маловодные сезоны. Исключение составляют реки Ленкоранской природной области (районы 19—21, рис. 2), минимальный зимний сток которых с высотой уменьшается, что

обусловлено уменьшением количества выпадающих осадков в холодный период года. Следует отметить, что и другие характеристики речного стока на территории Ленкорани распределяются аналогично.

Установлено, что минимальный зимний сток рек, имеющих среднюю высоту водосбора 3000 м, при ее дальнейшем росте уменьшается. Это связано с прекращением ледникового питания рек в результате установления отрицательных температур воздуха.

В результате анализа зависимостей модуля минимального стока от средней высоты водосбора выявлено, что для районов, где реки имеют среднюю высоту водосбора более 2000 м, эти связи являются достаточно тесными. Для большинства же районов на графиках связи наблюдается значительный разброс точек, что не позволяет использовать эти зависимости для определения минимального стока неизученных рек. В некоторых районах указанная зависимость практически отсутствует.

Подобное явление связано с тем, что формирование минимального стока не только равнинных рек, но и горных в большей степени, чем от высоты зависит от условий подземного питания рек. Поэтому в горных районах в качестве интегрального показателя условий формирования минимального стока можно использовать величину площади бассейна реки.

Физическое обоснование зависимости минимальных расходов воды от площади бассейна рек приведено в [1]. Эта зависимость описывается уравнением вида

$$Q_{\min} = aA^n, \quad (1)$$

где $Q_{\min}$ — средний многолетний (или расчетной обеспеченности) минимальный расход воды расчетной продолжительности (сутки, 10, 30 суток) в зимний или летне-осенний сезоны, в м³/с; A — площадь бассейна реки, в км²; a — удельный модуль подземного питания рек данного района; n — коэффициент, характеризующий интенсивность подземного питания рек.

Значения a и n зависят от общей увлажненности территории и местных особенностей формирования стока. В зонах достаточного увлажнения они имеют наибольшие значения, причем $n > 1$. В зоне недостаточного увлажнения коэффициент $n < 1$. Последнее свидетельствует об убывании интенсивности питания рек с увеличением площади водосбора, вследствие резкого возрастания потерь влаги на испарение при уменьшении количества выпадающих осадков.

Сопоставление коэффициентов n для Карпат и Восточного Кавказа, имеющих существенно различные климатические условия, показывает, что в Карпатах $n > 1$ для всех районов, в то время как на Восточном Кавказе $n \leq 1$ почти для всей тер-

ритории, поскольку в этом районе увеличение площади водосбора ведет к уменьшению общей увлажненности водосборов рек.

Зависимости $Q_{\min} = f(A)$ могут строиться для минимальных расходов суточной ($Q_{\text{сут}}$), декадной (Q_{10}) и тридцатисуточной (Q_{30}) или месячной продолжительности. Поскольку вероятность случайной ошибки у среднесуточных расходов воды наибольшая, а 30-суточные расходы в горных районах нередко формируются не только подземными, но и поверхностными водами, то наиболее генетически однородными и достаточно надежными обычно являются 10-суточные минимальные расходы воды.

На территории Восточного Кавказа выделены районы, как указывалось, выше, однородные по условиям формирования минимального стока в зимний и летне-осенний сезоны, для которых построены зависимости нормы минимальных 10-суточных расходов воды (Q_{10}) в оба сезона от площади бассейна. На рис. 1 показаны границы районов, а в табл. 1 значения параметров a и n (формулы (1) для этих районов.

Таблица 1

Значения параметров a и n в формуле (1) для Восточного Кавказа

Район	Диапазон площадей	Летне-осенний сезон		Зимний сезон	
		n	a	n	a
1	50—1600	0,96	0,0201	0,93	0,0122
	> 1600	0,48	0,8017	0,64	0,1047
2	> 50	0,72	0,0371	0,64	0,0202
3	> 50	0,66	0,0183	0,61	0,0111
4	> 50	0,79	0,0132	0,80	0,0051
5	> 50	0,86	0,0270	0,91	0,0085
6	> 50	1,00	0,0097	0,96	0,0068
7	> 50	0,78	0,0169	0,60	0,0347
8	50—320	0,98	0,0186	0,92	0,0149
	> 320	0,51	0,2148	—	—
9	> 40	1,00	0,0135	1,00	0,0106
10	> 40	0,85	0,0065	0,89	0,0040
11	> 50	0,59	0,0151	1,00	0,0014
12	50—200	0,95	0,0096	0,79	0,0136
	> 200	0,59	0,0621	0,68	0,0243
13	50—630	0,85	0,0190	0,80	0,0194
	> 630	0,62	0,0848	0,68	0,0384
14	> 40	1,10	0,0013	1,08	0,0011
15	20—130	0,93	0,0132	1,00	0,0075
	> 160	0,57	0,0989	0,60	0,0813
16	> 50	0,48	0,0339	0,53	0,0195
17	30—150	0,87	0,0128	0,86	0,0123
	> 150	0,48	0,0804	0,42	0,0984
18	40—150	1,00	0,0051	1,00	0,0038
	> 150	0,81	0,0233	0,81	0,0201
19	> 20	0,70	0,0127	0,87	0,0140
20	> 10	0,96	0,0014	0,91	0,0045
21	—	0	0	—	—
22	—	0	0	0	0

Для рек большей части районов в зимний и летне-осенний сезоны погрешность вычисления нормы минимальных 10-суточных расходов воды не превышает 15%. В районах 2, 13, 15, 18 она снижается до 15—20%, а в районах 4, 5, 14, 19 — до 20—25%, что обусловлено весьма сложными условиями формирования минимального стока и невысокой надежностью его гидрометрического определения с учетом влияния хозяйственной деятельности.

Для рек с площадью бассейна меньше 10—50 км² погрешности расчета обычно возрастают вследствие влияния сугубо местных факторов. Значительные ошибки могут возникать на отдельных реках, минимальный сток которых испытывает больше и трудно учитываемые антропогенные нагрузки.

В районах 21 и 22 в летне-осенний сезон, а в районе 22 и в зимний реки пересыхают. В районе 21 в зимний сезон сток рек формируется в основном за счет часто выпадающих дождей. Поэтому наблюдается связь модуля минимального 10-суточного стока со средней высотой водосбора вида

$$M_{10} = 0,042 H_{\text{ср}} - 6,67. \quad (2)$$

Величины суточного и 30-суточного минимального стока можно определить используя переходные коэффициенты от минимального 10-суточного расхода воды (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение характеристик минимального стока

№ п/п	Районы	$\frac{Q_1}{Q_{10}}$	$\frac{Q_{30}}{Q_{10}}$
Летне-осенний период			
1	Реки Дагестана, Большого Кавказа* и правобережные притоки р. Куры	0,89	1,20
2	Бассейн р. Аракс*	0,92	1,07
3	Реки Ленкорани	0,91	1,32
Зимний период			
1	Реки Дагестана, Большого Кавказа и Малого* Кавказа	0,93	1,10
2	Реки Ленкорани	0,90	1,42

* В пределах рассматриваемой территории.

Минимальные расходы воды расчетной обеспеченности (в диапазоне обеспеченностей 75—97%) целесообразно определять также с использованием переходных коэффициентов от опорной величины, например, минимального расхода воды 85%-ной обеспеченности ($Q_{85\%}$). Последние можно установить по районным зависимостям $Q_{85\%} = f(A)$ или по связи $Q_{85\%} = (Q_{\min})$.

Анализ связей $Q_{10, 85} = f(Q_{10})$, построенных для всех вышеуказанных районов Восточного Кавказа показал, что величина

переходного коэффициента от среднемесячного минимального 10-суточного расхода воды к его величине 85%-ной обеспеченности для всей территории Восточного Кавказа, за исключением районов 19 и 20, изменяется в незначительных пределах и составляет в летне-осенний сезон 0,69—0,75, а в зимний — 0,66—0,72. Поэтому для практических расчетов можно принять среднюю величину переходного коэффициента, равную 0,70 для обоих сезонов. В районах 19 и 20 его величина составляет 0,47.

Значения переходных коэффициентов для определения минимальных расчетных расходов практически одинаковы для зимнего и летне-осеннего сезонов (табл. 3), что является след-

Таблица 3

Переходные коэффициенты для определения минимальных расходов воды расчетной обеспеченности рек Восточного Кавказа

Район	Обеспеченность, %					
	75	80	85	90	95	97
1—18	1,09	1,04	1,00	0,94	0,84	0,78
19—20	1,24	1,14	1,00	0,83	0,59	0,53
Эпизодически пересыхающие реки	1,38	1,20	1,00	0,72	0,50	0,44

ствием синфазных колебаний минимального стока рек Восточного Кавказа в оба маловодные сезона. Они слабо различаются по территории (в пределах 3%), что связано с синхронностью колебаний минимального стока и его одинаковой изменчивостью (за исключением районов с наличием пересыхающих рек).

Определение минимальных суточных и 30-суточных расходов воды расчетной обеспеченности (75—97%) может производиться с использованием переходных коэффициентов, приведенных в табл. 2, поскольку разница в соотношениях $Q_{сут} = (\bar{Q}_{10})$ и $Q_{сут\ 85\%} = f(Q_{10, 85\%})$ равно как и $\bar{Q}_{30} = f(\bar{Q}_{10})$ и $Q_{30, 85\%} = f(Q_{10, 85\%})$ весьма незначительная и находится в пределах точности расчетов.

Для территории Карпат были исследованы зависимости $\bar{Q}_{30} = f(A)$ (в плане уточнения рекомендаций [3]), построенные для районов, однородных по условиям формирования минимального стока.

Необходимые для расчетов значения параметров формулы (1) приведены в табл. 4. Погрешности расчетов минимальных 30-суточных расходов воды составляют в среднем 10—15% в летне-осенний и зимний сезоны, за исключением районов IV и V в зимний сезон, где ошибки могут достигать 20—25%. Наиболее надежные результаты можно ожидать для рек с площадью бассейна от 50 км² до 1000 км².

Значения параметров a и n в формуле (1) для Карпат

Район	Зимний сезон		Район	Летне-осенний сезон	
	a	n		a	n
I	0,0025	1,12	1	0,002	1,12
II	0,0035	1,12	2	0,003	1,12
III	0,0030	1,12	3	0,005	1,05
IV	0,0070	1,05	4	0,010	1,05
V	0,0020	1,12	5	0,004	1,12
VI	0,0050	1,05	6	0,0005	1,05

Величина суточного минимального расхода воды рек Карпат устанавливается по связи с 30-суточным расходом. Переходный коэффициент в зимний сезон составляет $(0,5-0,6)Q_{30}$, а в летне-осенний $0,6-0,7$. Связь $\bar{Q}_{\text{сут}} = f(\bar{Q}_{30})$ является достаточно тесной, рассеяние точек от линии связи обычно не превышает 10—15%.

Таким образом, результаты исследований показывают, что зависимость $Q_{\text{min}} = f(A)$ является универсальной, поскольку может быть использована для расчета минимальных расходов воды равнинных и горных рек, имеющих среднюю высоту водосбора до 2000—2500 м. Полученные результаты дополняют и уточняют рекомендации нормативных документов [3, 5], обязательных для использования при строительном проектировании.

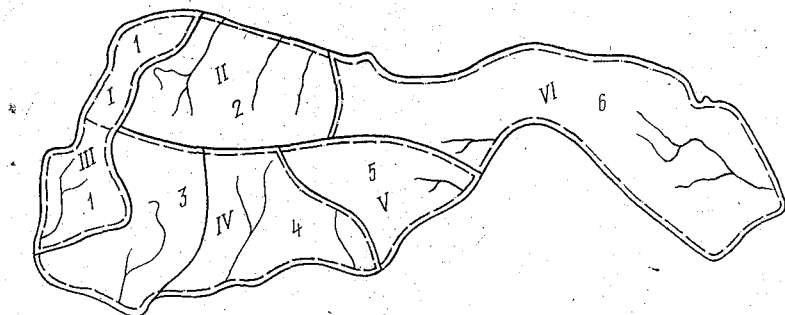


Рис. 3. Карта районов для определения минимальных расходов воды рек Карпат:

— и 5 — граница и номер района в летне-осенний сезон; - - - и У — граница и номер района в зимний сезон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров А. М. Сток рек в маловодный период года. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 295 с.
2. Иманов Ф. А. Расчет минимального стока горных рек в вегетационный период. — Труды ЛГМИ, 1984, вып. 81, с. 97—102.
3. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 111 с.

4. Соколов Б. Л., Саркисян В. О. Подземное питание горных рек. — Л.: Гидрометеониздат, 1981. — 240 с.

5. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. — М., 1983.

УДК 556.16.047

В. С. ДРУЖИНИН (ЛГМИ)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА МАЛЫХ ВОДОТОКАХ ЗОНЫ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ СССР

Расчет максимального талого стока малых водотоков зоны недостаточного увлажнения является важным вопросом как с практической, так и научной точек зрения. Являясь основной фазой водного режима таких водных объектов, весеннее половодье, его максимальные расходы и объемы определяют емкости водохранилищ сооружаемых на них с целью мелиорации земель и водоснабжения (в засушливых районах это наиболее доступные и дешевые источники пресной воды), размеры водопропускных сооружений при строительстве различного рода дорог, каналов и т. п.

Сложность расчетов характеристик стока на малых водотоках обуславливается прежде всего их недостаточной гидрологической изученностью, что зачастую не позволяет применить к ним статистические методы, основанные на обработке достаточно продолжительных рядов наблюдений за стоковыми характеристиками. К тому же сток с малых водосборов в значительной мере зависит от азональных факторов, что в свою очередь затрудняет создание унифицированных методов расчета.

Наиболее перспективными в этом случае являются генетические методы, позволяющие получать гидрографы весеннего половодья по ходу снеготаяния и водоотдачи из снега, которые могут быть рассчитаны по ходу теплового баланса снежного покрова за период снеготаяния и величине снегозапаса на водосборе. Эти значения определяются по данным сети метеостанций, которая развита гораздо лучше, чем гидрометрическая сеть на малых водотоках.

Попытка разработки такой методики для расчета гидрографов весеннего половодья на малых водотоках зоны недостаточного увлажнения СССР и основные результаты изложены в настоящей статье.

Главным стокообразующим фактором, обуславливающим формирование весеннего половодья являются, как уже говорилось ранее, интенсивность снеготаяния и водоотдачи из снега.

Их величины и ход во времени определяют как значения максимального расхода, так и форму гидрографа, который, как правило, имеет пилообразный вид за счет внутрисуточного хода теплового баланса, а следовательно, и водоотдачи из снега. Так как проектирование гидрографов на малых водотоках предполагает наличие этих величин за короткие интервалы времени, то в качестве объектов для отработки методики были взяты водотоки Нижнедевицкой и Дубовской стоковых станций на ЕТС и Кустанайской и Западно-Казахстанской на территории АТС, имеющих учащенные наблюдения за метеозементами и стоком. В различной мере также использовались данные по станциям Каменная Степь и Велико-Анадольская.

Используя материалы наблюдений этих стоковых станций были рассчитаны величины снеготаяния и водоотдачи из снега по двухчасовым интервалам времени на малых водосборах, входящих в их состав. Расчет производился по методу теплового баланса П. П. Кузьмина [3] и графоаналитическому методу А. Г. Ковзеля [2] за отдельные многоводные годы. Таким образом были получены значения слоев водоотдачи, которые затем трансформировались в гидрографы по интегралу Дюамеля при помощи электронно-модулирующего устройства ПР-43, используя схему, предложенную в работах [4, 5]. Потери учитывались при помощи объемного коэффициента стока, представляющего собой отношение слоя стока за сутки к суточному слою водоотдачи. Всего было выбрано 30 гидрографов за отдельные многоводные годы на малых водосборах стоковых станций с диапазоном площадей от 0,70 до 141 км². Сравнение рассчитанных гидрографов с фактическими (рис. 1) показало

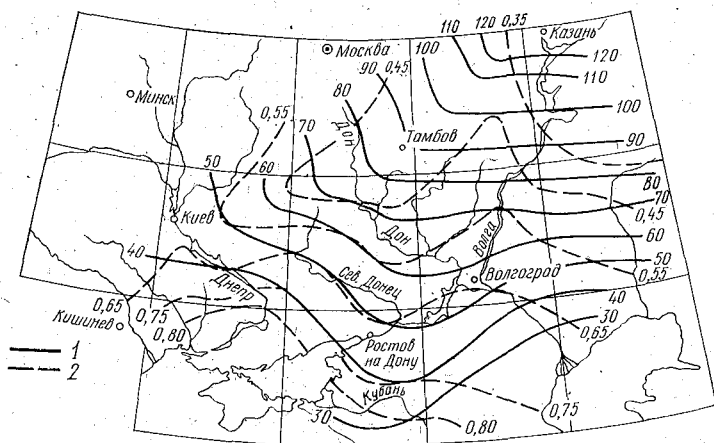


Рис. 1. Карта изолиний среднеголетних слоев водоотдачи из снега за период половодья (1) и коэффициентов вариации (2).

довольно хорошую их сходимость. Средняя ошибка определения максимальных расходов за каждые сутки (всего 138 расходов) составила 20—25%, что свидетельствует о возможности применения схемы для решения данной задачи.

Для проектирования гидрографов на малых неизученных водотоках по вышеупомянутой схеме необходимо знать обеспеченные слои водоотдачи за период половодья, за сутки, за расчетный интервал времени, а также распределение этих слоев во времени. Кроме этого, для расчета эффективной водоотдачи нужно определить величину потерь на инфильтрацию и испарение и выразить время сдвига между максимумом водоотдачи и стока через морфометрические характеристики водосбора.

В качестве величины водоотдачи за период половодья (B_n) без особой погрешности можно принять значение снеготаяния на водосборе перед началом снеготаяния, которое можно определить по данным снегосъемок, производящимся на сети метеостанций. Максимальный суточный слой водоотдачи ($B_{c, \max}$), определяющий максимальный расход ($Q_{\max}$) может быть рассчитан, используя также данные стандартных наблюдений на метеостанциях [2, 3].

Такой расчет был произведен для 28 метеорологических станций зоны недостаточного увлажнения СССР, 13 из которых расположены на Европейской территории Союза и 15 в его азиатской части. В результате были получены значения водоотдачи по суткам за каждый год и весь период наблюдений. Затем путем статистической обработки полученных рядов были определены среднегодовые слои водоотдачи за период половодья ($\bar{B}_n$), максимальные суточные ($\bar{B}_{c, \max}$), их коэффициенты вариации ($C_v, B_n, C_v, B_{c, \max}$) и построены карты изолиний этих параметров (рис. 2, 3). Подобные карты для Азиатской части СССР приведены в работе [1].

Таким образом, имея карты среднемесячных величин водоотдачи $\bar{B}_n$ и $\bar{B}_{c, \max}$ и их коэффициентов вариации можно получить значения слоев водоотдачи любой обеспеченности. Коэффициент асимметрии на основании анализа соответствия эмпирических и теоретических кривых обеспеченности был принят равным $2C_v$.

Переход к максимальному слою водоотдачи за интервал времени 2 часа ($B_{2, \max}$), принятый в качестве расчетного может быть осуществлен по графикам связи, построенным по данным расчетов интенсивности снеготаяния и водоотдачи из снега за отдельные многоводные годы. При этом использовались учащенные наблюдения за метеозементами на стоковых станциях. Для $B_c > 10$ мм эти значения могут быть определены по уравнению:

$$B_{2, \max} = 0,21 B_c + 1,6.$$

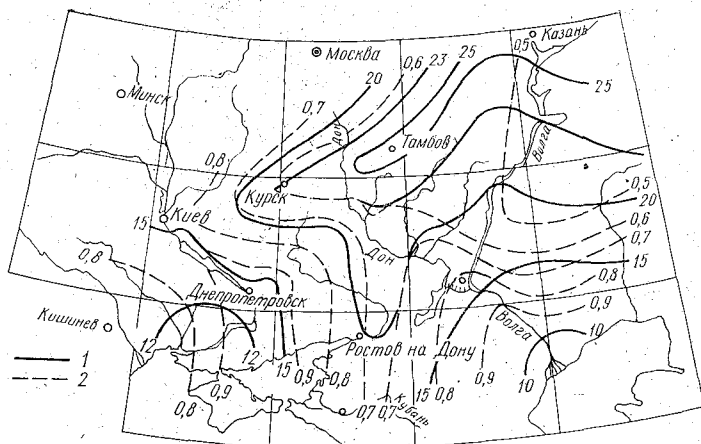


Рис. 2. Карта изолиний среднемноголетних величин максимальной суточной водоотдачи из снега (1) и коэффициентов вариации (2)

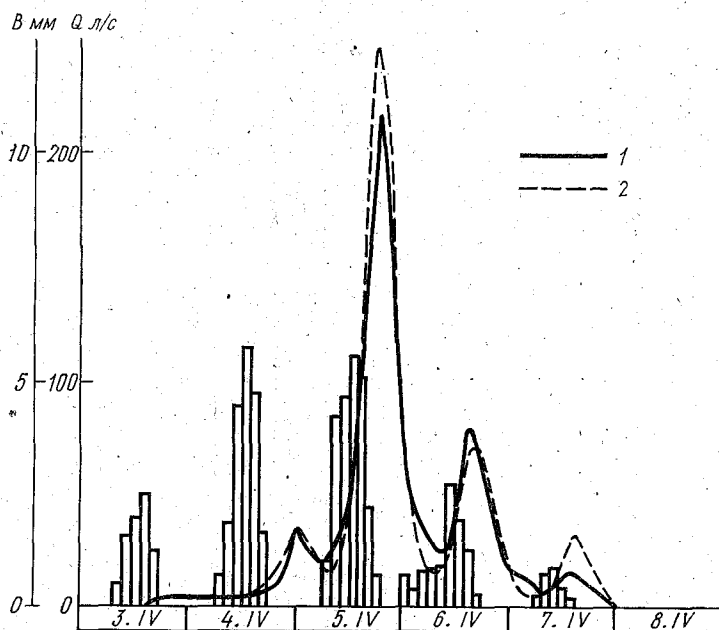


Рис. 3. Фактический (1) и рассчитанный (2) гидрографы весеннего половодья (балка Пологая, Кустанайская стоковая станция, $F = 2,17 \text{ км}^2$, 1959 г.).

Построенные в относительных единицах зависимости нарастания слоя водоотдачи от времени как за период половодья, так и за сутки показали, что ход водоотдачи из снега во времени вполне удовлетворительно можно схематизировать в виде равнобедренного треугольника.

Потери учитывались при помощи объемного коэффициента стока (2). Анализ зависимостей слоя стока за половодье (α) от величины водоотдачи $h_{п} = f(B_{п})$ построенных по материалам наблюдений стоковых станций показал, что предельная величина $\alpha = \alpha_{\max}$, определенная по нижней огибающей поля точек, что соответствует наиболее благоприятным условиям стекания, может быть принят для малых водотоков примерно равным 1,0, а слой начальных потерь B_0 составляет 10—15 мм.

Чтобы учесть то обстоятельство, что снегозапасы, а следовательно водоотдача и талый сток на малых водосборах обычно больше, чем на средних и больших за счет миграции снежного покрова и накопления его в понижениях рельефа (логах, балках) были построены зависимости вида:

$$\eta = \frac{h_{п, P\%}}{B_{п, P\%}^м} = f[\lg(F + 1)],$$

где $h_{п, P\%}$ — рассчитанный слой стока $P\%$ -ной обеспеченности на реке или водотоке; $B_{п, P\%}^м$ — слой водоотдачи той же обеспеченности, определенный по картам изолиний, построенным по данным метеостанций; F — площадь водосбора.

Коэффициент η представляет собой произведение $\eta = \lambda \alpha_{\max}$, где $\lambda = B_{п, P\%} / B_{п, P\%}^м$, а $B_{п, P\%}$ — слой водоотдачи из снега обеспеченностью $P\%$ на конкретном водотоке.

Из анализа этих зависимостей следует, что для зоны недостаточного увлажнения юга Западной Сибири $\alpha_{\max} = 1,0$ может приниматься только для площадей водосборов менее 40—50 км². В этом случае $\eta > 1,0$ и представляет собой отношение $B_{п, P\%} / B_{п, P\%}^м$, т. е. $\eta = \lambda$. Для водотоков с $F > 40—50$ км² происходит уменьшение стока с возрастанием водосборной площади. В аналитическом виде эта зависимость может быть аппроксимирована уравнением

$$\eta = \frac{h_{п, P\%}}{B_{п, P\%}^м} = \lambda \alpha_{\max} = f[\lg(F + 1)] = \frac{2,0}{(F + 1)^{0,20}}.$$

Подробный анализ этой зависимости приведен в работе [1]. Таким образом, величину эффективной водоотдачи за период половодья ($B_{п, P\%}^{\text{эф}}$), численно равную слою стока $h_{п, P\%}$, для данной территории можно найти по формуле

$$B_{п, P\%}^{\text{эф}} = B_{п, P\%}^м \eta.$$

Анализ подобных зависимостей для зоны недостаточного увлажнения Европейской части СССР показал, что для площадей

водосборов $70-80 \text{ км}^2$ $B_{п, P\%}^{\text{эф}} = B_{п, P\%}^{\text{м}}$, т. е. $\alpha_{\text{max}} = 1,0$, а для водотоков с $F > 70-80 \text{ км}^2$ также происходит уменьшение величины α_{max} , что объясняется возрастанием регулирующего влияния водосбора и увеличением доли бессточных понижений. В этом случае значение α_{max} может быть найдено по зависимости

$$\alpha_{\text{max}} = 1,9 - 0,5 \lg (F + 1).$$

Необходимые для расчета на ЭВМ величины времени сдвига между максимумами водоотдачи и стока (t_c) находились по совмещенным хронологическим графикам хода рассчитанной водоотдачи и снега и стока на логах и балках стоковых станций. Построенные зависимости средних для водосборов t_c от основных морфометрических характеристик площади водосбора (F) и уклона водотока ($I^0/_{\text{оо}}$) аппроксимируются уравнениями

а) для зоны недостаточного увлажнения ЕТС

$$t_c = \frac{7,25 [\lg (F + 1)]^{0,4}}{I^{0,2}} \text{ (ч)};$$

б) для зоны недостаточного увлажнения юга Западной Сибири.

$$t_c = \frac{10 [\lg (F + 1)]^{0,33}}{I^{0,33}} \text{ (ч)}.$$

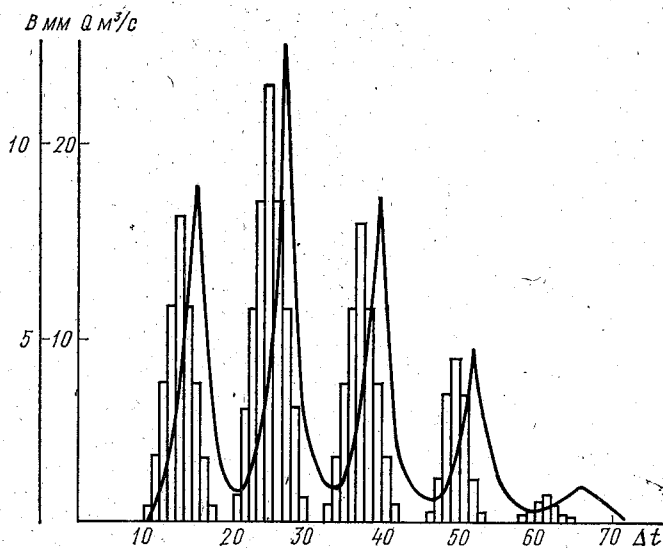


Рис. 4. Гидрограф 1%-ной обеспеченности (лог Левый Каинсай, $F = 23,3 \text{ км}^2$).

Используя вышеизложенную расчетную схему были смоделированы гидрографы однопроцентной обеспеченности на малых водотоках зоны недостаточного увлажнения. Всего было рассчитано 59 гидрографов на водотоках юга Западной Сибири с диапазоном площадей от 0,55 до 1100 км² и 50 гидрографов зоны недостаточного увлажнения ЕТС с диапазоном площадей водосборов 0,06—389 км². Пример расчетного гидрографа приведен на рис. 4.

Сравнение максимальных расходов однопроцентной обеспеченности $Q_{\max, 1\%}$, определенных по вышеизложенной методике с теми же величинами, приведенными в кадастровых материалах дало относительную среднюю ошибку $\pm 20-30\%$, что можно считать удовлетворительным, при расчетах максимального стока малых водотоков. Достоинством данной схемы является то, что она позволяет, используя данные наблюдений метеорологических станций, получать не только отдельные элементы весеннего половодья, но и весь гидрограф.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дружинин В. С. Опыт применения формулы предельной интенсивности для расчета максимального талого стока на малых водотоках юга Западной Сибири. — В сб.: Исследования формирования речного стока и его расчеты, изд. ЛПИ, 1981, вып. 76, с. 3—14.
2. Ковзель А. Г. Упрощенная схема расчета водоотдачи у снега. — Труды ГГИ, 1962, вып. 99, с. 141—175.
3. Кузьмин П. П. Процесс таяния снежного покрова. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 344 с.
4. Соколовский Д. Л., Шикломанов И. А. Расчеты гидрографов паводков с использованием электронных модулирующих устройств. — Труды ЛГМИ, 1965, вып. 23, с. 65—79.

УДК 556.166.4

Н. Н. СОЛОВЬЕВА (ЛГМИ), ХОНГ СЕН ЗИН (КНДР)

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ РЕК КНДР

Расчеты максимальных расходов дождевых паводков при отсутствии данных гидрологических наблюдений актуальны для ливнеопасных районов.

Исследования по обоснованию структуры метода определения максимальных расходов дождевых паводков выполнены на примере рек Корейской Народно-Демократической республики. Физико-географические условия региона благоприятны для формирования поверхностного стока. Рельеф большей части Кореи горный, горы занимают 75% общей площади. Здесь чет-

ко выделяется северный высокогорный район, западный и восточный приморские склоны. Климат Кореи морской, муссонный. Среднее многолетнее количество осадков в целом по территории составляет 1085, с колебаниями в разных частях от 600 до 1500 мм. Осадки распределены по сезонам неравномерно. На летний период приходится 50—60%. Подробная характеристика синоптических условий выпадения и значительных дождей даны в работе авторов [1]. Речная сеть развита сильно. Реки имеют горный характер, вогнутые продольные профили, большие уклоны. Водный режим рек отражает режим осадков и характеризуется прохождением серий дождевых паводков. Дождевые паводки нередко имеют катастрофические максимальные расходы. Повсеместно выдающиеся максимумы повторяются один раз в 8—12 лет. Паводки наблюдаются в VII—IX месяцы, сток рек за этот период составляет 50—80% годового, ежегодно проходит 2—9 паводков. Максимальные расходы паводков в 10—100 раз превышают среднегодовые расходы. Наибольшие отношения этих характеристик в 70—100 наблюдаются в северо-западном районе на реках Тэренган и Куренган.

По характеру формирования паводков все реки относятся к категории малых и средних. Обычно паводки происходят от дождей больших продолжительностей и площадей распространения. Максимальные расходы паводков формируются за счет стока наиболее интенсивных дождей со всей площади водосбора. Продолжительность стекания, а следовательно расчетная продолжительность дождей зависит от морфометрических характеристик бассейнов. Поскольку имеет место редукция максимальной интенсивности осадков с увеличением продолжительности интервалов времени, то возникает задача установления зависимости максимальной интенсивности дождей от продолжительности интервалов времени.

Рекомендации по расчету максимальной интенсивности и слоя осадков в зависимости от продолжительности расчетных интервалов времени и повторяемости для территории КНДР в [1]. Интенсивность и слой (a_T , H_T) рекомендуется вычислять по формуле

$$H_{TP} = a_{TP} T = \frac{A' + B' \lg N}{(T + C)^{n'}} T, \quad (1)$$

где A' и B' — географические параметры; C — длительность ядра дождя (мин); n' — показатель редукции интенсивности дождей по продолжительности; N — период повторяемости в годах, связан с обеспеченностью (P) соотношением $N = \frac{100}{P}$, T — расчетная продолжительность дождей в мин.

Значения параметров формулы (1) определены для КНДР по данным 51 пункта с самописцами, представлены в [1] в виде карт изолиний. Таким образом, принятый метод расчета ин-

тенсивностей с определением четырех параметров в совокупности отражает сложные синоптические и географические условия формирования и выпадения дождей на территории КНДР.

Водно-балансовые соотношения в расчетах максимальных расходов учитываются введением характеристик потерь. Потери стока складываются из потерь на поверхностное смачивание и заполнение микропонижений, задержаний растительным покровом, фильтрацию и испарение. Обычно катастрофические паводки наблюдаются после серий предшествующих. В результате прохождения следующих друг за другом дождей бассейны оказываются в состоянии высокой влагонасыщенности. В случаях выпадения новых значительных осадков складывается ситуация, при которой осадки стекают без значительных потерь. В таких случаях потери будут минимальные, возможные для данной физико-географической зоны. Реально для расчетов максимального стока потери могут быть охарактеризованы через объемные коэффициенты стока, которые легко определяются по данным совмещенного хода осадков и стока малых водосборов. В расчет приняты минимально возможные потери.

Расчетное уравнение для средних из максимальных коэффициентов стока может быть записано как

$$h = \alpha (H - H_0), \quad (2)$$

где h — слой стока за паводок; α — средний из максимальных коэффициентов стока; H — слой паводкообразующих осадков; H_0 — слой начальных потерь. Методика определения и значения этих характеристик приведены в [2].

При расчете максимальных расходов паводков встает задача определения расчетной продолжительности дождя, которая определяется в зависимости от времени добегания.

Для условий продолжительных дождей с длительностью большей, чем общее время добегания по склонам и руслам водотоков, максимальные расходы паводков формируются за счет наиболее интенсивной части дождей. Как следует из генетической формулы стока, продолжительность этих участков равна бассейновому времени добегания. Следовательно, встает задача определения этой характеристики.

Для изученных водотоков бассейновое время добегания может быть определено по разнице дат наступления однофазовых величин стока и осадков. Очевидно, что эта стоковая характеристика бассейнов, является также показателем бассейновой емкости, а следовательно и бассейнового регулирования. Для оценки времени добегания неизученных водосборов найдена зависимость этой характеристики от основных морфометрических характеристик рек и водосборов [2], которая аппроксимирована уравнением:

$$\tau_0 = 6,03 \left(\frac{F}{I} \right)^{0,19}, \quad (3)$$

где τ_0 — бассейновое время добега в часах; I — средневзвешенный уклон реки до створа (в ‰).

Анализ максимумов по 52 многолетним рядам опорной сети КНДР показывает, что средние многолетние максимальные модули колеблются по территории в пределах 0,11—3,33 м³/(с·км²). Максимальные значения наблюдаются в северо-западном приморском районе. Коэффициенты вариации рядов максимальных расходов изменяются от 0,44 до 1,00, наивысшие имеют реки высокогорасположенных северных районов. Соотношения коэффициентов асимметрии и вариации, определенные из условия наилучшего соответствия эмпирических и теоретических кривых обеспеченности, изменяются по районам и равны 2—4.

Для расчета максимальных расходов воды при отсутствии наблюдений принята формула предельной интенсивности в виде

$$Q_P = q_P F = A_P F \varphi. \quad (4)$$

Так как

$$A_P = f(H_{TP}^\alpha), \quad (5)$$

а

$$\varphi = \frac{1}{(F+1)^n} \quad (6)$$

получаем расчетную зависимость в виде

$$Q_P = \frac{f(H_{TP}^\alpha)}{(F+1)^n}, \quad (7)$$

где Q_P — максимальный расход, м³/с, обеспеченностью $P\%$; q_P — максимальный модуль стока, м³/(с·км²), той же обеспеченности; A_P — элементарный модуль максимального стока, м³/(с·км²), обеспеченностью $P\%$; φ — коэффициент редукции максимального модуля по площади; F — площадь водосброса, км²; n — показатель редукции максимального модуля по площади; α — коэффициент стока; H_{TP} — расчетный слой осадков (мм) $P\%$ -ной обеспеченности за интервал времени T (мин).

Максимальные элементарные модули стока A_P бассейнов могут быть определены по районным зависимостям $\lg q_P = f \lg (F+1)$. Показатели редукции этих зависимостей изменяются для районов КНДР в пределах 0,27—0,33 и их целесообразно осреднить. Для всей территории принят показатель редукции 0,30.

Максимальные элементарные модули стока представляют собой интенсивности водоотдачи с учетом регулирующей способности бассейнов.

Интенсивность водоотдачи определяется слоем паводкообразующих осадков и потерь, т. е. $A_P = f(H_{TP}^\alpha)$.

Слои осадков H_{TP} могут быть вычислены для водосборов по (1) с определением ливневых параметров по картам изолиний,

приведенным [1]. Расчетная продолжительность осадков должна быть принята для каждого водосбора равной времени добегания, которое вычислено по (3).

В экстремальных условиях максимального предшествующего увлажнения при расчете максимальных элементарных модулей стока должны учитываться только минимально возможные потери, т. е. средние максимальные коэффициенты стока.

Зависимость (рис. 1), аппроксимирована уравнением

$$A_{1\%} = aH_{T1\%}^b \alpha. \quad (8)$$

Расчетная методика принимает вид:

$$Q_P = q_P F = \frac{aH_{TP}^b}{(F+1)^n} F,$$

в которой $a = 0,003$; $b = 1,69$; $T = 60\tau$ мин; $n = 0,30$ для КНДР.

С учетом всех принятых параметров расчет максимальных расходов воды выполняется по соотношениям:

$$1) Q_P = \frac{0,003 H_{TP}^{1,69}}{(F+1)^{0,30}} F; \quad 2) T = 60 \tau_0;$$

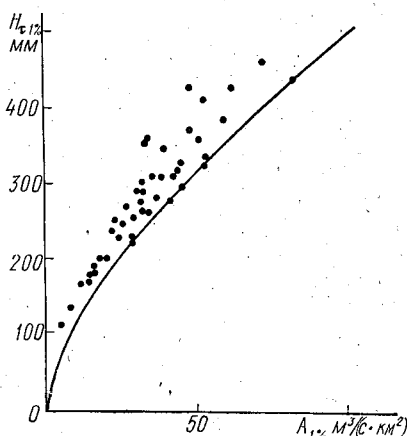
$$3) \tau_0 = 6,03 \left(\frac{F}{T} \right)^{0,19}; \quad 4) H_{TP} = a_{TP} T = \frac{A' + B' \lg N}{(T+C)^{n'}} T.$$

Для расчета необходимо знать географическое положение створа, а также морфометрические характеристики водосбора: площадь и средневзвешенный уклон реки до створа. Соответствующие значения ливневых параметров A' , B' , C , n' — определяются по картам изолиний, значения коэффициентов стока определяются по карте его зон.

Методика применима для любых водосборов как малых, так средних и больших.

Сопоставленные расчеты максимальных расходов дождевых паводков 1%-ной обеспеченности выполнены по 44 створам, имеющим длинные ряды наблюдений. Среднее отклонение вычисленных от наблюдаемых расходов составило 15%.

Произведено также определение максимальных расходов для экспериментальных малых водосборов. По этим бассейнам имеются отрывочные наблюдения за 1—5 лет. Поэтому статистические параметры и значения расходов заданной вероятно-



Связь максимальных элементарных модулей стока с осадками.

сти превышения не устанавливались. Максимальные расходы, определенные по разработанной методике, превышают наблюдаемые. При краткости периодов наблюдений на экспериментальной сети это подтверждает применимость методики.

Оценивая расчетный метод в целом необходимо отметить его достоинства. Все параметры, входящие в расчетную методику независимы друг от друга и не определяются обратным расчетом. Структура метода учитывает изменения характера редукции максимального модуля в диапазоне малых площадей водосборов. Метод расчета может быть применен для других ливнеопасных районов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьева Н. Н., Хонг Сен Зин. Расчетные характеристики дождей КНДР. — В сб.: Вопросы охраны и рационального использования вод суши. изд. ЛПИ, 1985; вып. 89.
2. Соловьева Н. Н., Хонг Сен Зин. Учет потерь и времени добегания в расчетах максимального стока (на примере КНДР). (См. настоящий сборник, с. 44—49).

УДК 556.166

В. Г. ОРЛОВ (ЛГМИ), А. Е. СЕРЯКОВ (ГГИ)

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ РЕДУКЦИОННОЙ ФОРМУЛЫ МАКСИМАЛЬНОГО ДОЖДЕВОГО СТОКА (НА ПРИМЕРЕ РЕК САХАЛИНА)

В настоящее время в практику гидрологических расчетов прочно вошли нормативные документы и методические указания, разработанные и утвержденные различными организациями — Госстроем СССР, Госкомгидрометом, министерствами и ведомствами. Основным же документом в отношении инженерных гидрологических расчетов являются строительные нормы и правила СНиП 2.01.14-83, которые регламентируют порядок расчета основных гидрологических характеристик, в том числе и максимальных расходов дождевых паводков.

Однако нормативные рекомендации не исключают использование и даже разработку региональных методов расчета, поскольку именно региональные исследования позволяют полнее учесть физико-географические особенности района и их влияние на формирование максимального стока.

Именно такие региональные исследования и были проведены в 1960—1961 гг. на реках Сахалина, итогом которых явились расчетные нормы максимального дождевого стока. Расчет-

ные параметры этих рекомендаций базируются на максимальных модулях дождевого стока, слоях осадков и их распределении по территории. А эти величины, как известно, не являются неизменными во времени. С увеличением информации их статистические характеристики меняются, что вызывает необходимость уточнения расчетных параметров не только региональных формул, но и проверки метода расчета. Поэтому исследование устойчивости расчетных параметров региональных методов расчета представляет определенный интерес как с практической, так и с научной точки зрения.

На примере региональных рекомендаций по расчету максимального дождевого стока рек Сахалина выполнено исследование по устойчивости расчетных параметров с увеличением рядов наблюдений. В качестве расчетной схемы была взята редукционная зависимость максимального модуля дождевого стока от площади водосбора: $M_{\max} = f(F)$.

В первом варианте при разработке региональных рекомендаций было использовано 25 гидрометрических створа с продолжительностью наблюдений до 23 лет в наиболее ливнеопасных районах острова.

В настоящее время ряды увеличились до 34 лет, из них в 21 пункте наблюдения ведутся более 20 лет.

С момента разработки расчетных норм максимального дождевого стока, а тогда использовались ряды наблюдений по 1961 г., на реках Сахалина прошли катастрофические паводки, сформированные рядом тайфунов.

Наиболее высокие паводки отмечались в 1970, 1978 и 1981 гг. При этом оказались значительно превышены ранее наблюдаемые расходы. Учитывая это, были проанализированы периоды наблюдений за стоком дождевых паводков по 1978 и 1981 гг. Таким образом, подвергались анализу, с соответствующей статистической обработкой, как бы три периода по водности. Причем водность каждого предыдущего периода в отношении максимальных дождевых расходов была меньше последующего.

В результате проделанной работы были получены районные редукционные формулы максимального дождевого стока 1%-ной обеспеченности для трех выделенных на Сахалине районов — западной части острова, центра и юга, восточной части. Кроме того, была получена общая формула и зависимость коэффициента вариации максимального дождевого стока по площади водосбора (табл. 1).

Анализируя формулы, видим, что расчетные параметры редукционной формулы с увеличением ряда наблюдений и включением в него лет повышенной водности во всех трех периодах не остаются постоянными. Наблюдается уменьшение показателя степени редукции и максимального элементарного модуля стока

**Районные формулы максимального дождевого стока
1%-ной обеспеченности и коэффициента вариации**

Район острова Сахалин	Редукционная формула с параметрами, вычисленными включительно по		
	1961 г.	1978 г.	1981 г.
Западная часть	$M_{1\%} = \frac{8,3}{F^{0,40}}$	$M_{1\%} = \frac{4,0}{F^{0,24}}$	$M_{1\%} = \frac{4,0}{F^{0,17}}$
Центр и юг острова	$M_{1\%} = \frac{9,1}{F^{0,40}}$	$M_{1\%} = \frac{4,0}{F^{0,30}}$	$M_{1\%} = \frac{4,0}{F^{0,15}}$
Восточная часть	$M_{1\%} = \frac{24,0}{F^{0,45}}$	$M_{1\%} = \frac{18,0}{F^{0,50}}$	$M_{1\%} = \frac{10,0}{F^{0,48}}$
Общая формула	—	$M_{1\%} = \frac{10,0}{F^{0,50}}$	$M_{1\%} = \frac{12,6}{F^{0,48}}$
Общая формула для C_v макси- мального дожде- вого стока	$C_v = 1,48 -$ $- 0,28 \lg F$	$C_v = 1,76 -$ $- 0,35 \lg F$	$C_v = 2,15 -$ $- 0,40 \lg F$

по сравнению с начальным периодом до 1961 г. Годы повышенной водности в дальнейшем оказали влияние на уменьшение показателя степени редукции, не изменив максимальный элементарный модуль стока. Исключение составляет восточная часть острова, где наблюдается уменьшение обоих показателей.

Что касается общей формулы без дифференциации по районам, то можно считать, что ее расчетные параметры изменились незначительно и находятся в пределах точности расчета.

Рассматривая зависимость C_v от площади водосбора, можно отметить увеличение всех параметров, входящих в формулу, с удлинением продолжительности наблюдений и включением в них лет повышенной водности.

Анализ средних максимальных расходов и модульных коэффициентов максимальных наблюденных расходов по отношению к их предыдущим значениям показал, что увеличение среднemaxимальных расходов воды на 30% привело к повышению модульных коэффициентов максимального расхода от 80 до 100 и более процентов (табл. 2). А это, естественно, вызывает изменение всех статистических характеристик рядов максимального стока и расчетных параметров редукционных формул — показателя степени редукции и максимального элементарного модуля стока.

Таким образом, все сказанное выше говорит о необходимости уточнения расчетных параметров редукционных формул по мере включения в ряд наблюдений лет повышенной или низкой

Таблица 2

Значения максимального дождевого стока за различные периоды водности

№ п/п	Река-пункт	Характеристика максимального стока, рассчитанные					
		по 1978 г.			по 1981 г.		
		$\bar{Q}_{\max}'$ ср.	$Q_{\max}'$ набл.	$k = \frac{Q_{\max}' \text{набл.}}{Q_{\max}' \text{ср.}}$	$\bar{Q}_{\max}'$ ср.	$Q_{\max}'$ набл.	$k = \frac{Q_{\max}' \text{набл.}}{Q_{\max}' \text{ср.}}$
1	Поронай — Кр. Октябрь	300	484	1,61	350	1340	3,83
2	Онорка — Онор	67,6	203	3,00	76,5	203	2,65
3	Гастелловка — Гастелло	50,7	280	5,52	70,5	533	7,56
4	Нитуй — Новое	159	481	3,02	184	868	4,71
5	Макарова — Макаров	209	656	3,14	259	1740	6,72
6	Найба — Быков	200	579	2,90	230	1410	6,13
7	Сусуя — Юж. Сахалинск	72,4	229	3,16	93,0	746	8,03
8	Рогатка — Юж. Сахалинск	5,70	12,5	2,11	8,46	67,3	7,96
9	Лютюга — Пятиречье	16,4	72,4	4,42	23,0	220	9,56
10	Тиобут — Чистоводное	97,7	318	3,25	132	1150	8,71
11	Лютюга — Чаплаково	18,5	63,0	3,40	22,6	139	6,15
12	Кострома — Костромское	33,5	137	4,09	41,4	233	5,63
13	Томаринка — Томари	70,9	260	3,67	91,2	535	5,87
14	Парусная — Парусное	18,6	74,9	4,03	22,5	100	4,44
15	Красногорка — Лопатино	67,7	246	3,65	93,5	691	7,37
16	Углегорка — Краснополье	134	873	6,53	184	1620	8,80
17	Лесогорка — Лесогорск	132	686	5,20	172	1230	7,15

водности. А критерием к такому пересмотру расчетной зависимости может служить увеличение среднемаксимального расхода уже на 25—30% и более.

Такие рекомендации могут быть использованы не только для условий Сахалина, но и в любом ливнеопасном районе страны, поскольку использование редуционных зависимостей без увеличения расчетных параметров вызывает занижение конечных результатов — расходов редкой повторяемости.

В работе использованы материалы дипломного проекта А. В. Доненберга по анализу катастрофического паводка на реках Сахалина 1981 г., выполненного под руководством доцента В. Г. Орлова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Георгиевский Ю. М., Орлов В. Г. — Максимальный сток рек Сахалина (по материалам экспедиции ЛГМИ 1961 г.). — Тр. ЛГМИ, 1962, вып. 13.
2. Орлов В. Г., Шелутко В. А., Соколова Т. А. — Выдающиеся паводки на реках Сахалина в 1965 году. — Сб. работ по гидрологии № 9, 1970.
3. Соколовский Д. Л., Орлов В. Г. — Расчетные нормы максимального дождевого стока на реках Сахалина. — Тр. ЛГМИ, 1965, вып. 23.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРОХОЖДЕНИЯ ОПАСНЫХ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ НА МАЛЫХ РЕКАХ ЗУГДИДСКОГО РАЙОНА ГРУЗИНСКОЙ ССР

Зугдидский район Грузинской ССР расположен, в основном, на Колхидской низменности в пределах нижнего течения р. Ингури и примыкает к Черному морю. Верхняя часть района имеет холмисто-равнинный рельеф, средняя высота над уровнем моря 200—300 м, сильно расчленена реками Джуми, Чхоуши, Кулис-Кари и их притоками. Уклоны русел рек не превышают 25‰, а в нижней части района общий уклон составляет 5—10‰. Густота речной сети в среднем 1,43 км/км². Водосборы имеют удлиненную форму со средней шириной 2,5—3,5 км.

Реки Зугдидского района имеют снего-дождевое и грунтовое питание. На большинстве рек многолетний характер колебания уровня воды в разные по водности годы однообразный, отличающийся лишь величиной паводков [1]. В отдельные годы с особыми гидрометеорологическими условиями на реках рассматриваемой территории наблюдаются катастрофические паводки, приводящие к наводнениям. При этом причиняется большой ущерб народному хозяйству. Наводнения обычно происходят в результате выпадения интенсивных ливневых дождей. Обычные паводки наблюдаются в течение всего года. Их количество колеблется от 3 до 7 в год. Самые большие паводки наблюдались на рр. Ингури (1941 г.) и Джуми (1977 г.); уровень воды поднялся соответственно на 4 и 5 м над предпаводочным уровнем. В последние годы паводки на р. Джуми с максимальными расходами воды от 200 до почти 800 м³/с прошли в 1975, 1977, 1978, 1980, 1982 и 1983 гг. и в несколько раз превысили многолетний максимум, наблюдавшийся до 1975 г. (181 м³/с).

Р. Джуми является характерной рекой Зугдидского района. Площадь водосбора составляет 368 км², длина 61 км, средняя высота 140 м, общее падение 304 м, густота речной сети 1,17 км/км², средний уклон 5,1‰ [2].

Верхняя часть бассейна относится к холмистым предгорьям, нижняя часть — к Колхидской низменности. Большая часть бассейна занята сельскохозяйственными угодьями зерновых культур, плантациями чая, табака, а также садами и огородами.

В геологическом строении бассейна р. Джуми в верховьях встречаются песчано-глинистые сланцы, мергели, конгломераты, известняки. В нижнем течении развиты аллювиальные отложения, состоящие из галечника, глин, ила и песка. Река течет в

извилистом и преимущественно неразветвленном русле. Дно потока ровное, преимущественно галечно-каменистое, в низовьях галечно-песчаное, местами илистое. Берега обрывистые или крутые, уступы террас высотой 2—3,5 м.

Для изучения формирования катастрофических паводков использованы данные стационарных наблюдений сети Госкомгидромета. В бассейне р. Джуми расположены четыре метеостанции. Бассейн р. Джуми, как бассейн причерноморского побережья, находится под влиянием воздушных масс, приносящих

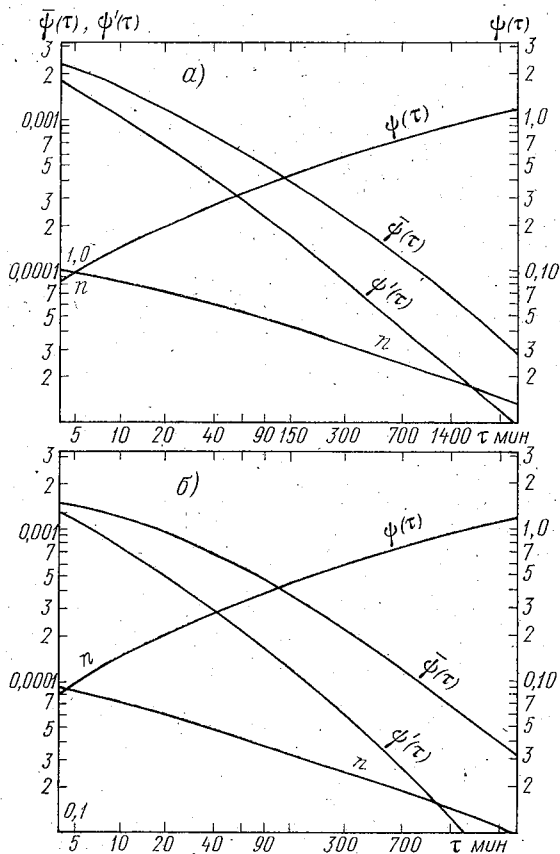


Рис. 1. Кривые редукции слоя осадков:
а — при $P = 1-4\%$; б — при $P = 20\%$.

много влаги, и поэтому сильно увлажнен. Большая расчлененность рельефа и преобладание значительных уклонов вызывает быстрое стекание дождевых вод в реки, поэтому паводки фор-

мируются быстро, за 60—150 мин. Ядро дождя меняется от 30 до 100 мин, а соответствующий ему слой осадков, охватывающий весь бассейн, составляет 70—90% от общего слоя осадков. Среднее количество осадков по бассейну во время формирования дождевых паводков колеблется от 170 до 35 мм за сутки. Средние интенсивности меняются от 0,30 до 0,50 мм/мин, а максимальные интенсивности не превышают 2,20 мм/мин. Кривые редукции слоя осадков строились в относительных величинах (рис. 1) с обеспеченностью $P = 1-4\%$ и $P = 20\%$ [3]. Показатель редукции $n = \frac{\psi'(\tau)}{\psi_P(\tau)} = f(\tau)$. Коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s средних суточных осадков имеют значения 0,41 и 0,90.

Паводки 6/VIII 1977, 7/VII 1982, 23/XI 1980, 1/III 1982, 22/VII 1980, 24/VIII 1983 гг., мгновенные расходы которых соответственно равны 789, 612, 471, 463, 454, 412 м³/с, сформировались в результате выпадения соответственно 100, 61, 46, 97, 35, 63 мм осадков в среднем по бассейну за сутки. Осадки охватывают всю территорию бассейна. На метеостанции Зугдиди (117 м) соответственно выпали 171, 112, 146, 105, 123, 155 мм осадков. Совмещенные графики хода отдельных паводков и паводкообразующих осадков на р. Джуми — с. Дарчели приво-

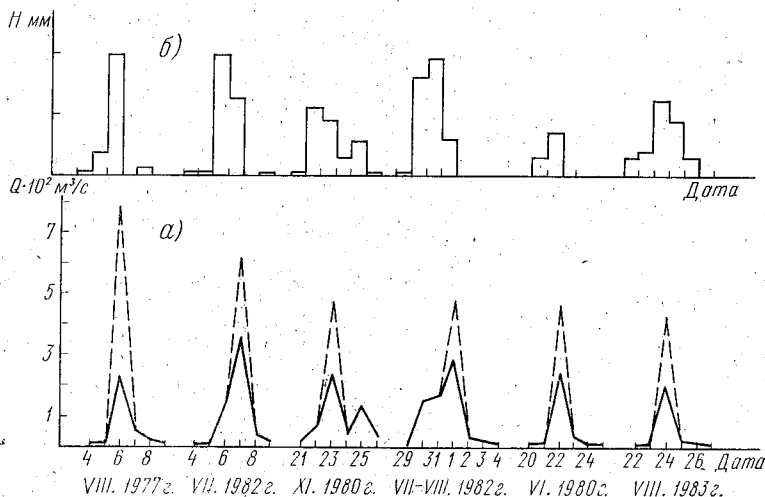


Рис. 2. Совмещенные графики хода отдельных паводков (а) и паводкообразующих осадков (б) на р. Джуми — с. Дарчели: — — — гидрограф мгновенных Q ; — гидрограф осредненных Q .

дятся на рис. 2. Коэффициент стока меняется от 0,30 до 0,65 в зависимости от предшествующей увлажненности почвы.

Имеется 19-летний материал гидрологических наблюдений за расходами. Коэффициенты вариации и асимметрии ежегодных максимальных расходов равны 0,82 и 3,1.

Для условий Закавказья Г. Д. Ростомовым [4] предложена эмпирическая формула вида:

$$q = \frac{B}{(F + b)^n}, \quad (1)$$

где q — макс. модуль стока в $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$; B — максимальный модуль притока в $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$; F — площадь водосбора в км^2 ; b — параметр, характеризующий затухание редукции модуля в зоне малых площадей; n — показатель степени редукции. Для данного района рекомендована формула

$$q_{1\%} = \frac{52}{(F + 1)^{0,55}}. \quad (2)$$

По этой формуле получается $q_{1\%} = 2,02 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ или $Q = 743 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для расчета максимальных мгновенных расходов воды дождевых паводков СНиП 2.01.14-83 рекомендует формулу предельной интенсивности стока

$$Q_{P\%} = q'_{1\%} \cdot \varphi \cdot H'_{1\%} \cdot \delta \cdot \lambda_{P\%} \cdot A, \quad (3)$$

где $q'_{1\%}$ — максимальный модуль стока ежегодной вероятности превышения $P = 1\%$; $H'_{1\%}$ — максимальный суточный слой осадков вероятностью превышения $P = 1\%$; φ — сборный коэффициент стока; A — площадь водосбора; $\lambda_{P\%}$ — переходный коэффициент от вероятности превышения 1% к другой вероятности.

По формуле (3) получаем $Q_{1\%} = 625 \text{ м}^3/\text{с}$.

Кривые обеспеченности строились на клетчатке вероятностей со значительной асимметричностью и экстраполировались по биномиальной кривой распределения (рис. 3) по совокупности всех максимальных расходов, превышающих минимальный из максимальных ежегодных расходов. Число членов ряда увеличилось до 47. Вероятность превышения определялась по формуле

$$P = \frac{m}{n + 1} 100\%. \quad (4)$$

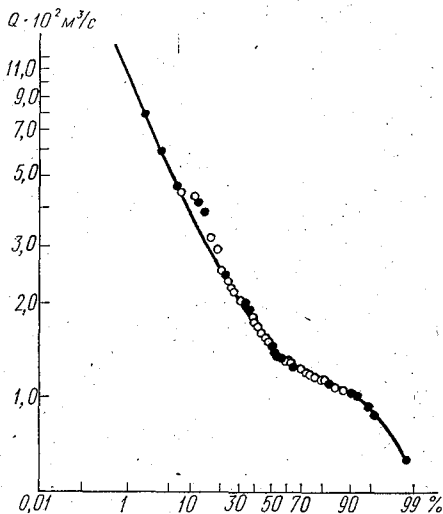


Рис. 3. Кривая обеспеченности по совокупности всех максимальных расходов воды р. Джуми — с. Дарчели; ● — ежегодные максимальные расходы.

Максимальный расход 1%-ной обеспеченности после экстраполяции получился $Q = 1030 \text{ м}^3/\text{с}$. Коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s удлиненного ряда равны $C_v = 0,70$, $C_s = 2,1$.

Получается, что наибольшую роль в формировании паводков играют осадки наиболее близкорасположенные к замыкающему створу. Катастрофические паводки наблюдаются во время осадков охватывающих весь бассейн.

Требуется уточнения региональная формула Г. Д. Ростомова и формула предельной интенсивности стока для данного района.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации к составлению справочника по водным ресурсами СССР, вып. 7, ч. III: Определение расчетных характеристик дождей осадков. — Л.: Изд. ГГИ, 1962.

2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 9, вып. I. — Л.: Гидрометеоздат, 1969. — 312 с.

3. Технические указания по расчету максимального стока рек в условиях Кавказа. Под редакцией Г. Д. Ростомова. Третье издание (с дополнением). — Тбилиси, 1980, 71 с.

4. Хмаладзе Г. Н. Внутригодовое распределение стока рек Грузии. — Труды ТбилНИГМИ, 1962, вып. 10, с. 121—164.

УДК 556.166.4

Н. Н. СОЛОВЬЕВА (ЛГМИ), ХОНГ СЕН ЗИН (КНДР)

УЧЕТ ПОТЕРЬ И ВРЕМЕНИ ДОБЕГАНИЯ В РАСЧЕТАХ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА (НА ПРИМЕРЕ КНДР)

Расчет максимальных расходов воды при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, как известно, осуществляется по формулам. К настоящему времени разработано большое число формул, в частности, для вычисления максимальных расходов дождевых паводков. Условно их можно разбить на однофазовые и объемные. Среди однофазовых можно выделить формулы, основанные на использовании только гидрологических данных, и многочисленную группу формул, которые основаны на использовании как гидрологической, так и метеорологической информации. Последние в общем виде могут быть представлены как:

$$Q_p = q_p F = k a_{TP} \alpha \varphi \delta_1 \delta_2 F, \quad (1)$$

где Q_p и q_p — соответственно максимальные расход и модуль вероятности превышения $P\%$; k — коэффициент размерности; a_{TP} — максимальная интенсивность осадков расчетной продолжительности T и вероятности превышения $P\%$; α — коэффици-

ент стока; ϕ — коэффициент редукии максимальных модулей стока по площади или продолжительности; δ_1, δ_2 — коэффициенты снижения максимумов регулируемыми факторами; F — площадь водосбора. Параметры этих формул определяются на основании обработки многолетних данных по записям дождей самописцами, осадкомерами, максимальным расходам воды и объемам паводков. Особый интерес и перспективу имеют те формулы, в которых параметры определяются независимым путем.

При разработке формул встают задачи определения интенсивности осадков за расчетную продолжительность и характеристик потерь.

Учет потерь в расчетах максимального стока является одной из сложных задач. Наиболее надежно она решается путем использования объемных коэффициентов стока, которые могут быть определены по данным об осадках и стока на малых водотоках. Исследования потерь для территории Коре́йской Народно-демократической республики выполнены по данным 36 малых водосборов экспериментальной сети с площадями меньшими 2000 км², чтобы исключить влияние неоднородности охвата территории дождем. В основном учитывались одномодальные паводки. Сложные паводки расчленялись на простые по типовым кривым спада. Срезка грунтового питания производилась с учетом меженного стока в продолжительные бездождевые периоды. Осадки за паводки определялись по данным всех метеостанций, расположенных в пределах водосборов. По данным осадков и слоев стока за паводки для каждого пункта построены их графики связи. На каждом графике наблюдается значительный разброс точек, одному и тому же слою осадков соответствуют различные слои стока за паводки. Наибольшие слои соответствуют случаям выпадения осадков на хорошо увлажненную почву. В данной работе потери определялись для расчетов максимального стока, поэтому целесообразно определять минимально возможные в каждом районе потери. Очевидно они могут быть охарактеризованы средними из максимальных коэффициентами стока, которые определяются по связям слоев стока и паводкообразующих осадков.

Общий вид зависимости слоев стока (h) от осадков (H) принят:

$$h = \alpha (H - H_0), \quad (2)$$

где α — значения средних максимальных коэффициентов стока; H_0 — начальные потери, соответствующие фазе начальной интенсивности инфильтрации.

Анализ изменения коэффициентов стока по территории КНДР показал их зональность и зависимость от физико-географических условий и величин увлажнения. Коэффициенты стока изменяются в пределах 0,70—1,00. Наименьшие значения на-

блюдаются в закрытых северных районах плоскогорий. Самые высокие коэффициенты стока наблюдаются в северо-западных приморских районах высокого увлажнения. Эти районы легко доступны влагонесущим циклонам и тайфунам. Речные долины здесь обращены к муссонным потокам. Поднятие воздушных масс по склонам района благоприятствует частому выпадению значительных осадков и формированию серий паводков. При прохождении последних паводков осадки стекают практически без потерь. На рис. 1 приведена полученная в работе схема изолиний средних максимальных коэффициентов стока.

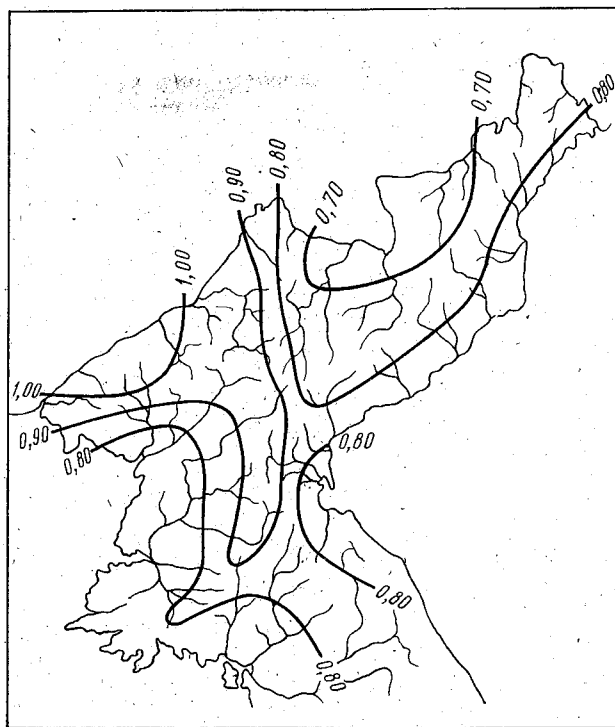


Рис. 1. Распределение максимальных коэффициентов стока.

Начальные потери изменяются в пределах 18—24 мм и могут быть приняты в среднем для всей территории равными 20 мм.

Важнейшим фактором, влияющим на формирование паводков, является добегание ливневых вод по бассейну и русловой сети до замыкающего створа. Постепенное добегание и суммирование стекающих ливневых вод с частных бассейнов и регулирование их являются основными факторами, превращающими неравномерный по интенсивности дождь в паводок. При расче-

те максимальных расходов дождевых паводков по однофазовым формулам и объемным встает задача определения расчетной продолжительности дождя, которая назначается в зависимости от времени добегаания.

В большом числе формул и методов расчетов максимального стока за расчетную характеристику времени добегаания принимается время сдвига между моментами наступления максимумов осадков и стока или как интервал времени между моментами наступления центра тяжести эффективных осадков и пика или центра тяжести паводка. В ряде методов используется бассейновое время добегаания, которое представляет собой сумму руслового и склонового. Эта характеристика легко определяется по совмещенным графикам осадков и стока в замыкающем створе как разница между моментами конца паводка на линии грунтового питания и окончания эффективных осадков.

Определение характеристик времени добегаания произведено по совмещенным графикам хода осадков и стока в замыкающих створах 41 экспериментальных бассейнов, расположенных в различных физико-географических районах КНДР. На рис. 2

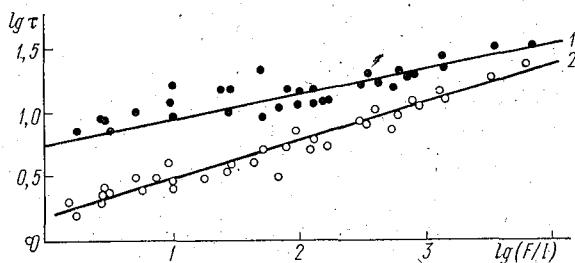


Рис. 2. Зависимости бассейнового времени добегаания (1) и времени сдвига максимумов стока и осадков (2) от площадей водосборов и уклонов рек.

приведены зависимости времени сдвига ($\tau_{сдв}$) и бассейнового времени добегаания (τ_0) от площадей водосбора (F) и средневзвешенного уклона (I), которые аппроксимированы уравнениями:

$$\tau_{сдв} = 1,62 \left(\frac{F}{I} \right)^{0,28}; \quad (3) \quad \tau_0 = 6,03 \left(\frac{F}{I} \right)^{0,19}. \quad (4)$$

Таким образом, зависимость характеристик времени добегаания от морфометрических характеристик рек и водосборов в общем виде может быть представлена как:

$$\tau = k \left(\frac{F}{I} \right)^n. \quad (5)$$

Численные значения коэффициентов (k и n) этих связей зависят от вида самой характеристики, а также от физико-геогра-

фических особенностей района и морфометрических условий строения речной сети.

Являясь стоковыми характеристиками водосборов они являются показателями регулирующей способности бассейнов. Очевидно, что численные значения коэффициентов зависимости вида (5) должны изменяться по физико-географическим зонам.

Сравнивая между собой содержание и методику определения $\tau_{сдв}$ и τ_0 можно отметить следующее. Время сдвига меняется от паводка к паводку в больших пределах. Иногда бывают случаи совпадения моментов наступления максимумов осадков и стока, т. е. $\tau_{сдв} = 0$, что объясняется тем, что значение этой характеристики зависит от положения ядра дождя в бассейне. При расположении ядра в нижней части водосбора $\tau_{сдв}$ значительно меньше, чем для случаев размещения ядра в верховьях. Кроме того не ясно физическое содержание этой характеристики. Поэтому использование этой величины в расчетах максимального стока нецелесообразно. Бассейновое время добегания имеет определенное содержание и небольшие пределы колебания. Отмечается зависимость этой характеристики от интенсивности осадков. При выпадении интенсивных дождей и формирования высоких паводков намечается уменьшение τ_0 по сравнению с незначительными паводками. Это объясняется увеличением в первом случае склоновых и русловых скоростей стекания и уменьшения регулирующей способности бассейнов. Для исключения влияния интенсивности осадков на значение τ_0 эта характеристика была определена только по высоким паводкам.

Из генетической формулы следует, что для случаев, когда продолжительность паводкообразующих осадков больше бассейнового времени добегания, максимальная ордината формируется за счет наиболее интенсивной части дождя за расчетное время, равное бассейновому времени добегания.

Таким образом, для условий продолжительных дождей их слой и интенсивность должны быть приняты за интервал времени равный бассейновому времени добегания. Значение τ_0 неизученных бассейнов может быть рассчитано по формулам, аналогичным (5) по морфометрическим характеристикам водосборов F и I , которые обычно определяются по топографическим картам.

Характеристика возможных потерь стока, а именно значения средних максимальных коэффициентов стока могут быть определены по объемным коэффициентам. Средние максимальные коэффициенты стока изменяются по зонам и картируются.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИКОВОГО РЕЖИМА ГИДРОУЗЛА КИШКЕРЕ НА р. ТИССА (ВНР)

Исследование пикового режима гидроузла дает возможность проанализировать причины разрушения берегов в нижнем бьефе водохранилища. Кроме того, зная характер распространения пиковых волн можно в некоторой степени уточнить краткосрочные прогнозы уровней и расходов воды на расположенных ниже водохранилища станциях.

Учитывая это обстоятельство с 23-го по 27-е августа 1982 г. на участке р. Тиссы: Кишкере — Мартфы были произведены исследования пикового режима гидроузла Кишкере [1]. В ходе исследований на девяти водомерных постах каждые 15 минут велись наблюдения над уровнем воды и на четырех станциях измерялись расходы воды. Станция выбиралась таким образом, чтобы при удалении от водохранилища расстояние между ними возрастало.

1. Обработка исходных данных

Измерения уровней воды производились на следующих постах: Кишкере верхний (402,4 км от устья), Кишкере нижний (402,2 км от устья), Тиссабура (393,0 км от устья), Тиссашый (385,0 км от устья), Тиссарофф (379,6 км от устья), Тиссабё (367,8 км от устья), Сайоль (342,6 км от устья), Сольнок (333,4 км от устья), Мартфы (306,9 км от устья). Измерения расходов — на станциях Кишкере (по данным ГЭС), Тиссабура, Тиссабё и Сольнок.

По данным измерений и расчетов были построены гидрографы уровней воды и определены гидравлико-морфометрические характеристики реки. При этом на тех станциях, где были измерения расходов воды, гидрографы стока определялись по формуле $Q = K \sqrt{I}$, где K — модульная характеристика расхода, зависящая от уровня воды; I — уклон водной поверхности.

На тех станциях, где измерения расходов отсутствовали, гидрографы стока определялись на основе интерполяции значений K .

2. Анализ прохождения пиковых волн

Во время наблюдений производилось 8 пусков. В это же время на реке прошел небольшой паводок, оказавший некоторое влияние на прохождение пиковых волн.

Пиковые волны от станции Кишкёре до станции Тиссарофф практически не меняют свою форму. От станции Тиссабё до станции Сольнок волны значительно распластываются, и на станции Мартфы влияние попусков уже практически не прослеживается. Общий характер распластывания попусков на участке Кишкёре — Мартфы описывается по экспоненциальной кривой.

Скорости прохождения пиковых волн на участке Кишкёре — Тиссабура весьма значительны: 6,75 — 10,1 м/с. По мере удаления от Кишкёре скорости уменьшаются. Так на участке Сайоль — Стольнок они составили 2,4 — 5,2 м/с. На участке Кишкёре — Стольнок время добегания максимальных уровней, в зависимости от высоты пиковых волн изменялось от 3,6 до 8,5 ч.

На кривых расходов воды — особенно на верхних станциях — хорошо выделяются маленькие петли за счет попусков и большая петля за счет паводка, проходившего на реке.

3. Моделирование пикового режима гидроузла

Моделирование пикового режима гидроузла основывается на решении хорошо известного уравнения Сен-Венана, уравнения неразрывности и динамического уравнения:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial t} - q = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} - \alpha' Fr \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{2\alpha' Q}{\partial F^2} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\alpha''}{\partial F} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q^2}{K^2} - i_0 = 0, \quad (2)$$

где Q — расход; F — площадь живого сечения; h — глубина воды; K — модуль расхода; g — ускорение свободного падения; Fr — число Фруда; x — длина участка; t — время; α' — коэффициент, учитывающий силы, затрачиваемые на изменение скорости по длине потока; α'' — коэффициент, учитывающий силы на преодоление сопротивления, вызванного изменением скорости в данном сечении; q — приток воды на участке реки; i_0 — уклон дна.

Произведем следующие упрощения:

$$\alpha' = \alpha'' = 1, \quad \alpha' Fr \frac{\partial F}{\partial x} = 0.$$

Так как на участке нет притока или оттока, то $q = 0$. Подставляем выражение $\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} - i_0$ в уравнение (2), где z — уровень воды в реке, получим:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial z}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{2Q}{gF^2} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{1}{gF} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q^2}{K^2} = 0. \quad (4)$$

Введем следующие обозначения:

$$A_1 = \frac{Q}{gF^2}; \quad A_2 = \frac{1}{gF}; \quad A_3 = \frac{Q^2}{K^2}, \quad (5)$$

тогда:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial z}{\partial t} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial z}{\partial x} + 2A_1 \frac{\partial Q}{\partial x} + A_2 \frac{\partial Q}{\partial t} + A_3 = 0. \quad (7)$$

Производные $\frac{\partial z}{\partial t}$, $\frac{\partial z}{\partial x}$, $\frac{\partial Q}{\partial t}$, $\frac{\partial Q}{\partial x}$ для практических решений можно выразить следующими конечными разностями

$$\begin{aligned} \frac{\partial z}{\partial t} &= \frac{Z_{i,j+1} - Z_{i,j-1}}{2\Delta t}; & \frac{\partial z}{\partial x} &= \frac{Z_{i+1,j} - Z_{i-1,j}}{x_{i+1} - x_{i-1}}; \\ \frac{\partial Q}{\partial t} &= \frac{Q_{i,j+1} - Q_{i,j-1}}{2\Delta t}; & \frac{\partial Q}{\partial x} &= \frac{Q_{i+1,j} - Q_{i-1,j}}{x_{i+1} - x_{i-1}}, \end{aligned} \quad (8)$$

где i — номер станции; j — момент времени; Δt — интервал времени.

Подставляем (8) в уравнения (6), (7). Тогда их решения относительно $Z_{i,j+1}$ и $Q_{i,j+1}$ приводят к формулам:

$$Z_{i,j+1} = Z_{i,j-1} - \frac{2\Delta t}{B_{i,j}} \frac{Q_{i-1,j} - Q_{i+1,j}}{x_{i+1} - x_{i-1}}; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} Q_{i,j+1} &= Q_{i,j-1} - \\ &- \frac{2\Delta t}{A_2} \left(A_3 + \frac{2A_1(Q_{i+1,j} - Q_{i-1,j}) + Z_{i+1,j} - Z_{i-1,j}}{x_{i+1} - x_{i-1}} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

В данном случае узлы реки заранее установлены. Чтобы избежать неустойчивости решения, возникающего при Δt большом относительно Δx была произведена проверка выполнения критерия Куранта — Фридриха — Леви [2]

$$\omega \frac{\Delta t}{\Delta x} < 1, \quad (11)$$

где ω — скорость распространения паводка.

Для решения поставленной задачи необходимо задать: начальные ($Q_{i,j=1}$; $Z_{i,j=1}$; $F_{i,j=1}$; $B_{i,j=1}$), верхние ($Q_{i=1,j}$; $Z_{i=1,j}$)

и нижние граничные условия ($Q_{i=n, j}$; $Z_{i=n, j}$). При этом для определения верхних граничных условий принимались данные работы ГЭС Кишкёре. В качестве нижних граничных условий принимались данные станции Мартфы. Расчеты Q и Z проводились в каждом (i, j) узле.

Ранее приведенные данные [3] показали, что результаты расчетов в значительной степени зависят от точности определения зависимостей $F = f(x, Z)$, $B = f(x, Z)$ и $K = f(x, Z)$. На реке Тисса через 3 км имеются зависимости $F = f(Z)$ и $B = f(Z)$. Несмотря на это, после определения характерных участков, чтобы знать значения F и B необходимо произвести линейную или нелинейную интерполяцию, в результате которой получаются осредненные морфометрические и гидравлические характеристики по участкам. Полученные таким образом характеристики не могут быть точными из-за значительного изменения геометрических очертаний русла по длине реки.

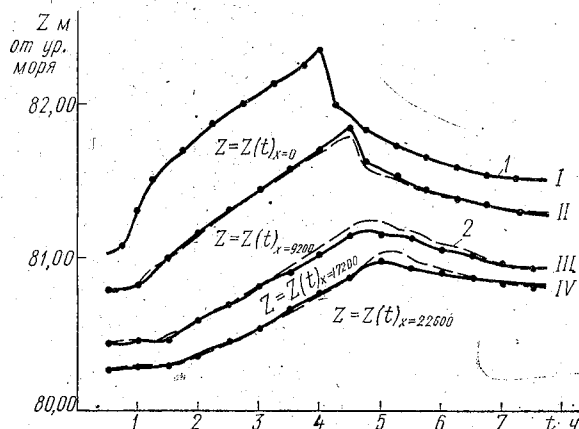


Рис. 1. Изменения уровней воды по длине реки: 1 — наблюдаемые; 2 — рассчитанные значения; I, II, III, IV — номера водомерных постов.

Задача определения K в каждом рассчитанном узле еще сложнее. Так, на равнинных реках, где уклон дна незначительный, не существуют однозначные кривые зависимостей расходов от уровней, а можно только установить зависимость $K = f(Z)$. Как отмечалось выше, в данном случае расходы воды на станциях определялись по зависимости $Q = K \sqrt{I}$. Для определения $K = f(H)$ необходимо измерение расходов воды. На тех станциях (в узлах), где расходы воды не измерялись, проводились уровенные наблюдения. Таким образом, можно избежать хотя бы интерполяции уровней.

Конкретные расчеты по формулам (9) и (10) производились на заранее установленных участках. Расчетный интервал времени Δt принимался равным 15 мин. Дальнейшее уменьшение Δt уже не имеет смысла. Как показали данные расчетов, представленные на рис. 1 и 2 уравнение (9) и (10) при отсутствии

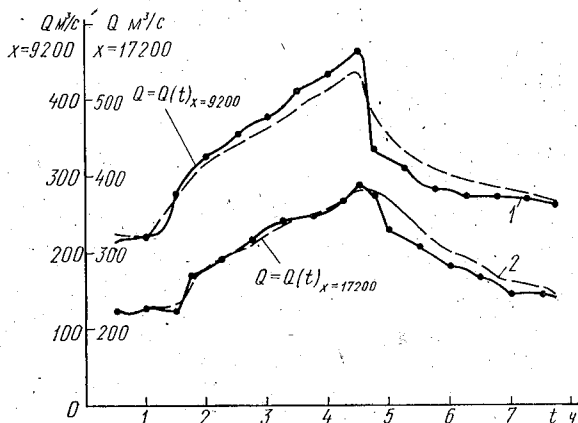


Рис. 2. Изменения расходов воды:
1 — наблюдаемые; 2 — рассчитанные значения.

резких изменений расходов воды достаточно точно описывают прохождения пиковых волн на данном участке. Во время резкого изменения расходов и уровней, уравнение (9) дает хорошие, уравнение (10) удовлетворительные результаты. Таким образом, опыт проведенных расчетов показывает, что несмотря на некоторые упрощения в методике за счет уменьшения роли интерполяции гидравлических характеристик формулы (9) и (10) обеспечивают удовлетворительные совпадения наблюдаемых и рассчитанных значений стока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковач Ш. Опыт эксплуатации гидроузла Кишкёре на Тиссе. Вопросы гидротехники. — Будапешт: 1983, вып. 3.
2. Козак М. Расчет неустановившегося движения воды в открытых водотоках. — Будапешт: изд. Академии, 1977.
3. Сабв Э. Исследование неустановившегося движения воды на верхнем и нижнем бьефе гидроузла Кишкёре. — Будапешт: 1976.

УДК 556.16.048

А. А. САМОХИН, А. М. СТАСЮК (ЛГМИ)

ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОДОВОГО СТОКА РЕК РАВНИННОЙ ЧАСТИ ЕТС

Для комплексного использования рек необходимы гидрологические данные не только по норме годового стока, но и по

стоку рек в маловодные и многоводные годы заданной повторяемости.

Как известно, годовой сток различной повторяемости определяется по кривым обеспеченности, основным параметром которых, помимо нормы, является коэффициент изменчивости годового стока (C_{v_y}). При отсутствии данных гидрометрических

наблюдений его значения часто рассчитывают по эмпирическим интерполяционным формулам, полученным многими авторами на основе учета некоторых физико-географических факторов речных водосборов. К последним для равнинных районов ЕТС разные авторы часто относили размер площади водосбора, процент озерности, величину среднегоголетнего модуля стока. Эта группа формул наиболее многочисленна. К ней относятся формулы Д. Л. Соколовского, М. Э. Шевелева, Н. Д. Антонова, С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля, К. П. Воскресенского и др.

Вторая группа формул (формулы Н. П. Чеботарева и Л. К. Давыдова) исходит из уравнения водного баланса и в конечном своем виде учитывает зависимость коэффициента изменчивости годового стока от коэффициента изменчивости годовых сумм осадков и коэффициента стока без учета размера площади водосбора.

Вопрос о степени влияния тех или иных факторов на изменчивость годового стока имел и имеет не только научное, но и большое практическое значение.

По мере накопления и уточнения данных наблюдений за атмосферными осадками и речным стоком назрела необходимость проверки влияния их характеристик на изменчивость годового стока с целью установления ее расчетной формулы. К тому же до последнего времени не было опубликованных данных по изменчивости выпадающих атмосферных осадков, поэтому не представлялось возможным установить по опытным данным степень влияния изменчивости годовых сумм осадков на изменчивость годового стока рек.

Расчетная формула коэффициента изменчивости годового стока должна включать в себя основные факторы, влияние которых, установленное опытным путем, является наиболее весомым и преобладающим.

Целью настоящего небольшого исследования в начальном этапе явилось установление тесноты связи между коэффициентом изменчивости годового стока (C_{v_y}) с коэффициентом изменчивости годовых сумм осадков (C_{v_x}), коэффициентом стока (α), нормой годового стока (M_0) и размером площади водосбора (F) для равнинной части ЕТС без подразделения ее по географическим зонам. Для выполнения поставленной задачи

были использованы данные по нормам и коэффициентам изменчивости годового стока, помещенные в справочнике по водным ресурсам. Коэффициенты изменчивости месячных сумм осадков заимствованы из справочника по климату для 60 метеостанций, равномерно расположенных по равнинной части ЕТС с рядами наблюдений более 70 лет.

Расчет коэффициентов изменчивости годовых сумм осадков (C_{v_x}) был произведен пересчетом коэффициентов изменчивости месячных сумм осадков по формуле

$$C_{v_x} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{12} C_{v_j}^2 \bar{X}_j^2 + \sum_{j=1}^{12} \bar{X}_j^2 + 2 \left(\bar{X}_1 \sum_{j=2}^{12} \bar{X}_j + \bar{X}_2 \sum_{j=3}^{12} \bar{X}_j + \dots + \bar{X}_{11} \bar{X}_{12} \right)}{\bar{X}^2}} - 1,$$

где C_{v_j} — коэффициент изменчивости месячных сумм осадков; $\bar{X}_j$ — норма месячных сумм осадков; $\bar{X}$ — норма годовых сумм осадков; $j = 1, 2, \dots, 12$ — месяцы года.

По рассчитанным значениям коэффициентов изменчивости годовых сумм осадков была построена, для равнинной части ЕТС, карта изолиний их значений.

Общее распределение коэффициентов изменчивости годовых сумм осадков (C_{v_x}) по равнинной части ЕТС носит характер широтной зональности, изменяясь от 0,13—0,16 на севере и северо-западе до 0,20—0,27 на юге и юго-востоке.

Для определения степени влияния коэффициентов изменчивости годовых сумм осадков на изменчивость годового стока рек были подобраны опорные речные водосборы с учетом следующих условий. Во-первых, метеостанции, для которых подсчитывались значения C_{v_x} , были, как можно ближе расположены к центру тяжести водосбора. Во-вторых, опорные водосборы не должны иметь карста и озер — естественных регуляторов годового стока, а размеры их — не превышать 50 000—60 000 км².

Для установленных таким образом опорных водосборов были построены эмпирические зависимости: $C_{v_y} = f(C_{v_x})$; $C_{v_y} = f(\alpha)$; $C_{v_y} = f(M_0)$; $C_{v_y} = f(F)$, изображенные на рис. 1—4.

Для выявления тесноты связи коэффициента изменчивости годового стока с указанными выше факторами были подсчитаны парные коэффициенты корреляции.

Как видно из рис. 1, зависимость коэффициента изменчивости годового стока от коэффициента изменчивости годовых сумм осадков носит прямолинейный характер, связь достаточно тесная и характеризуется коэффициентом корреляции $r = 0,72$ и уравнением регрессии, имеющим вид:

$$C_{v_y} = 5,15 C_{v_x} - 0,49.$$

На рис. 2 изображена зависимость коэффициента изменчивости годового стока от коэффициента годового стока α . Эта зависимость менее тесная и имеет обратный характер. Коэффициент корреляции этой связи $r = -0,66$. Такая же теснота свя-

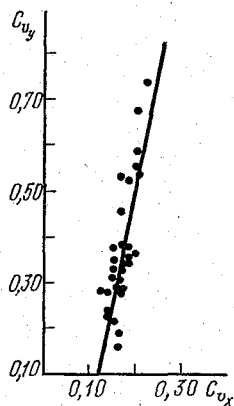


Рис. 1. Зависимость $C_{vy} = f(C_{vx})$.

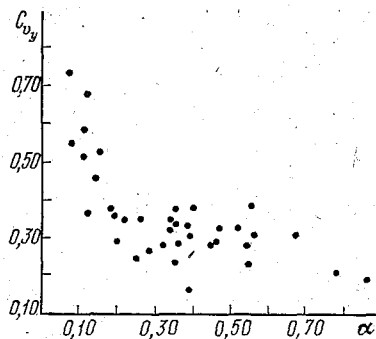


Рис. 2. Зависимость $C_{vy} = f(\alpha)$.

зи получена и для зависимости $C_{vy} = f(M_0)$, для которой $r = -0,69$ (рис. 3).

На рис. 4 представлена связь между коэффициентом изменчивости годового стока и размером площади водосбора (F).

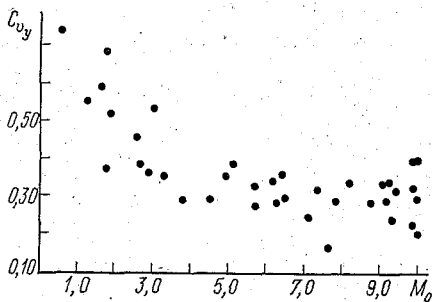


Рис. 3. Зависимость $C_{vy} = f(M_0)$.

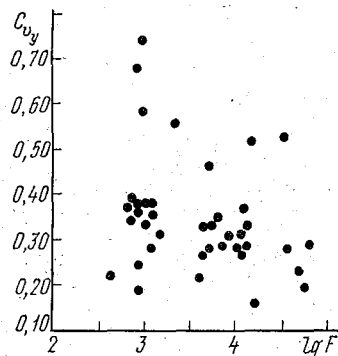


Рис. 4. Зависимость $C_{vy} = f(\lg F)$.

Большой разброс точек ($r = -0,45$) указывает на то, что размер площади водосборов мало влияет на коэффициент изменчивости годового стока.

Результаты этого исследования показывают, что наибольшее влияние на величину коэффициента изменчивости годового стока оказывает коэффициент изменчивости годовых сумм осадков, а не норма годового стока (M_0) или, тем более, размер площади водосбора, которые являлись основными расчетными параметрами большинства формул для определения C_v при отсутствии наблюдений. Поэтому, исходя из результатов исследования, коэффициент изменчивости годовых сумм осадков в явном виде должен быть одним из основных параметров расчетной формулы коэффициента изменчивости годового стока.

Как отмечалось выше, зависимости коэффициента изменчивости годового стока от указанных факторов были получены в целом для равнинной части ЕТС. В дальнейшем предполагается рассчитать методом множественной корреляции зависимости коэффициентов изменчивости годового стока от определяющих его факторов отдельно для разных географических зон ЕТС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Н. Д. Изменчивость годового стока рек Европейской части СССР. — Тр. НИУ ГУГМС, сер. IV, вып. 2. Гидрометеиздат, 1941.
2. Воскресенский К. П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. — Л.: Гидрометеиздат, 1962.
3. Давыдов Л. К. Водоносность рек СССР, ее колебания и влияние на нее физико-географических факторов. — Л.: Гидрометеиздат, 1947.
4. Давыдов Л. К. О влиянии физико-географических факторов на изменчивость годового стока рек. — Метеорология и гидрология, 1948, № 4.
5. Соколовский Д. Л. Речной сток. — Л.: Гидрометеиздат, 1968.
6. Соколовский Д. Л. О факторах, влияющих на изменчивость годового стока. — Метеорология и гидрология, 1968, № 4.
7. Шевелев М. Э. Формулы коэффициента вариации годового стока. — Тр. НИУ ГУГМС, 1946, сер. IV, вып. 29.
8. Чеботарев Н. П. О коэффициентах вариации годового стока для малых рек. — Метеорология и гидрология, 1951, № 6.

УДК 556.047

А. П. КОПЫЛОВ, А. Б. ЗАВОДЧИКОВ (ГГИ)

К ВОПРОСУ СОСТАВЛЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

Как известно, картографический метод нашел широкое применение во многих областях географии, в том числе и гидрологии, поскольку карты обладают не только способностью наглядного пространственного представления информации, но и позволяют также делать конкретные выводы о процессах, происходящих в природе. Применимость картографических методов для решения многих задач гидрологии не вызывает никаких сомне-

ний, более того, картографирование гидрологических характеристик признается одним из основных приемов комплексных территориальных обобщений с учетом влияния географической зональности и стокоформирующих факторов [5]. Картографирование элементов водного баланса, например, признается одним из основных методов комплексных гидрологических исследований, позволивших произвести оценку водных ресурсов, наметить пути их рационального использования и охраны [1].

Проблема развития математического моделирования в гидрологии, как одного из широко используемых в настоящее время способов анализа и обобщения гидрологической информации, также, по нашему мнению, тесно связана с картографическим методом, поскольку карта сама по себе уже является моделью местности, на которой происходят все гидрологические процессы. Разрабатываемые в настоящее время математико-картографические модели [2], по-видимому, станут одним из средств познания пространственно-временных гидрологических закономерностей, действующих в пределах водосбора или какой-либо территории. Это тем более важно, что изучение этих закономерностей в реальной природе не всегда возможно, так как они осложняются многочисленными второстепенными физико-географическими явлениями и факторами.

Таким образом, процесс развития и совершенствования методов составления гидрологических карт и картографического метода территориальных гидрологических обобщений, является неотъемлемой частью общего процесса развития научных методов гидрологии суши.

В последнее десятилетие составление гидрологических карт приобретает все более широкий размах.

И все же в гидрологии, как утверждает С. Л. Вендров [4], пока еще преобладает временной анализ особенностей режима речных бассейнов. Недостаточное внимание пространственно-временному анализу ярко выраженных пространственно-временных гидрологических явлений и процессов обусловило существенное отставание в развитии теоретических и методических основ гидрологического картографирования.

Широкое использование карт в гидрологической практике в научных исследованиях и особенно в инженерных расчетах, требует более глубокого теоретического и методического обоснования их построения в соответствии с уровнем развития гидрологии и тематического картографирования.

В настоящее время карты стока и другие гидрологические карты составляются с помощью традиционных методов [6, 7, 8, 9, 10].

Например, существующая традиционная методика составления карт стока складывается из следующих основных этапов:

а) сбор, анализ, обработка исходной гидрологической информации и подготовка ее для картографирования (вычисле-

ние статистических величин расходов, нормы стока с водосборов до замыкающих створов и др.);

б) выбор рек с соответствующей площадью водосбора, норма стока которых может быть использована для составления карты;

в) выбор географической основы;

г) определение геометрических центров или центров тяжести водосборов на карте;

д) нанесение в центрах водосборов на карте величин нормы стока, вычисленной для всего водосбора;

е) проведение на карте изолиний стока на основе данных о стоке, отнесенных к центрам водосборов, путем их интерполяции и географической экстраполяции.

Внешне может показаться, что все очень просто и ясно. Однако не все ясно и отнюдь не просто. Расход воды, например, измеряемый, как известно, в пунктах наблюдений, является информацией дискретной во времени и точечной в пространстве, причем точечной не по площади, а лишь по линии вдоль русла реки. Затем эта точечная информация (расходы) в результате обобщений и статистических вычислений преобразуется в площадную — норму стока (например, в мм слоя), но снова условно относится к точке (центру водосбора). В результате этих

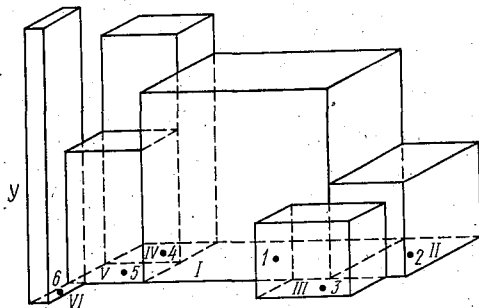


Рис. 1. Диаграмма «ступенчатого» поля стока:

VI — номера условных водосборов; 6 — номера центров условных водосборов; У — высота слоя стока.

преобразований гидрологической информации мы получаем на карте не систему точек, отображающих непрерывное поле стока, а систему горизонтальных площадок (водосборов) разных размеров, расположенных в зависимости от величины стока на разных уровнях (рис. 1), которую условно можно назвать «ступенчатым полем». Эта система площадок становится еще и «слоистой», с перекрывающимися ступенями-площадками, делая поле стока не однозначным и прерывистым, если в нем участвуют реки с малой площадью водосбора, величина нормы стока которых используется для составления карты, входящей в пределы площади водосборов более крупных рек (рис. 2).

Такое сложное «слоистое» поле изобразить на карте с помощью изолиний на основе лишь средних значений величин стока в пределах этих площадок и отнесенных к геометрическим центрам площадок (водосборов), действительно чрезвычайно трудно, а при значительном их количестве, просто невоз-

можно. И прежде всего потому, что величины параметра во многих точках не фактические, а в значительной степени фиктивные. Кроме того, они обладают существенно разными весами, зависящими от размера площади водосбора, для которой они определены. Чем меньше площадь водосбора, тем больше вес значения параметра, отнесенного к его центру, и наоборот. А площади водосборов рек, учитываемые при составлении карт

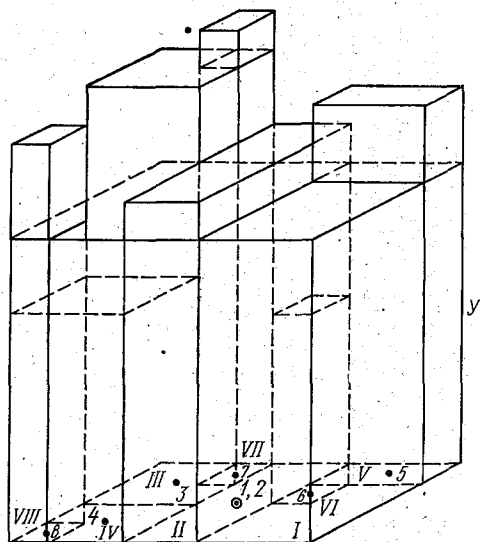


Рис. 2. Диаграмма «ступенчато-слоистого» поля стока. (Обозначения см. на рис.).

стока, хотя и ограничены определенными пределами, но отличаются друг от друга до 500 раз [6]. В результате, расхождения между действительными величинами нормы стока в любой точке водосбора (площадки) и его средней величиной, отнесенной к центру водосбора, могут достигать значительных величин. Изображение нормы стока по этим точкам с помощью изолиний не обеспечивает выявления и отображения зон формирования стока, экстремальных величин нормы стока на данной территории, что существенно влияет на качество картографического изображения. В этом проявляется основной недостаток существующей методики составления гидрологических карт. Этим же, по-видимому, объясняется хотя и объективное, на первый взгляд, но несогласующееся с общими законами картографии, замечание К. П. Воскресенского о том, что по мере увеличения числа пунктов наблюдений появляются затруднения в составлении карты стока, а при определенном предельном их числе оно становится даже невозможным [6]. Тогда как, хорошо известно, что при картографировании любого непрерывного поля, увеличение числа пунктов наблюдений (точек) и их равномерное распределение только способствует улучшению качества изображения, повышению его точности и подробности, несколько не затрудняет и не усложняет сам процесс составления, а лишь в той или иной степени увеличивает объем технической работы, связанной с нанесением и анализом большего числа точек.

По-видимому, совершенствование методики составления карт стока должно идти по пути исключения «слоистости» поля, вызывающей неоднозначность величины поля в некоторых точ-

ках и уточнения положения точки, к которой относится норма стока для водосбора (гидрологического центра водосбора)*, а также более широкого использования расчетных точек стока, определенных современными способами, и различных зависимостей особенно при картографировании недостаточно изученных районов.

Для характеристики точности и подробности составленной карты целесообразно непосредственно на ней указывать дату, по состоянию на которую использованы гидрологические наблюдения, общее количество и характер распределения по территории использованных для составления точек (водосборов). Кроме того, в местах, где использовано недостаточное количество данных или они получены с низкой точностью, изолинии стока необходимо проводить специальным условным знаком, хорошо отличающимся от достоверных изолиний. Существенное влияние на качество составляемых карт стока оказывают ошибки методического и картографического характера, возникающие из-за отсутствия единых хорошо обоснованных методических разработок по вопросам:

- применения картографических средств и способов изображения поля стока и других гидрологических явлений и параметров;

- выбора масштаба картографирования гидрологических характеристик в зависимости от характера поля, степени его изученности, расчлененности, точности исходных данных, назначения карты и др.;

- применения методов географической интерполяции и экстраполяции гидрологических данных при проведении изолиний, особенно в слабо изученных районах;

- использования при картографировании установленных зависимостей нормы стока и других гидрологических характеристик и параметров от физико-географических факторов;

- расчета и правил применения шкал сечения изолиний для изображения различных гидрологических характеристик и параметров в зависимости от характера поля, степени его изученности и расчлененности.

Особенно часто допускаются грубые ошибки при проведении изолиний. Проявляются эти ошибки в нарушениях правил применения метода изолиний, в результате которых получаются искусственные разрывы изображаемого изолиниями поля (рис. 3 и 4), приводящие к его искажению на карте. Ошибки такого рода не только затрудняют, но, как правило, полностью исключают возможность снятия значений параметра с карты в искаженных местах (на рисунках заштрихованные участки). Наличие картографических ошибок на картах обусловлено недостаточной картографической подготовленностью гидрологов,

* Центр зоны формирования стока.

составляющих гидрологические карты, и слабым участием, а иногда и полным неучастием специалистов-картографов в процессе составления гидрологических карт.

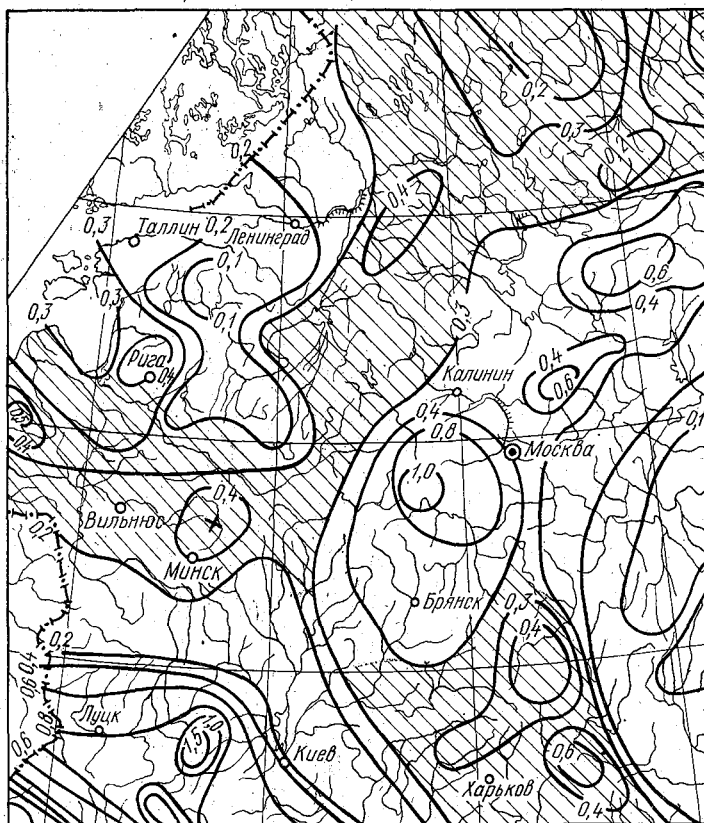


Рис. 3. Максимальные модули дождевого стока рек СССР, вероятностью превышения $P = 1\%$ для площади водосбора $F = 200 \text{ км}^2$ ($\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$) [11, прилож. 5]. Штриховкой покрыты места с неправильно изображенным полем стока.

Все это свидетельствует о необходимости совершенствования существующей методики составления карт стока и других гидрологических характеристик.

Для повышения эффективности гидрологического картографирования требуется дальнейшее совершенствование методики составления гидрологических карт, которое целесообразно начать с комплексного картографического анализа всей накопленной гидрологической и гидрографической информации с учетом ее состава, формы, точности, подробности и продолжительности наблюдений.

На основе проведенного анализа, отечественного и зарубежного опыта составления карт необходимо решить следующие основные задачи:

— дать оценку возможности и целесообразности картографирования водных объектов, ресурсов, элементов водного баланса, различных гидрологических явлений, характеристик и статистических параметров;

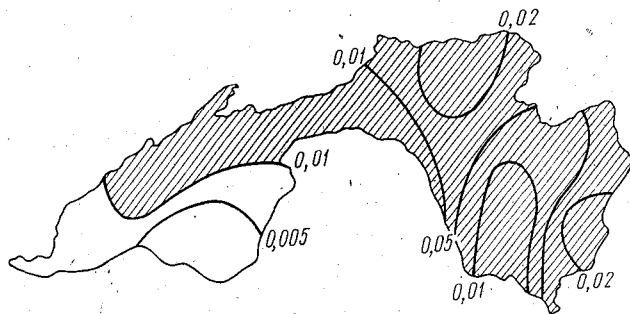


Рис. 4. Минимальные многолетние модули стока ($\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$) [11, рис. 86]. Штриховкой покрыты места с неправильно изображенным полем стока.

— разработать методическое руководство по составлению, редактированию и подготовке к изданию различных типов гидрологических карт и атласов с использованием всех видов информации: цифровой, картографической, аэрокосмической и др.;

— разработать единую систему условных знаков для изображения на картах всевозможных гидрологических явлений, процессов, характеристик, параметров, зависимостей и т. п.;

— разработать практические рекомендации по использованию гидрологических и различных общегеографических и тематических карт в гидрологических и гидрографических исследованиях, прогнозах и расчетах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев А. В. Метод составления карт элементов водного баланса на основе зональных комплексных зависимостей. — Изв. АН СССР, 1978, сер. геогр. № 4, с. 105—117.
2. Берлянт А. М. Использование карт в исследованиях окружающей среды. — ВИНТИ АН СССР: Итоги науки и техники, 1978, сер. картография № 8, с. 113—133.
3. Берлянт А. М. Картографический метод исследований. — М.: МГУ, 1978. — 255 с.
4. Вендров С. Л., О картах гидрологического режима отдельного года. Проблемы гидрологии. — М.: Наука, 1978. — 240 с.
5. Владимиров А. М. Расчет стока рек за лимитирующий сезон. — Труды ГГИ, 1975, вып. 212, с. 49—66.
6. Воскресенский К. П. Нормы и изменчивость годового стока рек Советского Союза. — Л.: Гидрометеиздат, 1962. — 545 с.

7. Зайков Б. Д. Средний годовой сток и его распределение в году на территории Кавказа. — Тр. НИУ ГУГМС, 1946, сер. IV, вып. 40, с. 64.
8. Карты стока рек и временных водотоков (на примере Центрально-Черноземных областей). — Воронеж, ВГУ, 1975. — 144 с.
9. Лебедев П. Н. О нормах стока. — Труды Всеросс. гидрол. съезда. Л., 1925, с. 122—124.
10. Петров Г. Н. Географическая зональность и задачи гидрологии в области картирования. — Изв. Казанского филиала АН СССР, сер. энергетики и водного хоз-ва, вып. 2. Вопросы гидрологии. Казань, 1961, с. 81—83.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 18, вып. 1. — Л.: Гидрометеопиздат, 1966. — 780 с.

УДК 556.18

Г. С. АРСЕНЬЕВ (ЛГМИ), Л. И. ГИСУ (КНДР)

ОБОБЩЕННЫЕ НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАРЕГУЛИРОВАННОСТИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОКА РЕК КНДР

Одной из важнейших задач гидрологических расчетов для целей гидротехнического и водохозяйственного проектирования на слабоизученных и малых водотоках является разработка для однородных районов обобщенных номограмм, позволяющих определять основные параметры проектируемых водохранилищ.

Исходными данными для решения поставленной задачи явились таблицы среднемесячных и среднегодовых расходов воды 10 рек по 22 пунктам наблюдений, протекающих в различных физико-географических зонах КНДР. Период наблюдений за стоком с 1960 по 1980 гг.

Статистические параметры рядов наблюдений за стоком определялись известными методами. Результаты расчетов показали, что коэффициенты вариации годового стока C_v колеблются от 0,28 до 0,45 при среднем 0,36.

Уменьшение C_v прослеживается от северо-восточного района КНДР к району западного побережья.

Коэффициенты асимметрии C_s определялись методами подбора. Для того чтобы избежать субъективных ошибок в методе подбора, использован метод наибольшего правдоподобия. В подавляющем большинстве случаев коэффициенты асимметрии C_s равны двум C_v . При характеристике внутригодового распределения стока год разделен на три характерных по стоку периода: ливневого стока (VII—IX), межени (X—III) и переходного периода (IV—VI). В среднем по территории КНДР доля ливневого стока равна 71,7% от годового; 11,7% — за период зимней межени и 16,6% — за переходный период. Некоторое увели-

чение стока в этот период в сравнении с меженным вызвано таянием снега в горах.

Степень внутригодовой неравномерности стока характеризуется коэффициентом естественной зарегулированности стока φ .

Коэффициенты φ принято рассчитывать по кривым продолжительности среднесуточных расходов воды как отношение объема межени к объему годового стока или $\varphi = \frac{F_{\text{базис}}}{F_{\text{общ}}}$, где $F_{\text{базис}}$ — площадь базовой части кривых продолжительности (ниже среднемноголетнего расхода); $F_{\text{общ}}$ — общая площадь кривых продолжительности.

В работе кривые продолжительности, из-за отсутствия данных среднесуточных расходов воды, рассчитаны и построены по среднимесячным расходам воды. Сопоставление кривых продолжительности суточных и среднимесячных расходов воды, построенных по аналогам Приморского края, показало на их практически полную сходимость в зоне межени и некоторое отличие в зоне высокого стока. Поэтому выводы, сделанные по кривым продолжительности среднимесячных расходов вполне достоверны. В среднем для КНДР коэффициенты φ составляют 0,51, изменяясь от наибольшего 0,58 до наименьшего 0,44. Возрастание их наблюдается от района западного побережья к северо-восточному району КНДР.

Анализ внутригодового распределения стока и коэффициентов C_v , φ позволил выделить на территории КНДР три однородных района.

К первому району отнесены реки с коэффициентами C_v от 0,32 до 0,42, $\varphi \leq 0,52$, доля ливневого стока (VII—IX) здесь более 75%, периода осенне-зимней межени (X—III) около 10%, и переходного периода 15% от годового. Этот район занимает северную часть западного побережья и среднюю часть КНДР. С северо-востока он окружен горными хребтами, а западная и восточная границы его проходят по береговой линии Японского и Желтого морей. Количество осадков возрастает от побережья к высокогорным склонам хребтов, составляя в среднем за год около 1120 мм.

Водный режим рек характеризуется высокими летними паводками и небольшими апрельскими половодьями.

Ко второму району отнесены реки с коэффициентом $C_v = 0,45$, $0,57 > \varphi > 0,52$, долей летнего стока 60—70% от годового. Занимает северную горную часть КНДР. Ограничен с востока, запада и юга хребтами с отметками 900—2700 м над уровнем моря. Здесь выпадает наименьшее количество осадков (около 700 мм за год). Водный режим рек характеризуется наибольшим для КНДР весенним половодьем, сток которого составляет в среднем 26% от годового. Максимальный сток на-

блюдается в августе, а минимальный — в феврале. Коэффициенты C_v на реках являются наибольшими для всей территории КНДР и изменяются от 0,44 до 0,45.

К третьему району отнесены реки с коэффициентом $C_v = 0,34$, $\phi = 0,57$. Доля летнего стока составляет 50—60% от годового. Район занимает северную часть восточного побережья. Среднегодовое количество осадков здесь 890 мм. Водный режим рек характеризуется летними паводками и небольшим весенним половодьем. Характерным является то, что осенний сток в 2—3 раза больше, чем в других районах.

Для рассмотренных выше гидрологических районов разработан по методу С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля комплекс номограмм, позволяющих определить:

— коэффициент регулирования стока α (величину гарантированной отдачи из водохранилища в долях от годового стока обеспеченностью 95%) в зависимости от величины полезной емкости водохранилища β (в долях от объема годового стока) и природных особенностей водотока (средних коэффициентов вариации годового стока C_v и автокорреляции r_1);

— коэффициент использования стока η (отношение полезно используемого стока к годовому стоку) в зависимости от β и пропускной способности водохозяйственной установки δ ($\delta = \frac{Q_{\text{пр.сп}}}{Q_r}$, где $Q_{\text{пр.сп}}$ — пропускная способность, Q_r — среднегодовой расход воды). Номограммы приведены на рисунке.

В соответствии с используемой методикой номограммы рассчитаны с раздельным определением сезонной и многолетней составляющих полезной емкости водохранилищ. Сезонная емкость при сезонном регулировании и сезонная составляющая при многолетнем регулировании рассчитаны для режима отдачи из водохранилища в период осенне-зимней межени и неустойчивого (по стоку) переходного периода (октябрь — июнь). Многолетняя составляющая полезной емкости при различных значениях коэффициента автокорреляции годового стока (r_1) определена прямой интерполяцией между графиками Я. Ф. Плешкова (при $r_1 = 0$) и И. В. Гуглия ($r_1 = 0,3$).

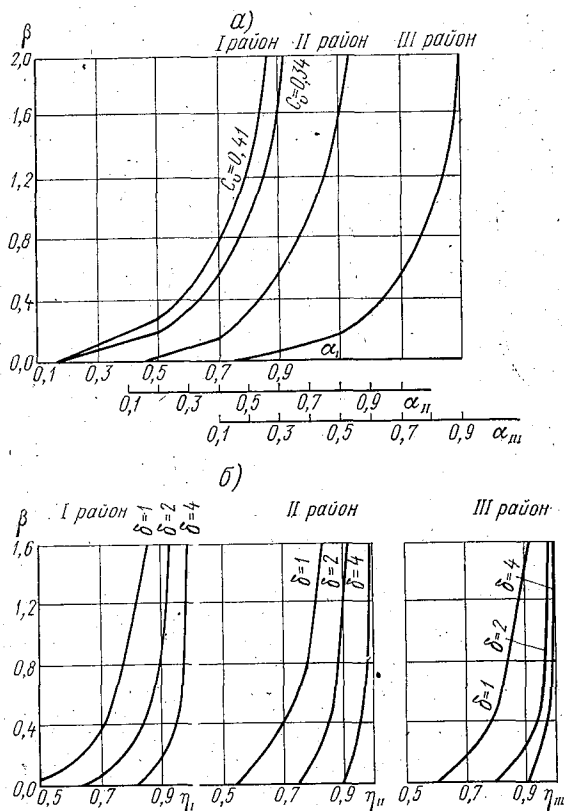
Коэффициенты использования стока η подсчитаны первоначально по наблюдаемым гидрологическим рядам по известной формуле:

$$\eta = \frac{\bar{Q}_r - \bar{Q}_{\text{сбр}}}{Q_r},$$

где $\bar{Q}_{\text{сбр}}$ — среднемноголетний расход холостых сбросов.

$$\bar{Q}_{\text{сбр}} = \sum_{i=1}^{240} Q_{\text{сбр}} / 12 \cdot n.$$

Здесь $Q_{сбр}$ — среднемесячные расходы холостых сбросов; 12 — число месяцев в году; n — число лет, в нашем случае $n = 20$; Q_r — норма годового стока.



Номограммы зависимостей: $\beta = f(\alpha, C_v)$ — (а) и $\eta = f(\beta, \delta)$ — (б) для однородных гидрологических районов КНДР.

Подсчет расходов холостых сбросов произведен при следующих заданных величинах: β равно 0; 0,5; 1,0; 1,5 и δ равно 1,0; 2,0; 4,0.

В зоне многолетнего регулирования коэффициенты η были откорректированы по смоделированным методом Монте-Карло 1000-летним рядам. Разность значений, снятых с номограмм и подсчитанных регулированием по наблюдаемому гидрологическому ряду заключается в пределах до 3—5%.

Поэтому разработанные номограммы зависимости $\beta = f(\alpha, C_v)$, $\eta = f(\beta, \delta)$ вполне применимы для определения характеристик проектируемых водохранилищ — величины отдачи α и степени использования водных ресурсов η .

ВЫВОДЫ

1. Выполнено исследование природных особенностей формирования стока рек КНДР.

2. Впервые для рек КНДР по материалам непосредственных наблюдений рассчитаны и проанализированы коэффициенты естественной зарегулированности ф.

3. Выполнено гидрологическое районирование территории КНДР. По гидрологическим характеристикам выделено три однородных района.

4. Для выделенных районов разработан комплекс номограмм, позволяющих определять параметры водохранилищ, проектируемых на слабоизученных и малых водотоках.

УДК 556.18 : 556.535

Б. С. УСТЮЖАНИН, Н. В. САКОВИЧ (ГГИ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА ДЛЯ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК

В условиях антропогенного изменения гидрологического режима рек для практических расчетов представляет интерес не только определение естественных колебаний водности, но и оценка вероятности превышения исследуемой гидрологической характеристики за конкретный временной интервал (год, сезон, месяц).

При наличии данных наблюдений достаточной продолжительности эти задачи могут быть решены путем применения аналитических функций распределения вероятностей превышения гидрологических характеристик за периоды естественный (t) и нарушенный (t_1).

Продолжительность периода наблюдений считается достаточной, если рассматриваемый период представителен и может быть определен путем сопоставления кривых распределения речного стока по реке-аналогу и реке с нарушенным режимом стока.

При этом производится восстановление естественных величин стока, по разности между найденными и наблюдаемыми значениями, определяются антропогенные изменения и находятся соответствующие им ежегодные вероятности превышения величин стока.

Таким образом, для восстановления и получения данных об изменениях гидрологического режима рек в условиях антропогенного влияния, в частности урбанизации, применяется метод гидрологической аналогии, широко используемый в практике расчетов.

Исследование применимости эмпирических кривых распределения выполнены по отдельным малым рекам центральной части ЕТС, из которых р. Осколец принята в качестве реки с резко измененным режимом стока, и реки Унжа, Селижаровка, Труды, Кшень и Олым в качестве рек с условно естественным режимом. Реки с естественным водным режимом использованы для проверки расчетных и наблюдаемых годовых и месячных величин стока, когда ряд одной из рек принимался с определенного момента нарушенным.

Расчеты выполнялись по следующей схеме.

При статистической обработке рядов вычисляются модульные коэффициенты (K), коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s), вероятность превышения значений стока (P) и коэффициенты (K_{ip}), выражающие отношение величины расхода воды каждого члена ряда к его наибольшей величине ($K_{ip} = \frac{Q_i}{Q_n}$).

В соответствии с полученными величинами на клетчатке вероятности с учетом C_v и C_s по данным K_{ip} строятся эмпирические кривые обеспеченности по рядам на исследуемой реке и реке-аналоге за естественный период. По эмпирическим точкам проводится спрямленная кривая, которая отражает характер эмпирических кривых и наилучшим образом соответствует эмпирической кривой, построенной для реки-аналога за нарушенный период. С эмпирической кривой снимаются осредненные коэффициенты K_{ip} , соответствующие рассчитанной величине превышения. Для вычисления восстановленных (естественных) расходов воды находится отношение их наибольших значений ($K_n = \frac{Q_{tn}}{Q_{tn}}$) в каждом из принятых периодов t и t_1 на реке-аналоге.

Восстановление нарушенных величин стока и определение погодичных вероятностей их превышения выполняется по формуле:

$$Q_{в.с} = K_{ip} K_n Q_n,$$

где $Q_{в.с}$ — восстановленные погодичные величины стока за период t_1 ; K_{ip} — относительное соотношение, коэффициент отдельно взятого года, вероятностью превышения $P\%$, снятый с осредненной эмпирической кривой распределения реки-аналога за период t_1 ; K_n — отношение наибольшего расхода воды реки-

аналога за период t_1 к наибольшему расходу воды реки-аналога за период t ; Q_n — наибольший расход воды расчетной реки за период t .

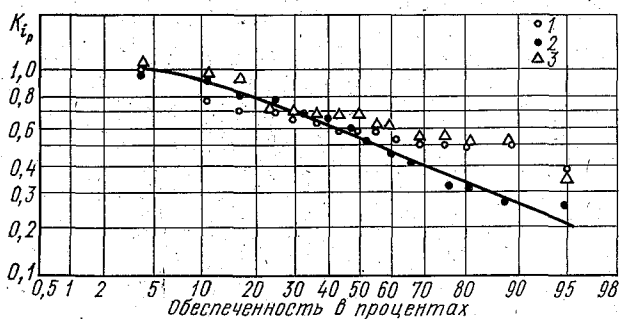


Рис. 1. Кривые распределения погодичных расходов воды р. Осколец и р. Труды за естественный (1952—1966 гг.) и нарушенный (1967—1980 гг.) периоды, используемые для оценки изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности:

1 — р. Труды — д. Стрелка, период 1952—1966 гг.; 2 — р. Труды — д. Стрелка, период 1967—1980 гг.; 3 — р. Осколец — г. Старый Оскол, период 1952—1966 гг.

Величина нарушений погодичного и месячного стока определяется по разности между вычисленными (восстановленными) и наблюдаемыми значениями расходов воды.

Пример построения эмпирических кривых распределения применительно к годовым и месячным величинам стока по рекам Осколец, Кшень и Труды приведен на рис. 1 и рис. 2. При-

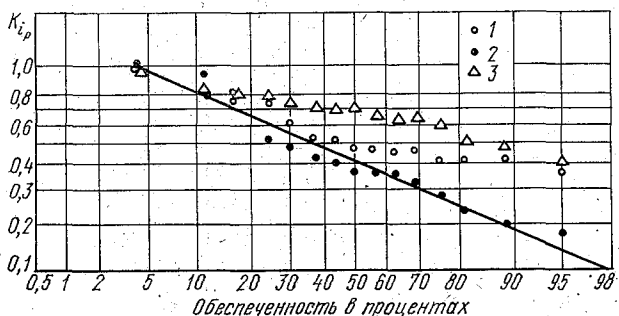


Рис. 2. Кривые распределения среднеемесячных (август) расходов воды рек Кшень и Труды за естественный (1951—1965 гг.) и условно нарушенный (1966—1980 гг.) периоды, используемые для оценки изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности:

1 — р. Кшень — д. Серебряковка, период 1951—1965 гг.; 2 — р. Кшень — д. Серебряковка, период 1966—1980 гг.; 3 — р. Труды — д. Стрелка, период 1951—1965 гг.

меры вычисления параметров эмпирической кривой распределения, восстановления нарушенных величин стока, вероятности превышения его погодичных и месячных значений, а также проверка применимости метода, выполненная по рекам с условно естественным режимом, даны в табл. 1 и 2. При этом р. Кшень принята за реку-аналог, а р. Труды — условно за реку с нарушенным режимом.

Таблица 1

Расчет статистических параметров, восстановленных среднемесячных (август) величин и вероятностей превышений стока р. Труды по стоку реки-аналога (р. Кшень — д. Серебряковка) за период 1966—1980 гг.

№ п/п	Год	Среднемесячный расход, м³/с	$K = \frac{Q_t}{Q_{cp}}$	$K - 1$	$(K - 1)^2$	$(K - 1)^3$	P	$K_{ip} = \frac{Q_t}{Q_n}$	$Q_{вос}$	$Q_{ф} - Q_{вос} = \Delta Q$	Процент
1	1979	6,51	2,11	1,11	1,2321	1,3676	4,5	1,0	6,42	0,09	1
2	1980	5,61	1,82	0,82	0,6724	0,5514	11,0	0,8	5,14	0,47	8
3	1978	5,50	1,79	0,79	0,6241	0,4930	17,5	0,7	4,49	1,01	18
4	1967	3,51	1,14	0,14	0,0196	0,0027	24,0	0,6	3,85	0,34	10
5	1977	3,48	1,13	0,13	0,0169	0,0022	30,5	0,55	3,53	0,05	1
6	1096	3,05	0,99	-0,01	0,0001	0,0000	37,0	0,5	3,21	0,16	5
7	1968	2,92	0,95	-0,05	0,0025	0,0001	43,5	0,45	2,89	0,03	1
8	1976	2,59	0,84	-0,16	0,0256	0,0041	50,0	0,41	2,63	0,04	2
9	1974	2,52	0,82	-0,18	0,0324	0,0058	56,5	0,38	2,44	0,08	3
10	1969	2,48	0,81	-0,19	0,0361	0,0069	63,0	0,34	2,18	0,30	12
11	1970	2,03	0,66	-0,34	0,1156	0,0393	69,5	0,3	1,93	0,10	5
12	1975	1,93	0,63	-0,37	0,1369	0,0507	76,0	0,26	1,7	0,23	12
13	1971	1,67	0,54	-0,46	0,2116	0,0973	82,5	0,23	1,48	0,19	11
14	1973	1,51	0,49	-0,51	0,2601	0,1327	89,0	0,19	1,22	0,29	19
15	1972	0,96	0,31	-0,69	0,4761	0,3285	95,5	0,14	0,9	0,06	6
Сумма		46,27			3,8621	3,0823					114
Среднее		3,08									7,6

$$C_v = \sqrt{\frac{3,8621}{14}} = \sqrt{0,2759} = 0,52;$$

$$C_s = \frac{3,0823}{15 \cdot 0,1406} = 1,46;$$

$$\frac{2,79 \text{ (Кшень, 1956)}}{4,06 \text{ (Кшень, 1976)}} = \frac{4,41 \text{ (Труды, 1953)}}{Q_n},$$

$$Q_n = \frac{4,06 \cdot 4,41}{2,79} = 6,42 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Оценка нарушений годовых величин и вероятностей превышения стока
р. Осколец за период 1967—1980 гг.

№ п/п	Год	Среднегодовой расход, м³/с	$\frac{Q_i}{K} = Q_{cp}$	$K - 1$	$(K - 1)^2$	$(K - 1)^3$	P	$\frac{Q_i}{K_i P} = Q_n$	$Q_{восст}$	$Q_{\phi} - Q_{восст} = \Delta Q$	Процент
1	1970	3,58	1,60	0,60	0,3600	0,2160	4,9	1,0	3,34	0,24	7
2	1980	3,29	1,47	0,47	0,2209	0,1038	11,8	0,92	3,07	0,22	7
3	1979	3,22	1,44	0,44	0,1936	0,0851	18,8	0,82	2,74	0,48	18
4	1968	3,04	1,36	0,36	0,1296	0,0466	25,7	0,76	2,54	0,50	20
5	1971	2,64	1,18	0,18	0,0324	0,0058	32,6	0,69	2,30	0,34	15
6	1978	2,55	1,14	0,14	0,0196	0,0027	39,6	0,64	2,14	0,41	19
7	1969	2,46	1,10	0,10	0,0100	0,0010	46,5	0,58	1,94	0,52	27
8	1972	2,08	0,93	-0,07	0,0049	0,0003	53,5	0,55	1,84	0,24	13
9	1977	1,84	0,82	-0,18	0,0324	0,0058	60,4	0,49	1,64	0,20	12
10	1967	1,83	0,82	-0,18	0,0324	0,0058	67,4	0,46	1,54	0,29	19
11	1974	1,33	0,59	-0,41	0,1681	0,0689	74,3	0,40	1,34	0,01	1
12	1975	1,20	0,54	-0,46	0,2116	0,0973	81,3	0,35	1,17	0,03	3
13	1976	1,18	0,53	-0,47	0,2209	0,1038	88,2	0,29	0,97	0,21	22
14	1973	1,05	0,47	-0,53	0,2809	0,1488	95,1	0,22	0,73	0,32	44
Сумма		31,29			1,9173	0,8917					227
Среднее		2,24									16

$$C_v = \sqrt{\frac{1,9173}{13}} = \sqrt{0,1474} = 0,38;$$

$$C_s = \frac{0,8917}{14 \cdot 0,0548} = 1,16;$$

$$\frac{9,57 \text{ (Труды, 1952)}}{9,94 \text{ (Труды, 1970)}} = \frac{3,22 \text{ (Осколец, 1963)}}{Q_n},$$

$$Q_n = \frac{9,94 \cdot 3,22}{9,57} = 3,34 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Выполненные по рекам Кшень и Труды расчеты показали, что использование эмпирических кривых распределения для оценки влияния факторов хозяйственной деятельности является вполне правомерным, поскольку полученные результаты по годовым и месячным величинам не выходят за пределы 20%.

Результаты расчетов, приведенные в табл. 2, позволяют оценить погодичные изменения стока р. Осколец под влиянием хозяйственной деятельности и установить вероятность превышения этих изменений по годам. Как следует из табл. 2, в р. Осколец по-прежнему имеет место увеличение годового стока, которое достигает в среднем 16% от его восстановленных значений.

В дальнейшем предполагается выполнить уточнение разрабатанного метода за счет более надежного расчета наибольшего расхода воды реки с нарушенным режимом за период влияния хозяйственной деятельности.

УДК 556.18.048

Г. А. ПЛИТКИН, Г. А. ЛЮБИМОВ, В. А. КОСТИНА, А. А. КУЛЕВА (ГГИ)

МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РЕСУРСОВ РЕЧНОГО СТОКА РАЙОНОВ ПЕРВООЧЕРЕДНОГО ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ КАЗАХСТАНА И СИБИРИ

Развитие производительных сил Казахстана и Сибири во многом зависит от интенсивности хозяйственного освоения районов с разведанными полезными ископаемыми [1], рис. 1.

Размещение производительных сил обычно лимитируется возможностями водоснабжения, размер которого определяется

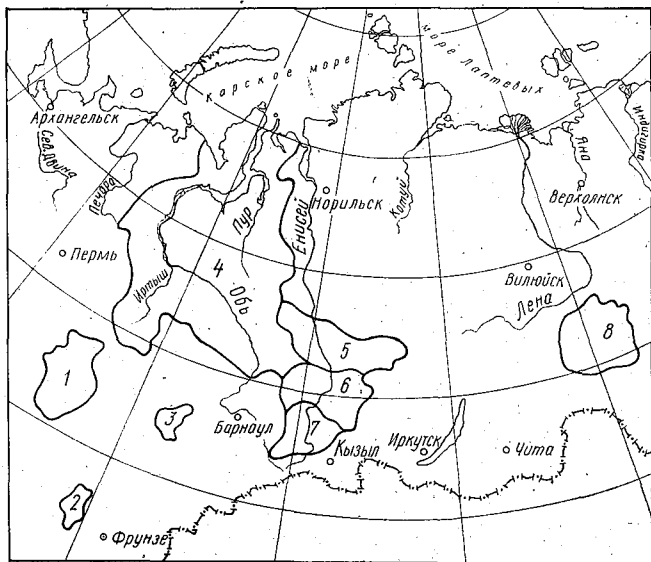


Рис. 1. Схема размещения районов хозяйственного освоения Казахстана и Сибири:

1 — Кустанайско-Тургайский; 2 — Каратау-Джамбульский; 3 — Павлодар-Экибастузский; 4 — Западно-Сибирский; 5 — Нижне-Ангарский; 6 — Канско-Ачинский; 7 — Саянский; 8 — Южно-Якутский.

ресурсами речного стока (РРС). На начальных стадиях водохозяйственного проектирования первостепенное значение приобретает количественная оценка отдельных видов РРС: местного стока и общих ресурсов в естественных условиях (до изменения хозяйственной деятельностью). Местный сток формируется в пределах названных районов, а общие ресурсы практически равны сумме объемов местного стока и притока извне (со смежных территорий). Оценка РРС заключается в определении среднесноголетнего значения (нормы), изменчивости и асимметрии длительных рядов годовых величин и некоторых других характеристик. Методика количественной оценки РРС различных по водообеспеченности районов имеет свои особенности, определяемые различием их климатических, орографических, гидрографических и других природных факторов. Это обстоятельство не находило должного объяснения при рассмотрении РРС [2]. Поэтому в настоящей работе при рассмотрении методики и результатов расчета РРС аридных (Казахстан) и гумидных (Сибирь) районов этому вопросу уделяется большее внимание.

Особенности методики расчета РРС

Количественная оценка РРС аридных районов выполнена по методике, описанной в работе [3]. Местный сток определяется суммированием объемов стока со всех входящих в него сточных («действующих») и бессточных («замкнутых») частей каждого района. Для изученных рек оценка среднесноголетнего годового стока произведена по данным длительных измерений расходов воды на сети Госкомгидромета, приведенных к единому 51-летнему периоду 1930—1980 гг., а для неизученных рек — по картам изолиний нормы годового стока [2, 5]. Приведение стока к длительному периоду осуществлялось с использованием аналогов по методике, рекомендуемой СНиПом 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик». Кроме местного стока для аридных районов вычислены объемы стока в пределах замкнутых понижений, а также величины притока, оттока и общих РРС.

В необходимых случаях в годовые значения измеренного (бытового) стока рек Иртыша, Ишима, Тобола, Или, Чу, Таласа и Ассы введены поправки, учитывающие изменение стока хозяйственной деятельностью. Это позволило оперировать с физически более однородными и близкими к естественным значениями стока.

Расчет РРС гумидных районов Сибири и Дальнего Востока выполнен по методике, обоснованной в работах [4, 5]. Приток и отток речных вод к границам районов вычислен с использованием индивидуальных для каждой реки коэффициентов приведения, а местный сток — по разности оттока и притока. Отсутствие замкнутых понижений обуславливает равенство оттока с

общими ресурсами речных вод. Исключение составляет Западно-Сибирский район, сток с замкнутых понижений которого составляет $2,02 \text{ м}^3/\text{с}$. Условно, ввиду ничтожности проведенной величины, она отнесена к величине оттока из этого района. После создания на реках Обь, Иртыш, Ангара и Енисей крупных водохранилищ годовые значения стока ниже гидроузлов существенно изменились. Приведение измеренных величин стока к естественным условиям осуществлено введением специальных поправок во все годы периода с искаженным режимом. Полученные в итоге ряды естественного стока использованы при оценках параметров кривых распределения отдельных видов РРС Западно-Сибирского, Саянского, Канско-Ачинского и Нижне-Ангарского районов.

Ресурсы речного стока и их многолетние колебания

Оценка различных видов РРС по длительным рядам наблюдений выполнена на ЭВМ по программе расчета, составленной в Отделении Государственного водного кадастра ГГИ И. П. Зарецкой и Л. Н. Бариновой. По этой программе рассчитаны параметры кривых распределения, а также значения стока в маловодные годы обеспеченностью 75, 90 и 95% для Каратау-Джамбулского, Кустанайско-Тургайского, Павлодар-Экибастузского, Саянского, Канско-Ачинского, Нижне-Ангарского и Южно-Якутского районов.

Многолетний ход годовых значений РРС рассмотрен в Павлодар-Экибастузском, Саянском, Нижне-Ангарском и Южно-Якутском районах. Характерные циклы водности выделены по нормированным разностным интегральным кривым модульных коэффициентов. Их графическая интерпретация получена в ВЦ ГГИ при совместном использовании графопостроителя «Дигиграф» и ЭВМ ЕС-1022 по программе, составленной О. М. Толшиной под руководством Г. А. Плиткина.

За многоводные фазы приняты наиболее четко выраженные характерные периоды, средние модульные коэффициенты за которые превышают единицу, а за маловодные — меньше единицы. Для каждой фазы определены длительность (в годах), значение среднего модульного коэффициента и доля ее вклада в суммарный объем стока за расчетный период (рис. 2).

Рассмотренная методика выбора фаз водности, основанная на использовании разностных интегральных кривых, не может описать некоторые особенности в многолетних колебаниях стока. Выделенные периоды не являются в достаточной степени однородными, поскольку включают в себя менее длительные флуктуации повышенной или пониженной водности. Начальные и конечные фазы ввиду жесткого назначения границ расчетных периодов (1930—1980 или 1936—1980 гг.) обычно не могут считаться завершенными. Поэтому выполненный анализ представ-

ляет собой один из возможных подходов к рассмотрению вопроса о многолетнем ходе РРС.

Несколько иным является способ исследования чередования характерных по водности лет. Для его реализации значения го-

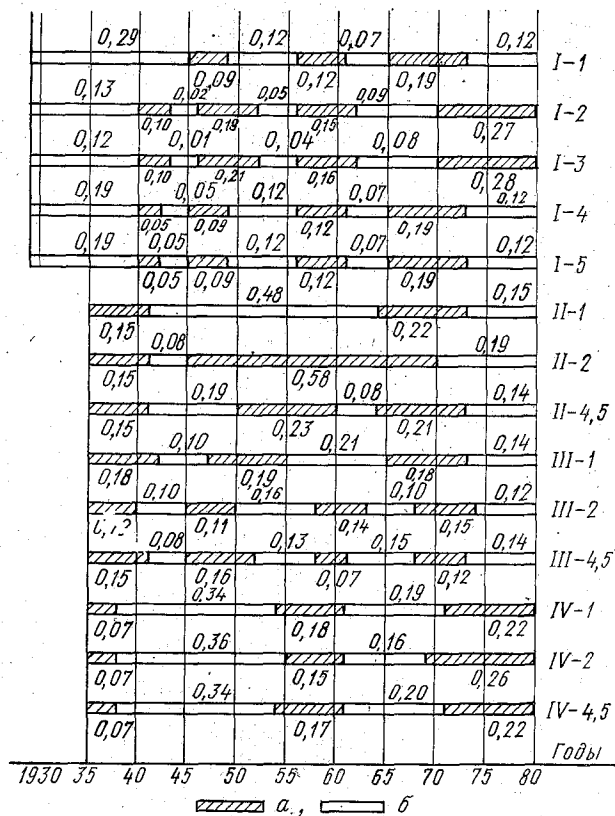


Рис. 2. Хронологический ход многоводных (а) и маловодных (б) фаз различных видов РРС:

I — приток; 2 — местный сток; 3 — сток в замкнутые понижения; 4 — суммарные ресурсы; 5 — отток; I — Павлодар-Экибастузский; II — Саянский; III — Нижне-Ангарский; IV — Южно-Якутский районы; 0,29 — доля стока.

дового стока каждого ряда были разбиты на 5 градаций водности: очень многоводные (обеспеченностью менее 16,7%), многоводные (16,7÷33,3%), средние по водности (33,3÷66,7%), маловодные (66,7÷83,3%) и очень маловодные (более 83,3%) годы. Многолетний ход различных видов РРС, классифицированных по пяти градациям водности, изображен на рис. 3. На нем зримо представлены чередования характерных по водности годовых значений стока, формирование группировок лет со стоком заданных градаций обеспеченности, смена характерных по

водности лет. Годы со стоком различных градаций встречаются группами (по несколько лет) или по одиночке, чаще они сменяются годами смежных градаций водности (обеспеченности).

Значительный интерес представляет исследование вопроса о влиянии характерных по водности лет на формирование сред-

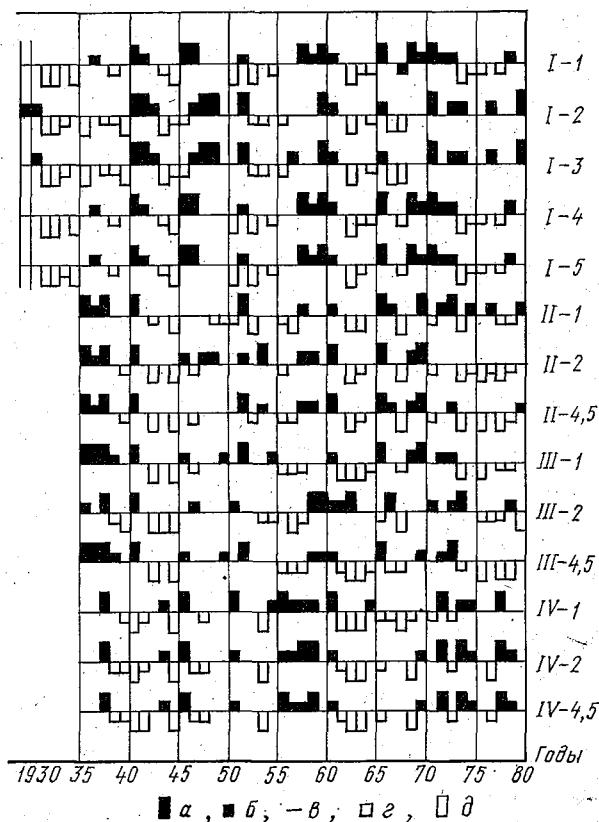


Рис. 3. Совмещенный график хода характерных по водности лет различных видов РРС:
 а — очень многоводный; б — многоводный; в — средний;
 г — маловодный; д — очень маловодный. 1, 2, 3, 4, 5 и
 I, II, III, IV — см. рис. 2.

него многолетнего стока. Для этого выполнена количественная оценка вклада (доли) лет трех градаций водности в суммарной величине объема за расчетный период. Многолетние ряды стока разделены на три части: маловодные годы обеспеченностью более 66,7%, средние по водности годы обеспеченностью от 66,7 до 33,3% и многоводные — менее 33,3%. При таком подходе к делению числовых совокупностей в каждую из градаций при длительности ряда 51 или 45 лет попадает соответственно по 17 или 15 членов, т. е. по равному их количеству. Это обеспечивает

необходимую сравнимость результатов расчета (см. таблицу). Из таблицы видно, что в аридном районе доля стока многоводных лет значительно выше, а маловодных лет, наоборот, существенно ниже, чем, в гумидных районах. Значительно больше в аридном районе также контрастность величин средних модуль-

Ресурсы речных вод по характерным градациям водности

Вид ресурсов речных вод	Маловодные годы		Средние по водности годы		Многоводные годы	
	Средний модульный коэф- фициент	Доля стока	Средний модульный коэф- фициент	Доля стока	Средний модульный коэф- фициент	Доля стока

Павлодар-Экибастузский район

Приток	0,75	0,25	0,98	0,33	1,27	0,42
Местный сток	0,37	0,12	0,90	0,30	1,74	0,58
Сток в замкнутые понижения	0,27	0,09	0,88	0,30	1,84	0,61
Общие ресурсы	0,75	0,25	0,98	0,33	1,27	0,42
Отток	0,76	0,25	0,98	0,33	1,27	0,42

Саянский район

Приток	0,84	0,28	1,00	0,33	1,16	0,39
Местный сток	0,83	0,28	1,00	0,33	1,17	0,39
Общие ресурсы	0,85	0,28	0,99	0,33	1,16	0,39
Отток	0,85	0,28	0,99	0,33	1,16	0,39

Нижне-Ангарский район

Приток	0,88	0,30	1,00	0,33	1,12	0,37
Местный сток	0,77	0,26	0,99	0,33	1,24	0,41
Общие ресурсы	0,89	0,30	1,00	0,33	1,11	0,37
Отток	0,89	0,30	1,00	0,33	1,11	0,37

Южно-Якутский район

Приток	0,82	0,27	0,98	0,33	1,20	0,40
Местный сток	0,84	0,28	0,99	0,33	1,17	0,39
Общие ресурсы	0,84	0,28	0,99	0,33	1,17	0,39
Отток	0,84	0,28	0,99	0,33	1,17	0,39

ных коэффициентов отдельных видов РРС. Это является следствием повышенной вариации годового стока в засушливых условиях Казахстана по сравнению с влагообеспеченными районами Сибири и Дальнего Востока.

Выводы

1. Впервые для исследуемых районов первоочередного хозяйственного освоения получены годовые величины естественного (ненарушенного хозяйственной деятельностью) притока, оттока и местного стока за единые расчетные периоды длительностью 51 год (аридные районы) и 45 лет (гумидные районы) и их значения различной обеспеченности. Использованные схе-

мы расчета предусматривают в гумидных районах оценку местного стока по разности оттока и притока речных вод, а в аридных — по сумме стока с действующих (сточных) площадей и с территорий замкнутых («бессточных») понижений.

2. В результате анализа многолетнего хода отдельных видов РРС, произведенного различными способами, выделены и количественно оценены характерные фазы многолетних циклов водности, а также выявлены синфазность или асинфазность их наступления в пределах исследуемых районов.

3. Исследование роли стока характерных градаций водности в формировании объемов стока за расчетный период показало, что доля стока маловодных лет в аридных районах значительно ниже, а многоводных лет существенно выше, чем в гумидных районах. Та же закономерность отмечается в величинах средних модульных коэффициентов, что является следствием различий в многолетней изменчивости стока этих районов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас СССР в одиннадцатой пятилетке. СОПС, при Госплане СССР. — М.: Издание ГУГК при Совете Министров СССР, 1982. — 72 с.
2. Методические основы расчета водных ресурсов и водного баланса территории СССР/В. И. Бабкин, К. П. Воскресенский, И. Б. Иванова и др. — Труды ГГИ, 1977, вып. 241, с. 11—28.
3. Плиткин Г. А. Ресурсы поверхностных вод Казахстана. — Водные ресурсы, 1976, № 5, с. 26—32.
4. Плиткин Г. А. Водный баланс и водные ресурсы административных областей Восточной Сибири. — «География и природные ресурсы». — Новосибирск, СО издательства Наука, 1981, № 2, с. 47—54.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 11, 13—17. — Л.: Гидрометеоиздат.

УДК (556.555.2 : 556.535.2)556.18.

Г. С. АРСЕНЬЕВ (ЛГМИ), В. А. КОТЕЛЬНИКОВ (ГГИ)

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА СЕВЕРНЫХ РЕК НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА и р. СВИРИ

Для выявления возможных изменений уровней Онежского озера и расходов р. Свири в условиях перераспределения стока авторами осуществлены расчеты регулирования водохранилищем Верхне-Свирской ГЭС по 25-летнему ряду с 1953—1954 по 1977—1978 гг.

Расчеты регулирования водохранилищем Верхне-Свирской ГЭС выполнялись ходом вперед от 1 апреля как начала водохозяйственного года. Техника расчета заключалась в последовательном применении уравнения водного баланса водохранилища и суммированием месячных изменений уровня Онежского озера.

Всего рассмотрено три варианта регулирования при отъемах стока в размере 3,5 км³/год и четыре варианта — 7,5 км³/год. Условия расчета, именно — минимальные уровни Онежского озера и гарантированная отдача в р. Свирь, а также величина расходов воды, забираемых из бассейна Онежского озера — приведены в таблице.

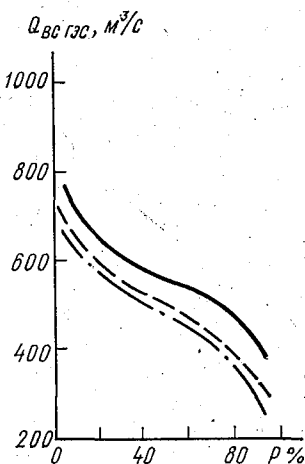
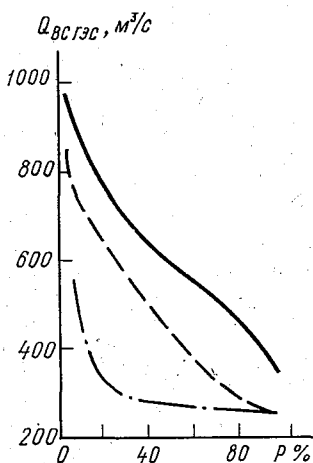
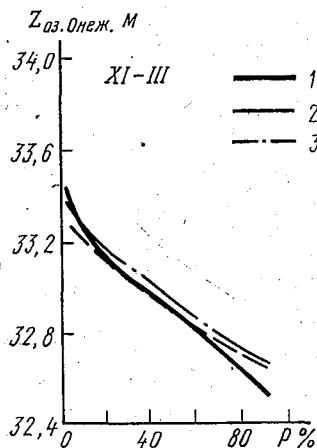
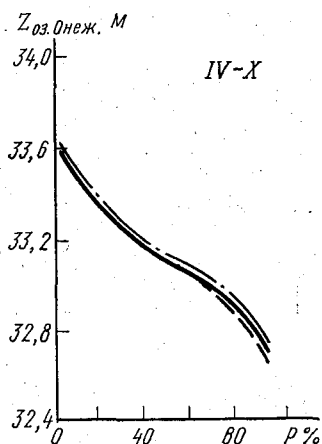
Вариант регулирования	I		II		III		IV	
Период	V—XI	XII— —IV	V—X	XI— —IV	IV—X	XI— —III	IV—X	XI— —III
Уровень Онежского озера, м	32,60	32,40	32,60	32,40	32,60	32,60	32,60	32,60
Расход р. Свири в створе Верхне-Свирской ГЭС, м ³ /с	350	$Q_c - Q_p$	350*	$Q_c - Q_p$	250	$Q_c - Q_p$	150	$Q_c - Q_p$

Примечание: * в октябре — Q_c ; Q_c — современные расходы; Q_p — расходы, забираемые из бассейна Онежского озера (при объеме 3,5 км³/год Q_p равны 110 м³/с (IV, XI), 150 м³/с (V—X), 50 м³/с (XII—III); при объеме 7,5 км³/год соответственно 200, 375 и 50 м³/с.

Анализируя материалы водохозяйственных расчетов авторы пришли к выводу, что с учетом требований основных участников водохозяйственного комплекса Онежское озеро — р. Свирь предпочтительным является III вариант регулирования. Единственное отрицательное последствие — это уменьшение гарантированной отдачи в р. Свирь в период свободного русла для нужд гидроэнергетики с 350 до 250 м³/с.

Для III варианта регулирования на рисунке построены кривые обеспеченности (по продолжительности) средних месячных уровней и расходов воды отдельно за периоды открытого и закрытого русла. Для сравнения там же изображены кривые, характеризующие естественные (современные) условия. Как видно из рисунка, уровни Онежского озера претерпевают незначительные изменения, что вытекает из самих исходных условий расчета. Иное положение с расходами р. Свири. Они заметно уменьшаются и, в первую очередь, в период открытого русла. Снижение расходов р. Свири отразится прежде всего на энергоотдаче ГЭС свирского каскада. Годовая выработка энергии ГЭС свирского каскада может снизиться на 18% при отъемах

стока $3,5 \text{ км}^3/\text{год}$ и до 36% — при отъемах стока $7,5 \text{ км}^3/\text{год}$. Таким образом, в условиях отъема стока гарантируется использование установленной мощности ГЭС свирского каскада только в зимний период.



Кривые обеспеченности (по продолжительности) средних месячных уровней Онежского озера ($Z_{\text{оз. онеж.}}$) и средних месячных расходов р. Свирь в створе Верхне-Свирской ГЭС ($Q_{\text{вс ГЭС}}$):

1 — естественные условия; 2 — отъемы стока $3,5 \text{ км}^3/\text{год}$; 3 — отъемы стока $7,5 \text{ км}^3/\text{год}$.

В заключение отметим, что результаты исследований не противоречат выводам, полученным в институте Ленгидропроект. Однако дополняют их рядом других возможных вариантов минимальных попусков, уровней Онежского озера и режимов изъятия стока.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРИИ ВЫСОКОГО И НИЗКОГО СТОЯНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ В ОЗЕРАХ

Озера широко используются в народном хозяйстве. Поэтому всестороннее их изучение является задачей актуальной. Одной из основных характеристик, от которой во многом зависят гидрологические особенности озер, является их уровенный режим.

Исследование уровенного режима показало большое разнообразие характера колебаний уровней, которые зависят, с одной стороны, от изменчивости климата, с другой, от индивидуальных особенностей водоемов [3]. Наиболее плавные длиннопериодные колебания свойственны большим бессточным озерам (Иссык-Куль, Балхаш, Б. Чаны и др.), короткопериодные флуктуации четко прослеживаются на озерах с интенсивным внешним водообменом наиболее увлажненных территорий (Воже, Кубенское, Пулозеро и др.). При этом разным озерам свойственны различные амплитуды колебаний уровней. За последние 100 лет на всех озерах достаточно определенно выявляются тренды разных знаков. Такая неодинаковая структура рядов предопределяет различную их внутреннюю связанность, а следовательно, и большое разнообразие автокорреляционных функций [4], которые при уменьшении внешнего водообмена озер все больше и больше отличаются от аналогичных функций рек в сторону увеличения первого коэффициента корреляции и времени затухания самой функции. Следовательно, колебаниям уровней озер свойственна повышенная инерционность, они более нормализованы, и математическое описание характера этих колебаний, в отличие от речного стока, будет иным.

Задача данной работы сводится к оценкам, насколько рассматриваемые ряды уровней озер отличаются от чисто случайных, насколько они закономерны и каковы физические причины, обуславливающие эти закономерности. Решение этой задачи возможно при использовании так называемых критериев случайности. Из применяемых в гидрологии критериев наиболее распространенным является критерий длин и числа серий, неоднократно использовавшийся при анализе рядов речного стока [7, 8]. Опыт его применения для уровней озер незначителен [1, 6]. Для исследования отобрано около 80 озер, имеющих периоды наблюдений не менее 40 лет, в том числе более 20 зарубежных объектов. Все эти водоемы расположены в различных физико-географических зонах и имеют разнообразные индивидуальные особенности (площади водной поверхности и бассей-

на, объем воды, внешний водообмен и т. п.). Среди рассматриваемых крупнейшие бессточные водоемы: Каспийское и Аральское моря, озера Балхаш, Алаколь, Б. Соленое; проточные: Байкал, Ладожское, Онежское, Чудское и большое количество озер меньших по размерам. При этом по возможности были исключены данные за период активной хозяйственной деятельности, проводимой на озере или его водосборе. Так рассматривались уровни Аральского моря только до 1960 г., озер Байкала и Онежского до 1958 г. и т. п.

Термином «серия» обозначен знакопостоянный отрезок ряда, состоящий из отклонений от какой-либо выбранной характеристики рассматриваемой последовательности. Длина серий (i) определяется числом входящих в нее элементов. Количество серий (M) есть число знакопостоянных отрезков, уместяющихся в анализируемом ряду. В качестве характеристик, от которых произведен расчет выбраны медиана (Me) и математическое ожидание ($\bar{H}$). По фактическим рядам было определено число многоводных (m_1) и маловодных (m_2) серий, входящих в каждую из рассматриваемых 80 совокупностей. При этом $M = m_1 + m_2$. Одновременно было рассчитано общее число единичных серий (M_1) и определена максимальная длина серий ($i_{\max}$). Аналогичные характеристики были получены для случайных рядов, длина которых соответственно принята равной фактическим.

Исследование вероятностей M' * показывает, что в рядах принятой длины распределение числа серий близко к нормальному, т. е. при $m_1 = m_2$

$$P(M' \leq m') = 0,5 + \Phi\left(\frac{m + \frac{1}{2} - \frac{n-2}{2}}{\frac{1}{2}\sqrt{n-1}}\right), \quad (1)$$

где P — вероятность того, что число серий M' будет не больше m' ; n — число членов ряда. Если обозначить

$$M'_p = \frac{1}{2}(n + 1 - u_p\sqrt{n-1}), \quad (2)$$

где u_p — нижний предел нормированного отклонения, то в случайном ряду можно с заданной вероятностью P определить число серий m' не больше, чем M'_p . Распределение числа серий длины $i' \leq k$ ($k > 2$) сходится к нормальному при больших n , при коротких же рядах и при относительно больших длинах серий оно резко асимметрично. В этом случае распределение соответствует распределению Пуассона

$$P(M' = m') = \frac{a^m}{m!} e^{-a}, \quad (3)$$

* Символ «штрих» обозначает принадлежность к случайному ряду.

отсюда для числа серий M длины не меньшей k и учитывая, что $a \approx \frac{n}{2^{n+1}}$ является математическим ожиданием числа серий каждого вида не меньших k , можно написать

$$k = \frac{1}{\ln 2} \ln \left(\frac{-n}{\ln(1-P)} \right) - 1. \quad (4)$$

Полученные таким образом характеристики серий случайных рядов при $P = 5\%$ были сопоставлены с фактическими. При этом рассмотрены следующие отношения: отношение общего числа серий и максимальной их длины в фактических рядах к соответствующим характеристикам в случайных $\left(\frac{M}{M'}, \frac{i_{\max}}{i'_{\max}} \right)$.

Величина отклонения этих отношений от 1,0 в сторону уменьшения в первом случае и увеличения во втором, показывает степень «неслучайности» ряда и отражает вклад каких-то посторонних факторов, формирующих внутреннюю структуру ряда. Чем больше этот вклад, тем четче проявляется детерминистическое начало в колебаниях уровней.

Помимо названных проанализировано также отношение доли единичных серий среди их общего количества в фактических рядах к аналогичной характеристике в случайных $\left(\frac{M_1/M_1'}{M_1'/M'} \right)$.

При этом отношение $\frac{M_1'}{M'}$ принято равным 0,5 [5]. Для оценки степени асимметрии фактических рядов проанализировано отношение $\frac{M_1}{M_2}$.

На основании результатов расчетов и проведенного анализа установлено, что общее число серий в фактических рядах изменяется в широких пределах. Так, количество серий, вычисленных относительно медианы (M_{Me}), в столетних рядах изменяется от 30—40 (Кубенское — 41, Ильмень — 36, коэффициенты автокорреляции $r(1)$ соответственно равны 0,32 и 0,40) до 5—10 (Алаколь и Каспийское море — по 6; $r(1) = 0,97$). Наибольшее число серий зафиксировано на озере Сайма — 56 ($n = 136$; $r(1) = 0,44$), наименьшее на Мертвом море — 4 ($n = 62$; $r(1) = 0,93$).

Количество серий, рассчитанных относительно математического ожидания (M_H), оказалось несколько меньшим или равным M_{Me} (Кубенское — 39, Ильмень — 35, Алаколь — 2, Каспийское море — 4, Сайма — 56, Мертвое море — 2).

Анализ отношений $\frac{M_{Me}}{M'_{Me}}$ показал, что общее число серий в фактических рядах, как правило, меньше, чем в случайных и только в восьми случаях оно несколько превысило 1,0 (Умбозеро, Пулозеро, Водлозеро, Ругозеро и др.). Наименьшим это от-

ношение оказалось для Каспийского моря — 0,14. При этом уменьшение $\frac{M_{Me}}{M'_{Me}}$ определяется степенью инерционности в коле-

баниях уровней, т. е. во многом определяется индивидуальными особенностями водоемов и климатическими условиями. Если в качестве меры инерции принять коэффициент автокорреляции первого порядка $r(1)$, а климатические особенности выразить через модуль годового стока (q), отражающего соотношение тепла и влаги

в бассейне, то $\frac{M_{Me}}{M'_{Me}} = f(r(1), q)$ (см. рисунок). Из рисунка следует, что с уменьшением $r(1)$ отношение $\frac{M_{Me}}{M'_{Me}}$ возраста-

ет быстрее в более засушливых районах.

Как отмечено выше, $M_{\bar{H}} \leq M_{Me}$, следовательно, линии связи, отражающие зависимость $\frac{M_{\bar{H}}}{M'_{\bar{H}}}$ от тех же определяющих факторов,

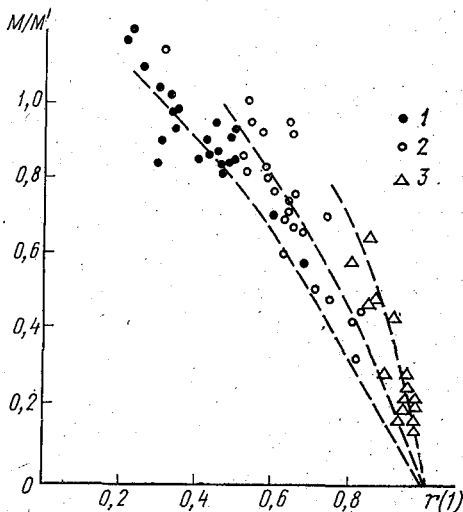
пройдут несколько ниже.

Выявленные выше факторы влияют и на остальные рассматриваемые характеристики серий. Максимальная длина серий в фактических рядах чаще всего больше, чем в случайных. Со-

отношение $\frac{i_{Me \max}}{i'_{Me \max}}$ возрастает с увеличением $r(1)$ и тем быстрее,

чем засушливее климат. В наиболее увлажненных районах ($q = 9 - 12$ л/(с · км²)) при $r(1) = 0,2 - 0,4$ указанное отношение в некоторых случаях даже меньше 1,0 (Пермус — 0,34, Канозеро — 0,67, Воже — 0,80; величины $r(1)$ соответственно равны 0,27; 0,33; 0,21) при $r(1) = 0,4 - 0,5$ оно несколько больше 1,0 (Калавеси — 1,09; Сямозеро — 1,35 при $r(1)$ соответствен-

но: 0,48; 0,43). Для Ладожского озера при $r(1) = 0,69 \frac{i_{Me \max}}{i'_{Me \max}} = 1,63$. При уменьшении q значения $r(1)$ возрастают и соответственно увеличивается рассматриваемое отношение. На бессточ-



Зависимость $\frac{M}{M'} f(r(1), q)$:

1 — озера, увлажненность бассейнов которых 9—12 л/(с · км²); 2 — то же 6—8 л/(с · км²); 3 — то же < 5 л/(с · км²).

ных озерах аридной зоны $r(1) = 0,8 - 0,85 \frac{i_{Me \max}}{i'_{Me \max}}$ несколько больше 1,0 и резко возрастает, превышая 2,5 при $r(1) > 0,9$. Наибольшее значение отношения (4,8) зафиксировано на Каспийском море. Отношение $\frac{i_{\bar{H} \max}}{i'_{\bar{H} \max}}$, как правило, больше и, например, для того же Каспийского моря равно 8,45.

Отношение единичных серий фактических рядов к аналогичным сериям случайных $\frac{M_{1 Me}}{M'_{1 Me}}$ уменьшается по мере увеличения засушливости климата при одних и тех же $r(1)$. Так на высокопроточных озерах при $q = 9-12$ л/(с·км²) это отношение приближается к 0,5 (Канозеро, Умбозеро, Воже и др.), а на бессточных (при $q < 5$ л/(с·км²)) не превышает 0,2 (Кулундунское, Алаколь, Б. Чаны и др.). Следовательно, отношение $\frac{M_{1/M}}{M'_{1/M}}$ уменьшается от 1 до 0,4 по мере увеличения инерционности в колебаниях уровней.

Анализ соотношения маловодных и многоводных серий в рядах фактических совокупностей $\frac{m_1}{m_2}$ показал, что большая их часть близка к 1,0. Особенно это четко проявляется на бессточных озерах аридной зоны, где в 14 случаях из 18 $m_{1 Me} = m_{2 Me}$. На проточных озерах чаще m_2 незначительно превышает m_1 . Наибольшая разница в количестве маловодных и многоводных серий зафиксирована на Пулозере (соответственно 14 и 12), Канозере (10 и 8) и некоторых других. Примерно такие же результаты получены при расчетах числа серий относительно $\bar{H}$.

Проведенный анализ позволил установить существование среди рядов уровней озер совокупностей как весьма близких к случайным, так и закономерным. Наиболее близки к случайным ряды уровней высокопроточных озер зоны избыточного увлажнения. Уменьшение водообмена приводит к изменению структуры рядов, которые становятся более плавными. Особенно это четко проявляется по мере возрастания засушливости климата. Названные особенности определяются постоянно действующими факторами, к числу которых, в первую очередь, следует отнести упомянутую выше степень внешнего водообмена озер, а также морфометрические характеристики котловин для бессточных водоемов и русел вытекающих рек для проточных, т. е. факторов, формирующих инерционность в колебаниях. Чем выше инерционность, тем более четко проявляется тенденция к группированию элементов, составляющих рассматриваемые ряды, тем определеннее наблюдается формирование циклических колебаний, выходящих за пределы чисто случайного происхождения. Этот вывод хорошо подтверждается анализом циклических

колебаний, выявленных с помощью спектрального разложения исследуемых рядов [2], который показал, что уровням озер, расположенным в разных районах, свойственны различные наборы значимых циклов, периоды которых также увеличиваются при возрастании $r(1)$ и засушливости климата.

Таким образом, для большинства исследуемых рядов среднегодовых уровней озер гипотеза случайности не находит подтверждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багров Н. А. О колебаниях уровня бессточных озер. — Метеорология и гидрология, 1963, № 6, с. 41—46.
2. Догановский А. М. Циклические колебания озерных уровней в последнем столетии. — В сб.: География и природные ресурсы. М., Наука, СО АН СССР, 1982, с. 152—156.
3. Догановский А. М. Географические аспекты проявления инерции в колебаниях уровней озер. — Известия ВГО, 1986, т. 118, вып. 1, с. 54—58.
4. Догановский А. М. Анализ автокорреляционных функций рядов среднегодовых уровней озер. (См. наст. сборник).
5. Дунин-Барковский И. В., Смирнов Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть). — М.: Гостехиздат, 1955. — 511 с.
6. Музылев С. В., Привальский В. Е., Раткович Д. Я. Стохастические модели в инженерной гидрологии. — М.: Наука, 1982. — 184 с.
7. Раткович Д. Я. Многолетние колебания речного стока. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 255 с.
8. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 424 с.

УДК 556.55 : 556.048

А. М. ДОГАНОВСКИЙ (ЛГМИ)

АНАЛИЗ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ РЯДОВ СРЕДНЕГОДОВЫХ УРОВНЕЙ ОЗЕР

Для выбора моделей описания вероятных колебаний среднегодовых уровней озер существенное значение имеет характер внутренней связности этих рядов во времени, т. е. вид их автокорреляционных функций (АКФ). Учитывая их большое разнообразие, представляет интерес выявление причин обуславливающих тот или иной вид АКФ.

В настоящее время имеется большое количество исследований, посвященных изучению автокорреляционных функций речного стока, атмосферных осадков и других гидрометеорологических элементов [2, 5—8]. Что касается уровней озер (H), то их автокорреляционные функции изучены значительно слабее. Имеются сведения лишь об отдельных объектах, которые не позволяют судить о всех особенностях присущих АКФ озер.

В настоящей работе выполнен анализ автокорреляционных функций рядов среднегодовых уровней большого количества озер, расположенных в различных физико-географических условиях Советского Союза и сопредельных территорий других стран. Всего рассмотрено около 70 озер с периодами наблюдений (n) не менее 40 лет. Кроме того, исследовались АКФ, вычисленные по отдельным выборкам, имеющим различную длину. Так, для Ладожского озера рассмотрены АКФ по 13—60-летним рядам, по 10—40-летним; по Каспийскому морю по 10—40-летним, 8—60-летним, 9—80-летним и т. д. Всего, таким образом, проанализировано более 150 коррелограмм.

Наиболее крупным из рассмотренных водоемов является Каспийское море (площадь зеркала $F_0 = 394\,000\text{ км}^2$), самым маленьким — озеро Глубокое ($F_0 = 4,2\text{ км}^2$).

Существенно различными оказались для различных озер и величины их внешнего водообмена. Среди исследуемых озер имеются как проточные, так и не имеющие стока. Большинство этих озер сосредоточено в озерных районах Севера Европы и аридной зоны СССР. Озера с существенно нарушенным уровнем режимом под влиянием хозяйственной деятельности не рассматривались или исследовались ряды до момента нарушений. Например, на Байкале исследован ряд с 1887 до 1958 года — момента начала работы Иркутской ГЭС, на озере Белом — с 1901 по 1962 год и т. д.

К сожалению, огромное число малых озер в этом плане остались не исследованными, так как не имеют достаточно длинных рядов наблюдений за уровнями.

Ординаты автокорреляционных функций рассчитывались по формуле:

$$r(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} (H_i - \bar{H}_i)(H_{i+\tau} - \bar{H}_{i+\tau})}{\sigma_i \sigma_{i+\tau} (n - \tau - 1)}, \quad (1)$$

где n — число членов статистического ряда; τ — величина сдвига (год); $H_i, H_{i+\tau}$ — члены ряда от H_i до $H_{n-\tau}$ и от $H_{1+\tau}$ до H_n ; $\bar{H}_i, \bar{H}_{i+\tau}$ и $\sigma_i, \sigma_{i+\tau}$ — соответственно среднее значение и стандарты соответствующих отрезков ряда.

Результаты расчетов и анализ коррелограмм показали, как отмечено выше, большое разнообразие АКФ, которые различаются величинами коэффициентов автокорреляции, амплитудой, характером затухания функции с ростом τ и другими характеристиками. При этом, на первый взгляд, часто непохожими выглядят АКФ одного и того же озера, но рассчитанные по различным выборкам (с разным началом отсчета и n). Однако внимательный анализ коррелограмм все же позволяет подметить определенные закономерности свойственные разным АКФ, по некоторым признакам провести их группировку, а также выявить основные причины, влияющие на изменение тех или иных парамет-

ров АКФ. Например, отмечено, что во всех случаях первые коэффициенты автокорреляции $r(1)$, отражающие внутрирядную связанность всегда положительны и, как правило, существенно больше чем аналогичные коэффициенты для рек. Наименьшее значение $r(1) = 0,20$ отмечено на озере Маркаколь, наибольшее 0,99 на Иссык-Куле и Каспийском море. Установлено, что теснота внутрирядной связанности зависит от местоположения озер и их бассейнов, а также от их индивидуальных особенностей [3, 4, 6]. Местоположение определяет увлажненность бассейна, которая характеризуется модулем речного стока (q). Считается, что первый коэффициент автокорреляции для рек возрастает при уменьшении q [4, 5, 7]. Особо следует подчеркнуть, что бассейны озер, особенно средних и крупных включают в себя иногда очень большое количество различных рек; поэтому на величину $r(1)$ озера влияет как бы обобщенное значение их коэффициентов автокорреляции. Эти значения трансформируются под влиянием индивидуальных особенностей озер, к которым относятся степень водообмена и морфометрические характеристики, отражающие зависимость между наполнением водоема и количеством теряемой им воды. Для бессточных озер — это степень крутизны береговых откосов, для проточных — сечения русел вытекающих рек [4, 7].

Исследования показали, что $r(1)$ достаточно хорошо характеризует параметры всех АКФ и в отличие от других элементов легко определяется и является наиболее устойчивым. С величиной $r(1)$ связаны вид АКФ, особенно ее начального звена, время корреляции и др. Отмечено, что при малых $r(1)$ свойственных сильно проточным озерам АКФ имеет более сложный вид (Пулозеро, Ильмень, Сайма), чем при высоких $r(1)$ на бессточных водоемах (Каспийское море, Балхаш, Алаколь, Б. Чаны). Однако в обоих случаях при увеличении τ точность расчетов коэффициентов автокорреляции уменьшается и вид АКФ существенно искажается. Поэтому целесообразно рассматривать лишь начальные звенья автокорреляционных функций, которые включают несколько только значимых величин $r(\tau)$. Критерий значимости определен по формуле:

$$\mu_{r(\tau)} = \pm \frac{t_s}{\sqrt{n-\tau}}, \quad (2)$$

где t_s — критерий Стьюдента, определяемый по таблице в зависимости от длины ряда.

Если ординаты АКФ при заданном τ выходят за пределы критической области, то они считаются значимыми. Результаты расчетов показали, что количество значимых $r(\tau)$ начального звена АКФ увеличивается при возрастании $r(1)$ и при переходе от озер гумидной зоны к озерам аридной. Так, для озер расположенных в районе с $q = 9 - 12$ л/(с·км²) при $r(1) = 0,3 - 0,4$ количество значимых ординат составляет 1—3 (Сумозе-

ро — 1, Сайма — 2, Ильмень — 3 и т. д.). Для бессточных озер при $r(1)=0,8-0,9$ это количество возрастает до 3—7 (Кулундинское — 3, Б. Чаны — 5 и т. д.), при $r(1) > 0,9$, как правило, более 10 (Алаколь — 11 и т. д.). Это обстоятельство существенно отличает АКФ уровней озер от стока рек, у которых статистически значимыми являются лишь коэффициенты корреляции между смежными членами ряда [5, 8]. Это же говорит о наличии у озер заметного инерционного звена, которое позволяет рассчитывать на увеличение предсказуемости процесса колебаний уровней.

Анализ коррелограмм показал, что исследуемые АКФ озер можно ориентировочно разделить на три большие группы по внешнему виду и по связи $r(1)$ с различными характеристиками автокорреляционных функций (рис. 1).

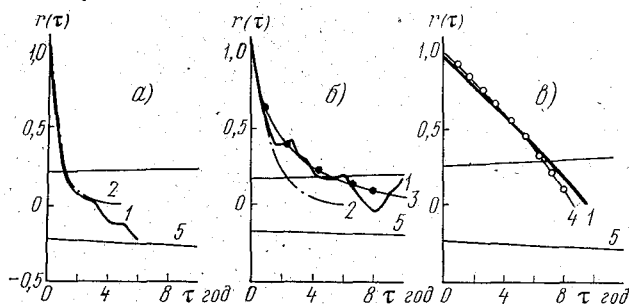


Рис. 1. Автокорреляционные функции уровней озер:

а — озеро Маркаколь; б — озеро Ладожское; в — озеро Б. Чаны; 1 — выборочная оценка; 2 — по модели (3); 3 — по модели (4); 4 — по модели (5); 5 — границы критических областей (2).

Первая группа АКФ включает проточные водоемы Севера и Северо-Запада ЕТС, Скандинавии, Финляндии, увлажненность бассейнов которых составляет 9—12 л/(с·км²), а $r(1)$ не превышает 0,5 (Ильмень, Сайма, Венерн, Пулозеро, Оулуярви и др.). Для большинства АКФ озер этого района затухание $r(\tau)$ происходит по закону

$$r(\tau) = r(1)^\tau. \quad (3)$$

Вторая группа АКФ включает проточные озера Советской Прибалтики, Белоруссии, Польши, увлажненность которых 6—8 л/(с·км²) (Чудское, Виртсъярв, Нигочин и др.). Сюда же можно отнести озера с более высокой увлажненностью бассейнов и $r(1) > 0,5-0,6$ (Ладожское). Для описания затухания $r(\tau)$ этой группы озер можно использовать формулу предложенную Г. А. Алексеевым [1]

$$r(\tau) = r(1) \gamma^{\tau-1}, \quad (4)$$

где γ — знаменатель геометрической прогрессии; значение этого параметра переменнo.

Третья группа АКФ включает бессточные водоемы аридной зоны (Каспийское и Аральское моря, Б. Чаны, Балхаш, Кулундинское, Аргаяш, Убинское и др.). Вид их автокорреляционных функций принципиально отличается от ранее описанных тем, что они выпуклы и это приводит к еще более медленному затуханию $r(\tau)$. Для описания их лучше всего подходит уравнение

$$r(\tau) = 1 - 0,33 \frac{\tau}{T} - 0,13 \left(\frac{\tau}{T} \right)^2, \quad (5)$$

где T — время корреляции, зависящее от $r(1)$ и определенное как основание прямоугольника, площадь которого равна площади под автокорреляционной функцией до пересечения ее с осью абсцисс. При этом, чем выше коэффициент автокорреляции, тем больше T . В первом приближении по данным 18 АКФ бессточных озер установлено:

$$T = 9,3 - 36 r(1) + 34 r(1)^2. \quad (6)$$

Минимальное значение $r(1) = 0,35$ соответствует осредненному коэффициенту автокорреляции рек, протекающих в этом районе. Формула справедлива до $r(1) = 0,95$. При более высоких его значениях соотношение между $r(1)$ и T изменяется иначе: при $r(1) = 0,97$ $T = 9$, при $r(1) = 0,99$ $T = 18$, при $r(1) \rightarrow 1,0$ $T \rightarrow \infty$.

Установленная зависимость параметров АКФ от $r(1)$ в какой-то мере может объяснить наблюдаемое различие автокорреляционных функций вычисленных для одного и того же водоема, но по различным выборкам и с разным началом отсчета. Исследование таких АКФ показало большое разнообразие $r(1)$. Так для Ладожского озера величина первого коэффициента автокорреляции рассчитанного по 26 выборкам изменяется от 0,43 (за период 1915—1937 гг.) до 0,74 (1914—1973 гг.). Только по 60-летним отрезкам ряда диапазон $r(1)$ превысил 0,2 (от 0,53 до 0,74). Большое изменение этих коэффициентов наблюдается и на других озерах. Очевидно, при одинаковых $r(1)$ должны быть близкими и другие параметры АКФ. Это вполне подтверждается при сравнении автокорреляционных функций, вычисленных по достаточно длинным выборкам, например, для озера Селигер и др. (рис. 2). Как следует из рисунка, особенно близки между собой начальные участки АКФ, хотя рассматриваемые отрезки ряда отстоят друг от друга на много лет.

Если считать уровень озера индикатором, отражающим воздействие факторов, определяющих внутреннюю связанность ряда, то $r(1) = f(N)$. Для большинства исследуемых озер эта зависимость проявляется достаточно четко при условии одинаковых n . При падении уровня вызванного снижением притока в озеро и уменьшением водообмена коэффициенты автокорреляции возрастают. Аналогичная закономерность выявлена и для бессточных водоемов. Однако, по предварительным данным следует, что возрастание $r(1)$ при понижении уровня возможно бу-

дет происходить до какого-то предела, после чего начнется уменьшение коэффициентов автокорреляции. Так, для Каспийского моря при уменьшении H от 300—350 см до 250—300 см, $r(1)$ возрастает от 0,85—0,90 до 0,90—0,99; при $H = 170$ см $r(1) = 0,96$.

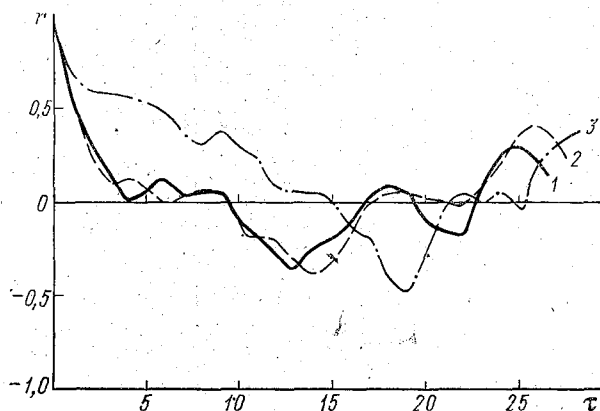


Рис. 2. Автокорреляционные функции. Озеро Селигер. 60-летние выборки:
1 — $H = 75$ см (1883—1942 гг.); 2 — $H = 75$ см (1913—1972 гг.); 3 — $H = 45$ см (1843—1907 гг.).

Таким образом, наполнение озера, отражающее климатические условия и индивидуальные особенности водоема, влияют на параметры АКФ.

Выполненные расчеты и анализ позволили на относительно большом материале установить некоторые закономерности, присущие автокорреляционным функциям различных озер, расположенных в разных физико-географических зонах. Полученные результаты следует рассматривать как предварительные, так как в настоящее время нет достаточно корректных оценок точности и достоверности во времени АКФ, тем более, что уровни озер, отличительной особенностью которых является высокая внутрирядная связанность, не всегда подчиняются нормальному закону распределения. Тем не менее, нам кажется, что некоторые из полученных выводов можно принять вполне достоверными.

Это, прежде всего, вывод о повышении инерционности озер (увеличение $r(1)$, T , числа значимых ординат АКФ) с возрастанием засушливости климата и уменьшением водообмена. По этому применяемые в гидрологии уравнения для аппроксимации автокорреляционных функций для АКФ озер не являются универсальными. Одновременно наблюдается снижение $r(1)$ при уменьшении объема выборки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 363 с.
2. Артемьева Н. П., Куприянов В. В. Анализ автокорреляционных функций многолетних рядов низкого стока рек Советского Союза — Метеорология и гидрология, 1984, № 6, с. 76—86.
3. Багров Н. А. О колебаниях уровня бессточных озер. — Метеорология и гидрология, 1963, № 6, с. 41—46.
4. Догановский А. М. Географические аспекты проявления инерции в колебаниях уровней озер. — Известия ВГО, 1986, т. 118, вып. 1, с. 54—58.
5. Жданова И. С., Раткович Д. Я. Автокорреляционные функции рядов годового стока и годового слоя осадков. — В сб.: Проблема регулирования и использования водных ресурсов. М., Наука, 1973, с. 104—118.
6. Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 377 с.
7. Музылев С. Д., Привальский В. Е., Раткович Д. Я. Стохастические модели в инженерной гидрологии. — М.: Наука, 1982. — 184 с.
8. Рождественский А. В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 270 с.

УДК 556.043 : 556.535

С. Д. ВИННИКОВ (ЛГМИ)

К ПОСТРОЕНИЮ ОБОБЩЕННЫХ ГРАФИКОВ УРОВНЕЙ И РАСХОДОВ ВОДЫ

1. График уровней воды в отметках

Наставлением [1] рекомендуется способ обобщения данных измерений на водомерных постах, заключающийся в построении совмещенных хронологических графиков колебания уровней воды $H = f_1(\tau)$. Эти графики, построенные по двум переменным, недостаточно наглядны и не содержат информации необходимой для проведения оперативного анализа и контроля уровня режима реки по всей ее длине. В связи с этим предлагается на реках с малыми уклонами водной поверхности сведения об уровнях воды представлять с учетом третьей переменной, отражающей расстояние вдоль реки, т. е. в виде обобщенного графика $z = f_2(\tau, x)$. Здесь z — отметка поверхности воды. Строится этот график по мере получения информации об измеренных уровнях воды.

Его построение заключается в следующем (рис. 1). Вначале наносятся точки с цифровыми значениями отметок поверхности воды в координатах x и τ , т. е. расстояния от устья (горизонтальная ось) и даты измерения уровня (вертикальная ось). Затем по точкам с одинаковыми значениями отметок поверхности воды проводятся изолинии. При их проведении, если это необ-

ходимо, выполняется интерполяция между выписанными значениями отметок.

Построенный таким образом обобщенный график изменения уровней воды во времени и по длине реки удобен, нагляден и

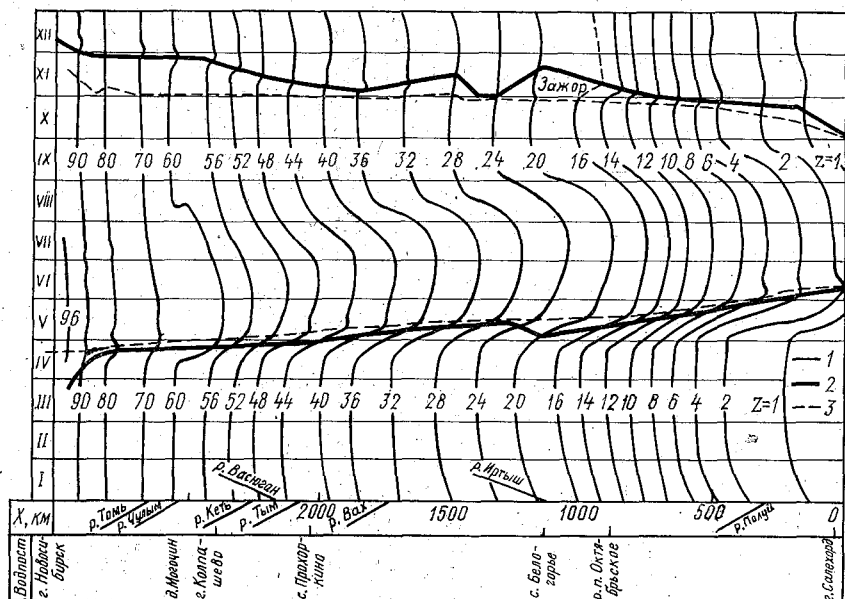


Рис. 1. График уровней воды в отметках р. Оби за 1971 год:

1 — изолинии следования постоянной отметки поверхности воды z ; 2 — линия, ограничивающая период существования на реке сплошного ледяного покрова; 3 — линия, ограничивающая период ледохода.

емок в отношении информации о ее режиме. Он содержит следующие сведения в отметках, а не над нулем графика, как совмещенные графики: об уровне воды, времени добегания и продолжительности стояния уровня, времени подъема и спада уровня, амплитуде колебания уровня; данные об уровненом режиме в любом створе реки и на любую дату, о продольном уклоне водной поверхности ($I = \frac{\partial z}{\partial x}$), в любую дату, о производ-

ной от уклона ($\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$), о периодах ледостава, ледохода и свободном ото льда, о местах образования зазора, затора или интенсивного размыва русла реки, о продолжительности затопления прибрежного объекта и поймы, если известна их отметка, о длине подпорного участка и т. д. На графике вдоль оси x можно показать места впадения притоков, расположения пойм, порогов, местонахождение населенных пунктов, промышленных предприятий, водозаборов, мостов и выписать отметки, на ко-

торых они расположены, связав таким образом режим реки с антропогенным воздействием на бассейн. Этот график может служить основой для составления краткосрочного прогноза уровня воды в любом створе реки, а также для расчета скоростей подъема уровня ($v_z = \frac{\Delta z}{\Delta \tau}$) и его изменения вдоль реки ($v_x = \frac{\Delta x}{\Delta z}$). По данным о средних отметках дна русла по длине реки, можно на этот график нанести среднюю линию дна и, следовательно, определить глубины в любой момент времени и в различных створах реки.

2. График расходов воды

При наличии достаточного числа створов с измерениями расходов воды можно, по аналогии с рассмотренным выше графиком уровней воды в отметках, построить график расходов воды в виде зависимости $Q = f_3(\tau, x)$ (рис. 2). Этот график пред-

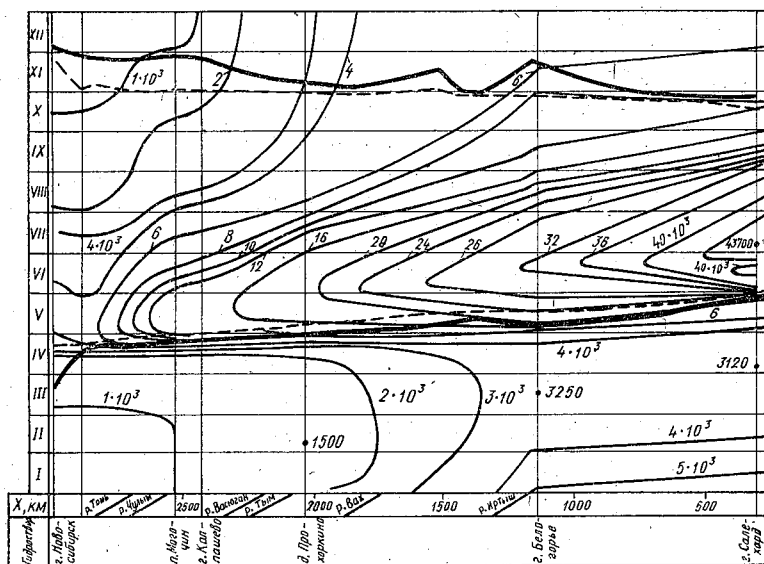


Рис. 2. График расходов воды р. Оби за 1971 год:

1 — изолинии равных ежедневных расходов воды; 2 — линия, ограничивающая период существования на реке сплошного ледяного покрова; 3 — линия, ограничивающая период ледохода.

ставляет собой систему изолиний ежедневных расходов воды. Изолинии проводятся в поле значений расходов воды, выписанных на графике и отнесенных к конкретной дате и створу измерения, обозначенному на оси.

График расходов воды так же, как и график уровней воды емкок в отношении содержания информации и позволяет расширить наши представления об изменении водности по длине реки и во времени, выполнить текущий контроль расходов воды и их увязку по длине реки и др.

Используя этот график можно также составить представление о внутригодовом распределении стока и определять, например, объемы воды на различных участках реки на любую дату. Для решения этого вопроса необходимо на выбранную дату снять с графика значение расходов воды и построить зависимость $Q = f_4(x)$. Планиметрируя площадь между осью x и кривой $Q = f_4(x)$, определим объем воды в русле реки на интересующем нас участке.

При решении прогностических задач, задач о движении паводочной волны и других, часто необходимы значения производных от расхода: $\frac{\partial Q}{\partial x}$, $\frac{\partial Q}{\partial t}$, $\frac{\partial Q}{\partial \omega}$, которые можно получить, используя предлагаемый график. С помощью приведенного графика возможно решение еще ряда других вопросов.

В качестве примера выполним краткий анализ рекомендуемых графиков, построенных для р. Оби за 1971 год по данным 24 уровенных и 8 расходных постов.

По этим графикам, например, установлено:

1) отметки уровней воды на водпосту с. Молчаново ниже, чем на водпосту с. Могочи, расположенном в 39 км от него по течению (рис. 1). При выяснении вопроса обнаружилось, что отметка нуля графика водпоста с. Молчаново занижена на 1,78 м;

2) отметки уровня воды на водпосту с. Мужи, расположенном на протоке Малая Обь, приблизительно на 1 м выше отметок уровня воды в самой р. Оби. В этом случае либо ход уровня в протоке Малая Обь не отражает ход уровня в р. Оби, либо отметка нуля графика на водпосту с. Мужи завышена;

3) анализ графика и данных об уровнях по водпосту г. Нижневартовска при условной отметке нуля графика 30 м показал, что ее можно считать абсолютной. Действительно, при нивелировке репера в последующие годы, оказалось, что его отметка равна 30,03 м;

4) выявлен мощный зазор между водпостами д. Белогорье и р. п. Октябрьское, образовавшийся в ноябре месяце, о котором в гидрологическом ежегоднике сведений не приводится. Признаком зазора (затора) является расхождение соседних линий равных отметок водной поверхности.

В заключение следует отметить, что:

1) аналогично приведенным графикам могут быть построены графики температуры, солености и мутности воды, толщины льда и других характеристик потока, представляющие также

большой интерес для потребителей гидрологической информации;

2) использование предлагаемых графиков позволит разработать ряд новых методов расчета в инженерной гидрологии и речной гидравлике;

3) с помощью предлагаемых графиков можно сделать предварительное суждение о размещении вновь открываемых или, наоборот, закрытии действующих гидрогеологических станций и постов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наставление гидрометрическим станциям и постам, вып. 6, ч. I. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 384 с.

УДК 556.166

В. Н. ПРУДНИКОВ (НИИП), Н. Ф. РУДЧЕНКО (ЛГМИ)

СТРУКТУРА И ПОДЛЕДНОЕ ТЕЧЕНИЕ В МЕХАНОТЕРМИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ КИНЕМАТИКИ СОЛЕНОГО И ПРЕСНОГО ЛЬДА

Аналоговое электро моделирование поведения и прогнозирование будущих состояний в условиях неполной информации о ледяном покрове замерзающих морей и рек, шельфовых и горных ледников требуют учета кристаллической структуры, взаимодействий с атмосферой и подстилающей средой.

Идеальный монокристалл льда с постоянной решетки $2,76\text{\AA}$ содержит расположенные тетраэдрически атомы кислорода молекул воды, гексагонально симметричные, относительные *C*-оси. Молекула воды ориентирована так, что два атома водорода расположены в направлении двух из четырех соседних атомов кислорода. Молекулы лежат вблизи семейства базисных плоскостей кристалла, единичная ячейка которого размером $4,5 \times 4,5 \times 7,4\text{\AA}$, образованная четырьмя молекулами, соответствует плотности $0,917\text{ г/см}^3$, порождающей положительную плавучесть льда. Микрочастицы, ионные примеси и газы внедряются в межузловое пространство или заполняют дефекты решетки, влияя на интенсивность образования и подвижность дислокаций. Твердые примеси сосредоточены на границах зерен или их пересечениях, а растворимые — образуют жидкие пленки при температурах выше точки эвтектики. При вариациях температуры жидкие пленки изменяют объем и концентрацию. В точке фазового перехода I рода вовлечение или выделение примесей обратно пропорционально скорости перехода [4] Оси моно-

кристаллов изотропного поликристалла ориентированы случайно. Сдвиговые деформации и разупрочнение льда обусловлены предпочтительной ориентацией C -осей и структуры под влиянием длительных механических и тепловых нагрузок.

Тепловые колебания кристалла происходят с частотой $kT/2\pi\hbar$, где k — постоянная Больцмана; $\hbar$ — квантовая постоянная Планка; T — абсолютная температура. Произведение этой частоты на вероятность возбуждения из распределения Больцмана дает энергию активации ΔF , ккал/моль:

$$\Delta F = -NkT \ln \frac{2\pi\nu\hbar}{kT}, \quad (1)$$

где ν — частота активации; N — число Авогадро.

Простые соотношения [5]:

$$\Delta F = P(1 - \sqrt{\sigma/\sigma_0})^2 / KS_{00},$$

$$\Delta F = P[1 - (E/E_0)^{1/4}] / S_{00}, \quad (2)$$

где P — нормировочный множитель, связывает температуру с прочностью льда при наличии (σ) и отсутствии (σ_0) соли, комбинацией $K = \gamma\varepsilon/(\pi\beta) \sim 1$ петрографических параметров (γ — вертикальной решетки, ε — эллиптичности соляных включений, β — относительного распределения соляных включений по вертикали), соленостью S_{00} , модулями Юнга E и E_0 соответственно при наличии и отсутствии соли.

Распределение температуры T в ледовой пластине на рис. 1 определим из уравнения баланса энергии, включающего механическую диссипацию, теплопроводность и тепловую конвекцию,

$$b^{1/n} G (2b + V_w - V_i) + \kappa^2 \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho_i c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \omega \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (3)$$

$$b = \rho_i (\rho_w - \rho_i) g h_{\text{л}}^2 / 4 \rho_w \bar{G}, \quad (4)$$

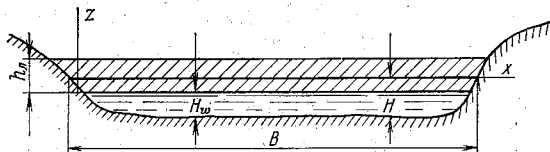


Рис. 1. Геометрия задачи.

где ρ_i и ρ_w — соответственно плотность льда и подледной воды; g — ускорение свободного падения; $h_{\text{л}}$ — толщина льда;

$$G = \int_{-h_{\text{л}} \rho_i / \rho_w}^{h_{\text{л}} \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_w}\right)} G dz; \quad (5)$$

n и G — параметры в законе течения Глена [3] для чистого сдвига

$$\gamma = \tau/G^n, \quad (6)$$

γ — скорость эффективной деформации сдвига; τ — интенсивность касательных напряжений; V_w — скорость течения воды и V_i — скорость всплытия льда в единицу времени (перемещения) у границы раздела вода — лед; κ — коэффициент теплопроводности; C_p — удельная теплоемкость и

$$\omega = V_i - bz. \quad (7)$$

Полагая известными аккумуляцию льда Δh_n , тепловой поток q_{ia} в атмосферу, температуру T_w подледной воды и тепловой поток q_{wi} из воды в лед, запишем граничные условия:

$$h_n \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_w}\right) - \omega = \Delta h_n, \quad q_{ia} = -\kappa \partial T / \partial z \quad (8)$$

при $z = h_n \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_w}\right)$;

$$\frac{h_n \rho_i}{\rho_w} + \omega = \frac{1}{B} (q_{wi} - \kappa \partial T / \partial z) \quad (9)$$

при $z = -h_n \rho_i / \rho_w$,

где B — ширина русла (ледового шельфа, ледника).

На границе раздела вода — лед разность между отводимым льдом теплом и количеством перетекающего из воды в лед тепла расходуется на фазовый переход.

Преобразования

$$H_w = z - \frac{V_i}{b}, \quad \omega = -bH_w \quad (10)$$

ведут к представлению

$$T(H_w) = \frac{T_i}{N_{\text{num}}(H_w)} - \frac{T_i}{N_{\text{num}}(H_w + 0,5 h_n)}, \quad (11)$$

где N_{num} — численные значения величин n , имеющие особенность при $n \rightarrow 0$ исключаться переходом в первый момент по h_n интегрированием (3). Пренебрегая малыми описывающими теплопроводность членами, получим

$$\xi = \frac{2}{\rho_i c_p} b^{(n+1)/n} \int_{H_w}^{H_w + h_n} GH dH \approx \frac{1}{\rho_i c_p} b^{(n+1)/n} G h_n (2H_w + h_n); \quad (12)$$

$$V = \int_{H_w}^{H_w + h_n} TH dH. \quad (13)$$

Приведенная характеристика теплового баланса (X) по толщине льда

$$X = b h_n / \Delta h_n, \quad (14)$$

и безразмерный тепловой поток

$$V = 4 \frac{\rho_w c_p q_{ia}}{(\rho_w - \rho_i) g x}, \quad (15)$$

связаны выражениями:

$$V = \begin{cases} X^2 & \text{при } X > 1, \\ X(2 - X) & \text{при } X \leq 1. \end{cases} \quad (16)$$

Пока тепловой поток на границе раздела направлен из льда в атмосферу, параметр $X > 0$ — однозначная функция скорости.

Значение скорости в определенный момент V_i из (7) будет:

$$V_i = \frac{\Delta h_{\text{л}} (\rho_w - \rho_i)}{\rho_w} \begin{cases} -\frac{\rho_w}{\rho_w + \rho_i} + \sqrt{V} & \text{при } V > 1, \\ -\frac{\rho_i}{(\rho_w - \rho_i)} - \sqrt{1 - V} & \text{при } V \leq 1. \end{cases} \quad (17)$$

Поэтому таяние и замерзание у границы раздела вода — лед описывается выражением

$$dh_{\text{л}} = \frac{1}{B} \left[q_{wi} + \frac{\kappa}{H_w^2} (\text{sign } H_w) T_i \right] = b h_{\text{л}} - \Delta h_{\text{л}}. \quad (18)$$

Зависимость $X = f(V)$ при $\kappa = 2,1$ Вт/(м·°С), $\rho_i = 900$ кг/м³, $c_p = 4$ Дж/(кг·град), $\Delta h_{\text{л}} = 9 \cdot 10^{-10}$ м/с, $n = 3,5$; $G = 1,5 \cdot 10^{-8}$ (Н/м²)·с^{2/7}, $b = 6 \cdot 10^{-11}$ с⁻¹ приведена на рис. 2.

Конечное состояние толщин льда h_0 выражается зависимостью

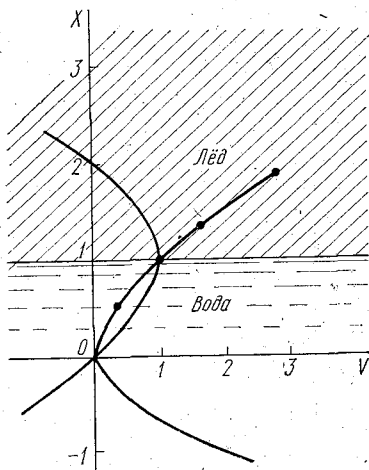


Рис. 2. График функции $X = f(V)$.

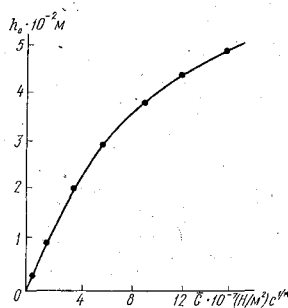


Рис. 3. График функции $h_0 = \Phi(G)$.

$$h_0 \approx \left[\frac{4 \rho_w \bar{G}}{\rho_i (\rho_w - \rho_i)} \right]^{n/(n+1)} \Delta h_{\text{л}}^{1/(n+1)}. \quad (19)$$

Зависимость h_0 от G приведена на рис. 3.

Итак, толщина льда зависит от кристаллической структуры, плотности, солености, петрографических параметров, частоты активации, скорости деформации льда в направлении течения подледной воды и теплового баланса, определяемого энергообменом между льдом и атмосферой.

Области значений параметра X разграничивают две зоны физического состояния. Если $X < 1$, то $H = 0$ лежит ниже границы раздела лед — вода и температура монотонно растет с глубиной за счет геотермального потока тепла. Скорость всплытия льда V_i уменьшается с глубиной. Аккумуляция льда больше, чем его утоньшение вследствие «шлифования» подледным течением и таяния у нижней границы при $d\dot{h}_л < 0$. При $X > 1$ утоньшение льда идет быстрее аккумуляции и его толщина определяется фазовым переходом вода — лед при $dh_л > 0$.

Нарастающий снизу лед медленно всплывает, диссипация энергии подледной воды и всплытия повышает температуру в плоскости соприкосновения.

Кривые $X = f(V)$ в первом квадранте рис. 2 и на рис. 3 подобны фронту кривых добегания [2] и допускают аналоговое электромоделирование с помощью устройств [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Волосевич А. Н. Устройство для моделирования скорости нарастания льда. Авторское свидетельство СССР, № 1080159, опубл. 15.03.84.
2. Калинин Г. П., Милюков П. И. О расчете неустановившегося движения воды в открытых руслах. — Метеорология и гидрология, 1957, № 10.
3. Hooke R. L. Structure and flow in the margin of Barnes Ice Cape, Baffin Island, N. W. T., Canada. — J. Glaciol, 1973, 12, p. 423—438.
4. Mellor M. Mechanical properties of polycrystalline ice. — Physics and Mechanics of ice. Springer—Verlag, 1980, p. 202—239.
5. Weeks W., Assur A. The mechanical properties of sea ice. — USA CRREL Monogr., 1967, П-СЗ, XIV—80 p.

УДК 556.06 : 556.535.2

Ю. М. ГЕОРГИЕВСКИЙ, В. А. ШЕЛУТКО,
В. Г. ГВОЗДЕВА (ЛГМИ)

ПРОГНОЗ ХАРАКТЕРИСТИК УРОВЕННОГО РЕЖИМА В НИЗОВЬЯХ рек ОБЬ И ИРТЫШ ДЛЯ НУЖД РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА

В формировании рыбных запасов р. Оби большую роль играет ее водный режим, режим обводнения поймы, главным образом степень ее затопления и продолжительность стояния на

ней воды. С наступлением ледостава реки полностью переходят на грунтовое питание, в результате чего азрированные воды открытого периода постепенно заменяются обескислороженными водами. Вследствие дефицита кислорода отмечаются интенсивные заморы — массовая гибель рыбы.

Для планирования улова рыбы необходимо иметь данные об ожидаемом водном режиме низовьев рек Оби и Иртыша в весенне-летнем и зимнем сезонах; в частности сведения о среднегодовом (H), максимальном (H_m), зимнем минимальном тридцатидневном (H_{30}) уровнях воды, а также о продолжительности затопления поймы (T).

В связи с этим исследовалась возможность прогнозирования уровня режима и продолжительности затопления поймы с заблаговременностью 6—8 месяцев для участка р. Оби у г. Салехарда и р. Иртыш у г. Ханты-Мансийска динамико-статистическим методом [2, 3, 4].

Водный режим нижних участков рек Обь и Иртыш характеризуется высоким и растянутым половодьем, слабо выраженным летне-осенним периодом, в течение которого иногда продолжается спад уровней, и низкой продолжительной зимней меженью. В период весенне-летнего половодья происходит до 80% годового стока, наблюдаются максимальные уровни и выход воды на пойму.

Затопление поймы на Оби у Салехарда наблюдается ежегодно. Продолжительность затопления в отдельные годы изменяется от 19 до 131 дней. В годы с высоким половодьем (1941, 1947, 1959, 1969, 1971, 1973, 1979) глубина затопления поймы превышала 2 метра, а ее продолжительность составила 98—131 день. Почти ежегодно затопливается пойма Иртыша у Ханты-Мансийска. Продолжительность ее затопления в многоводные годы изменялась от 88 до 10 дней, при максимальной глубине воды на пойме достигающей 3 метров.

Минимальные уровни зимней межени наблюдаются в основном в марте — апреле и лишь в отдельные годы в ноябре — декабре.

В табл. 1 представлены числовые характеристики и обеспеченные значения уровня режима и продолжительности затопления поймы р. Оби у г. Салехарда и р. Иртыш у г. Ханты-Мансийска.

Динамико-статистический метод прогнозирования представляет жесткие требования к исходной информации. Исходные ряды наблюдений должны быть однородными и не иметь пропусков. Исходя из этого потребовалось провести оценку однородности многолетних рядов уровней воды (H , H_m , H_{30}) и продолжительности затопления поймы (T) за отдельные периоды по среднему значению и по дисперсии. Оценка расхождения между средними значениями производилась с помощью стати-

Таблица 1

**Числовые характеристики уровенного режима и
продолжительности затопления поймы рек Обь, Иртыш**

Река—створ	Характеристика	Среднее	σ	C_s	Обеспеченные значения, %					
					1	5	10	90	95	99
р. Иртыш— г. Ханты— Мансийск	H	283	73,6	0,0	456	405	377	189	161	110
	H_m	813	106	0,08	1057	992	943	688	642	569
	H_{30}	—13	40,0	0,34	89	57	40	—63	—76	—94
	T	71	25,9	—0,72	119	109	105	35	24	0
р. Обь— г. Салехард	H	181	36,2	0,40	286	254	238	142	131	112
	H_m	560	39,2	0,14	655	627	610	510	493	470
	H_{30}	44	22,4	1,02	112	86	75	18	14	8
	T	84	26,0	0,0	145	127	117	51	41	23

стики [7], а между выборочными значениями дисперсии по критерию Фишера.

Результаты оценки однородности рядов наблюдений на водпостах р. Иртыш показали, что уретенные данные у г. Ханты-Мансийск неоднородны по среднему значению; у г. Тобольск — однородны по обеим характеристикам. Полностью однородны исходные ряды наблюдений на р. Обь у г. Салехарда.

Анализ причин неоднородности выполнялся по графикам связи между характеристиками режима двух речных постов с одинаковыми условиями формирования водного режима. При этом если изменение характеристик по сопоставляемым рядам происходит однозначно, т. е. точки связи $y = f(x)$ группируются около одной линии связи, то систематических ошибок в измерении или обработке материалов нет или эти ошибки совершаются одновременно по обоим пунктам наблюдений, последнее отмечается очень редко.

На рис. 1 представлен график связи характеристик уретенного режима р. Иртыш у г. Ханты-Мансийск и г. Тобольск. В поле графика точки четко распадаются на две группы. К первой группе относятся данные наблюдений с 1894 по 1935 гг., ко второй — с 1936 по 1983 гг.

Корректировка уровней воды на Иртыше у Ханты-Мансийска производилась по связи соответствующих характеристик уретенного режима у г. Тобольск. Так как связь уровней воды между этими постами нелинейная (рис. 1), то осуществлялась нормализация исходных рядов методом Г. А. Алексеева [1]. С этой целью по каждому ряду уретенных данных у г. Ханты-Мансийск и г. Тобольск за периоды 1894—1935 гг. и 1936—1983 гг. выделялись значения характеристик распределения (x , C_v), ранговые номера уровней, расположенных в убывающем порядке, и их обеспеченность P . По величинам P с табли-

цы нормального закона распределения определялись нормализованные значения уровней. По полученным данным строились линии регрессии нормализованных значений за выделенные пе-

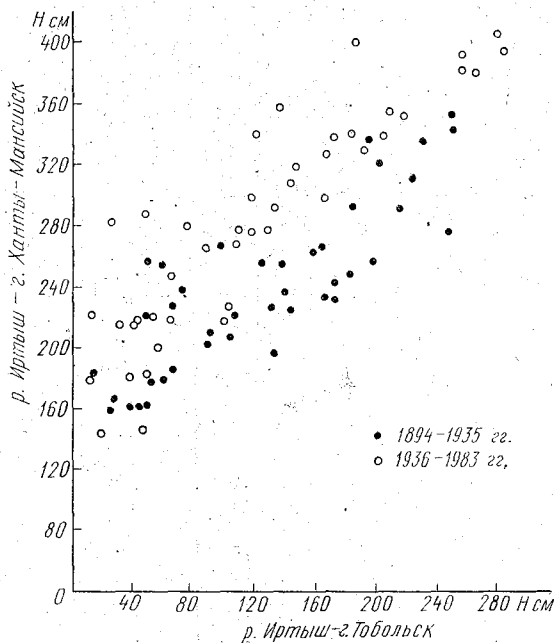


Рис. 1. График связи средних годовых уровней.

риоды (рис. 2), по которым и производилась корректировка уровней воды у Ханты-Мансийска за 1894—1935 гг. по формуле.

$$H_{\text{нк}} = H_{\text{н}} + \delta H, \quad (1)$$

где $H_{\text{нк}}$ и $H_{\text{н}}$ — откорректированные и исходные нормализованные значения уровней; δH — поправка, снятая по зависимости $\delta H = f(H_{\text{н}})$ (рис. 2), построенной по разности линий регрессии нормализованных значений уровней при различных значениях $H_{\text{н}}$.

Корректировка позволила устранить неоднородность исходной информации между уровнями ближайших постов.

Дальнейшим этапом явился прогноз уровней и продолжительности затопления поймы на р. Обь у г. Салехард и на р. Иртыш у г. Ханты-Мансийск динамико-статистическим методом. Сущность этого метода подробно изложена в ряде работ [2, 3, 4], поэтому здесь приводятся лишь основные его положения и полученные результаты.

Динамико-статистический метод заключается в прогнозировании исследуемого процесса по зависимости

$$x_{t+l} = f(x_t, x_{t-1}, \dots, x_{t-m+1}), \quad (2)$$

где x_{t+l} — прогнозируемое значение ряда X ; $x_t, x_{t-1}, \dots$ — последовательность предшествующих значений; l — период забла-

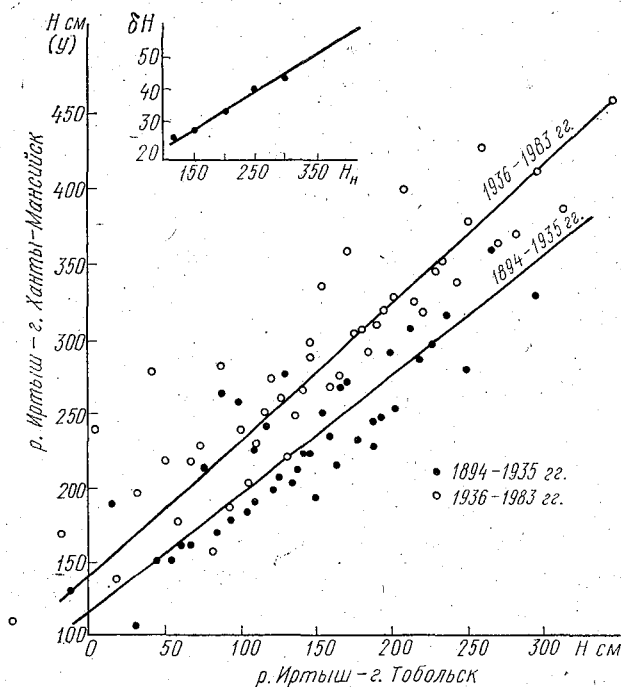


Рис. 2. Графики связи нормализованных средних годовых уровней: $H_n = f(H)$ и $\delta H = f(H_n)$.

временности; m — период обратной связи (период предистории). Зависимость (2) основана на учете внутрирядной связи рассматриваемого процесса, описываемого нормированной автокорреляционной функцией. Численная реализация зависимости (2) при прогнозировании с заблаговременностью $l = 1$ год сводится к решению линейного равенства

$$\delta x_t = k_1 \delta x_{t-1} + k_2 \delta x_{t-2} + \dots + k_m \delta x_{t-m}, \quad (3)$$

где δx_t — прогнозируемое на момент t значение исследуемого процесса в отклонениях от нормы; $\delta x_{t-1}, \delta x_{t-2}, \dots, \delta x_{t-m}$ — последовательность предшествующих моменту t значений величины в отклонениях от нормы; $k_1, k_2, \dots, k_m$ — коэффициенты обратной связи, определяемые по автокорреляционной матрице.

Для оценки эффективности прогнозирования по выражению (3) при различных периодах предистории m использовалась сводная корреляционная функция

$$R(m) = \sqrt{1 - \frac{D_m}{D_{m-1}}}, \quad (4)$$

где D_m и D_{m-1} — определители системы уравнений при периоде предистории m и $m-1$ лет. В качестве оптимального ($m_{\text{опт}}$) принимается период предистории, при котором значение общей корреляционной функции $R(m)$ достигает максимума.

При выборе оптимального периода предистории, помимо величины общей корреляционной функции $R(m)$, определялось минимальное значение критериальной функции (критерий случайности)

$$\delta(m) = \frac{D_{\Delta m}}{D_m}, \quad (5)$$

где $D_{\Delta m}$ и D_m — соответственно дисперсии ошибок прогноза и исходного ряда. Период, при котором коэффициент корреляции фактических и спрогнозированных значений достигает максимума, а критерий случайности — минимума, принимается в качестве оптимального периода предистории [6].

Оптимальный период предистории для р. Иртыш — г. Ханты-Мансийск измеряется от 27 до 30 лет, а на р. Обь — г. Салехард в пределах 21—30 лет (табл. 2).

Таблица 2

Оценка проверочных прогнозов по исходным рядам
за весь период наблюдений

Характеристика	Оптимальный период предистории	$R(m_{\text{опт}})$	$\delta(m_{\text{опт}})$	$P(m_{\text{опт}}) \%$
р. Иртыш—г. Ханты-Мансийск ($n=90$)				
H	27	0,67	0,57	73
H_M	29	0,53	0,72	80
H_{30}	30	0,67	0,56	75
T	30	0,62	0,61	75
р. Обь — г. Салехард ($n=48$)				
H	30	0,85	0,28	78
H_M	21	0,64	0,59	85
H_{30}	24	0,70	0,52	75
T	24	0,75	0,44	79

При определении оптимальной продолжительности по каждому ряду наблюдений производились проверочные прогнозы по периодам нарастающей продолжительности, начиная с 40 лет

с градиентом нарастания 5 лет до общей продолжительности ряда соответственно в 90 или 48 лет. В зависимости от продолжительности исходного ряда наблюдений существенно изменяются значения $R(m)$, $\delta(m)$ и обеспеченность метода $P(m)$, определяемая по отношению числа удовлетворительных прогнозов к их общему числу. Так, например, по ряду среднегодовых уровней р. Иртыш — г. Ханты-Мансийск величина $R(m)$ изменяется от 0,61 при $T = 85$ лет, до 0,87 при $T = 50$ лет. Значительны и изменения величины критерия случайности $\delta(m)$ от 0,26 при $T = 45$ лет, до 0,63 при $T = 90$ лет и $P_m = 80\%$ при $T = 55-60$ лет.

Столь же существенны изменения значений $R(m)$, $\delta(m)$ и $P(m)$ по другим характеристикам, как на Иртыше у Ханты-Мансийска, так и на Оби у Салехарда.

На основе проведенных в 1983 году разработок были выпущены опытные прогнозы характеристик уровня режима р. Обь — г. Салехард и р. Иртыш — г. Ханты-Мансийск на 1984 год.

Анализ оправдываемости прогнозов, проведенный в 1985 г., показал, что ошибки их в шести случаях из восьми находятся в допустимых пределах ($\Delta_{\text{доп}} \leq 0,674\sigma$).

Оправдались прогнозы среднегодового, минимального 30-дневного уровней воды и продолжительности затопления поймы р. Иртыш — г. Ханты-Мансийск. Не оправдался прогноз максимального уровня половодья, он оказался завышенным на 84 см.

На р. Обь — г. Салехард прогнозы всех уровенных характеристик оправдались, кроме прогноза продолжительности затопления поймы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 363 с.
2. Алехин Ю. М. Динамико-статистический метод прогноза геофизических макропроцессов. — Тр. ЛГМИ, 1961, вып. 22, с. 97—123.
3. Алехин Ю. М. Статистические прогнозы в геофизике. Л.: Изд. ЛГУ, 1963. — 86 с.
4. Алехин Ю. М. Проблемы причинности в гидрометеорологических прогнозах большой заблаговременности. — Тр. ЛГМИ, 1969, вып. 35, с. 39—45.
5. Межзональное перераспределение водных ресурсов. Под ред. А. А. Соколова и И. А. Шикломанова. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 375 с.
6. Шелутко В. А., Гвоздева В. Г. Некоторые вопросы уточнения сверхдолгосрочных прогнозов геофизических процессов динамико-статистическим методом. — Тр. ЛГМИ, 1975, вып. 56, с. 73—85.
7. Шелутко В. А. Техника статистических вычислений. — Л.: изд. ЛПИ, 1977. — 174 с.

**ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ
СРЕДНЕГОДОВЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ
р. ОБЬ У г. САЛЕХАРДА И р. ИРТЫШ
У г. ХАНТЫ-МАНСИЙСКА**

Прогноз среднегодовых уровней воды осуществлялся по схеме разработанной в Сибирском энергетическом институте (СЭИ) СО АН СССР. Ставилась цель исследования возможности качественного прогноза среднегодовых уровней с заблаговременностью один год.

Схема прогноза предусматривает установление закономерностей чередования серий лет повышения или понижения прогнозируемого элемента. При этом используются данные об условной вероятности непродолжения начавшейся серии в последующем году. Условные вероятности устанавливались на р. Обь у Салехарда за период с 1936 по 1960 гг., а на р. Иртыш у Ханты-Мансийска — 1894—1930 гг. Независимые прогнозы выпускались на Оби с 1961 по 1984 год; на Иртыше с 1931 по 1984 год. Предварительно для каждой из указанных рек строилась условная линейка знаков приращений среднегодовых уровней. На линейке приращений отмечались годы резких изменений солнечной активности (годы солнечных реперов), характеризующиеся большими по величине приращениями чисел Вольфа. В годы солнечных реперов чаще всего происходит начало новых серий лет повышения или понижения гидрометэlementов. В случае, если в год солнечного репера не отмечалось начало новых серий рекомендуется произвести корректировку исходных данных в пределах $\pm 5-6\%$ от многолетней амплитуды прогнозируемой характеристики. После корректировки исходных данных подсчитывалось число серий лет повышения или понижения среднегодовых уровней различной продолжительности. На Оби у Салехарда к 1960 году наблюдалось 7 однолетних, 6 двухлетних и одна трехлетняя серии, относительные частоты появления которых соответственно составляли 50, 43 и 7%. В дальнейшем с 1961 по 1984 год частоты появления однолетних серий изменялись в пределах 44—63%, двухлетних — 30—47% и трехлетних 7—12%. Условная вероятность непродолжения начавшейся серии во втором году для Оби у Салехарда изменялась от 44 до 63%. Естественно, что по этим данным невозможно получить надежный прогноз. Более уверенно можно прогнозировать, используя условную вероятность непродолжения начавшейся серии в третьем году, когда она составляет 78—88%, или в четвертом году, когда она равна 100%. К сожалению, возможности такого прогнозирования редки. За период с 1960 по 1984 гг. на Оби прогноз с учетом непродолжения серии в 3-м и 4-м годах вы-

Исходные данные и прогноз среднегодовых уровней воды на р. Обь у г. Салехарда

№ п/п	Год	Число серий длительностью лет			Условная вероятность в процентах непродолжения текущей серии в годы			Число начал новых серий				Качественный прогноз	H ф	Источники информации			
								в год солнечного репера		на следующий год после солн. репера				Год солнечного репера	Непродолжение трехлетней серии	После редких событий	
		оправдалось	процент оправд.	оправдалось	процент оправд.												
						общее число		общее число									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Данные за прошлые годы								7/9	78	6/9	67						
1	1960	7	6	1	50	86	100						217				
2	1961	7	6	1	50	86	100	8/10	80			—	201	+	+		
3	1962	7	7	1	46,7	87,6	100			6/10	60		182				
4	1963	7	7	1	46,7	87,6	100					○	154	+	+		
5	1964	7	7	1	46,7	87,6	100	9/11	82			+	166	+	+		
6	1965	7	7	2	43,8	87,0	100			7/11	64		185				
7	1966	8	7	2	44,0	77,4	100						205				
8	1967	8	7	2	47,0	77,4	100	10/12	83			—	118	+	+		
9	1968	8	8	2	44,4	79,0	100			8/11	72,7	+	127			+	
10	1969	9	8	2	46,4	80,4	100					+	219			+	
11	1970	10	8	2	50,0	80,0	100						223				
12	1971	11	8	2	52,4	80,0	100	11,13	85			+	244	+			
13	1972	12	8	2	54,5	80,0	100	12,14	86	9/12	75	+	225	+		+	
14	1973	13	8	2	56,5	80,0	100	13,15	87	10/13	76,9	+	250	+			
15	1974	14	8	2	58,4	80,0	100			11/14	78,6	+	191			+	
16	1975	15	8	2	60,0	80,0	100	14/15	93,3			+	211	+			
17	1976	16	8	2	61,5	80,0	100			12/15	80		169				
18	1977	17	8	2	62,6	80,2	100						133				
19	1978	17	8	2	62,6	80,2	100	15,16	93,8			+	222	+	+	+	
20	1979	17	9	2	60,7	81,7	100	15,17	88	12/16	75	○	288	+			
21	1980	17	9	2	60,7	81,7	100			13/17	76	—	203		+	+	
22	1981	17	10	2	58,6	83,4	100						170				
23	1982	17	10	2	58,6	83,4	100	15/18	83			○	143	+	+		
24	1983	17	10	2	58,6	83,4	100			14/18	77,7	+	191		+		
25	1984	17	10	3	56,7	76,9	100										

Примечание. ○ — неоправдавшийся прогноз по знаку.

пускался всего 8 раз (1961, 1963, 1964, 1967, 1978, 1980, 1982, 1983 гг.), в шести случаях прогнозы оправдались (см. таблицу).

В оставшиеся 16 лет прогнозирование среднегодовых уровней осуществлялось с помощью дополнительной информации. Прежде всего использовался прогноз солнечной активности. Условная вероятность солнечнообусловленных начал серий к 1960 году равнялась 78% и в дальнейшем она в отдельные годы достигала 94% (1978 г.). С помощью этого показателя прогноз для Оби выпускался для 10 лет и только в двух случаях прогноз не оправдался (1979, 1982 гг.).

Другим источником информации, позволяющим давать качественный прогноз являются сведения об относительно редких событиях — многоводных или маловодных годах. После лет со среднегодовыми уровнями, обеспеченностью менее 10 и более 90% можно ожидать изменения знака прогнозируемого элемента. К редким по водности годам согласно принятой градации относятся 1967, 1968, 1971, 1973, 1977, 1979 гг.

Источники информации при прогнозировании использовались изолированно и в сочетании. В 1971 году повышение среднегодового уровня прогнозировалось в год солнечного репера. Принимались во внимание два источника информации — год солнечного репера и год после редкого события. На 1978 год прогноз выпускался с учетом года солнечного репера, вероятности не продолжения текущей серии в третьем году и редкого события.

За период с 1961 по 1984 гг. необходимая информация позволила дать 16 качественных прогнозов 13 из которых оправдались

Обеспеченность метода прогнозирования 81,0% (13/16), что свидетельствует о возможности применения метода на р. Обь у г. Салехарда. В 8 случаях прогнозы не выпускались из-за отсутствия необходимой информации.

Аналогичные исследования возможности качественного прогноза среднегодовых уровней воды выполнялись на р. Иртыш у г. Ханты-Мансийска. Для Иртыша вероятность появления однолетних серий изменялась от 62 до 72%, двухлетних — 28—36% и трехлетних — 2—5%.

Условная вероятность солнечнообусловленных начал новых серий к 1931 году составила 73% и в дальнейшем она повышалась в отдельные годы до 82%.

За период с 1931 по 1984 гг. было выпущено 34 качественных прогноза из которых 23 оправдались. Обеспеченность метода 68%. Для 20 лет прогнозы не выпускались в связи с отсутствием необходимой информации. На р. Иртыш у г. Ханты-Мансийска методика СЭИ для прогноза среднегодовых уровней не применима.

ОХРАНА МАЛЫХ РЕК ОТ СТОКА С МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Долговременная программа мелиорации, намеченная октябрьским (1984 г.) Пленумом ЦК КПСС, предусматривает дальнейшее развитие мелиорации, как одного из основных факторов интенсификации сельского хозяйства, повышение использования мелиоративных земель путем реконструкции существующих и нового строительства систем мелиорации.

Развитие процессов мелиорации безусловно должно учитывать интересы сохранения окружающей среды и, прежде всего, природных вод, наиболее подверженных изменениям под влиянием антропогенных воздействий.

Одним из путей повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий является химизация земледелия, оказывающая одновременно существенное влияние на ухудшение качества поверхностного и инфильтрационного стока при дозах удобрений, превышающих допустимые и несвоевременно вносимые. Условия ускорения отвода стоковых вод, создаваемые с помощью закрытого дренажа и открытой регулирующей сети на мелиорируемых землях, усугубляют степень воздействия этого стока на качество вод.

Со сбросным стоком с мелиоративных систем в реки и озера поступают стоки с повышенными концентрациями минеральных и биогенных веществ, что приводит к нарушению экологического равновесия в водоприемниках (зарастание, ухудшение условий обитания фауны и условий использования водоема для хозяйственно-бытовых целей) [1, 2].

При проектировании мелиоративных систем следует предусматривать комплекс водоохраных мероприятий, способствующих сохранению и улучшению качественного состава природных вод и, прежде всего, комплекс инженерных сооружений для очистки сбросных вод. Очистные сооружения промышленного типа в силу специфики сбросного стока мелиоративных систем (малые объемы стока с широкой вариацией в сезонном разрезе) в данном случае нерентабельны, в особенности при очистке стоковых вод с участков массовой мелиорации площадью не более 200—300 га. Здесь следует применять дешевые методы естественной очистки, основанные на использовании самоочищающей способности открытых каналов мелиоративной сети [3].

В настоящее время в Ленинградской области проектируется внедрение таких методов очистки на участках осушения Ломоносовского и Гатчинского районов, расположенных в бассейне реки Стредки, впадающей в Финский залив. Водоприемниками

сбросных вод с участков являются р. Стрелка, ее притоки — руч. Быстрянка и р. Селигейка, а также пруды, расположенные в верхнем и среднем течении реки Стрелки.

Река Стрелка и пруды в ее системе являются водоемами высшей категории рыбохозяйственного водопользования. Пруды относятся к рыболовному хозяйству ЦЭС «Ропша» НПО промысла. В этих прудах выращиваются чувствительные к качеству и составу вод породы рыб — радужная форель, пелядь и др. Причем пруды служат в основном для содержания маточных культур, используемых для зарыбления многих прудовых хозяйств в СССР.

В настоящее время качество воды р. Стрелки и ее притоков не удовлетворяет требованиям [4]. Результаты химанализов (отбор проб выполнен экспедицией Ленгипроводхоза на участках мелиорации в периоды спада весеннего половодья и летне-осенней межени в 1978—1983 гг.) показывают превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) по содержанию биогенных веществ. В подземных водах района также отмечены превышения ПДК по ряду биогенных веществ (аммонийный азот, нитриты, железо). На фоне общего состава поверхностных и подземных вод бассейна качество сбросных вод с участков мелиорации по содержанию аммонийного азота и нитритов также не удовлетворяют требованиям [4].

Сброс вод с участков мелиорации в рыбоводные пруды обусловил регулярное превышение рыбохозяйственных ПДК по БПК и аммонийному азоту в них (по данным лаборатории водной токсикологии ГОСНИОРХ).

Проекты реконструкции и строительства участков мелиорации предусматривают очистку отводимых вод и сведение к минимуму их сброса в рыбоводные пруды. Ниже дается описание комплекса водоохраных мероприятий на примере одного из участков.

На площадях участка, где осуществляется реконструкция существующей построенной в 1974 г. осушительной сети, проектируется строительство специального обводного (для сброса стока с участка ниже прудов и водозаборов ЦЭС) магистрального канала большой протяженности (см. схему на рисунке), к которому подключаются открытые каналы существующей сети. С целью последовательной очистки сбросных вод в устьевых участках открытых каналов всех порядков запроектированы пруды-отстойники и перегораживающие устройства для создания аэрирующих перепадов, способствующих интенсификации процессов самоочищения.

Размеры отстойников приняты по рекомендации СевНИИГиМ [5] — 5×15 м по дну, размеры по верху определены условиями почвогрунтов. В период реконструкции и очистки каналов сети пруды-отстойники задерживают до 60% взвешенных веществ, идущих со стоком. В дальнейшем гидродинамический режим

каналов способствует зарастанию отстойников водными растениями и они работают как биологические пруды. Максимальная эффективность очистки здесь [5] — до 90% по нитратам, до 80% по фосфатам и до 70% по ядохимикатам. Для поддержа-

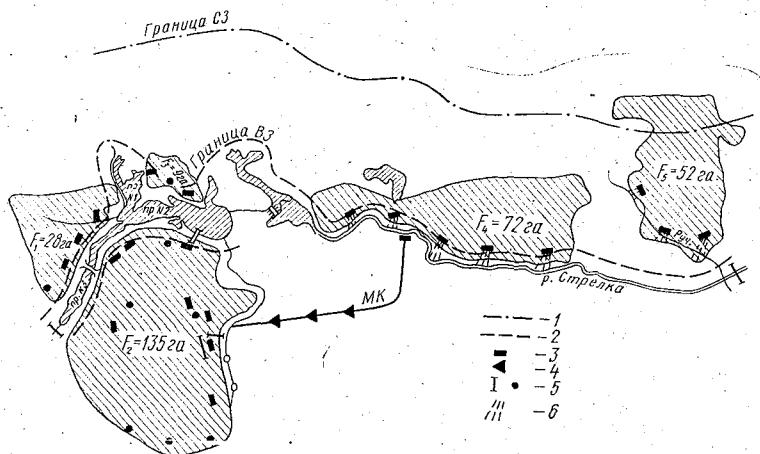


Схема расположения участка мелиорации «Кипень» Ломоносовского района, Ленинградской области:

1 — граница санитарной водоохранной зоны; 2 — граница водоохранной зоны; 3 — сооружения очистки сбросных вод, включающие перегораживающее сооружение, пруд-отстойник и иловую площадку; 4 — аэрирующие перепады; 5 — наблюдательные створы и скважины; 6 — рассредоточенный выпуск по склону рельефа.

ния эффекта очистки при эксплуатации прудов-отстойников предусмотрена их очистка и ежегодная уборка отмирающей водной растительности для предотвращения вторичного загрязнения. Для складирования и подсушивания осадка и растительных остатков запроектированы иловые площадки размерами 5×15 м с земляной обваловкой высотой до 0,5 м.

После прохождения прудов-отстойников дальнейшая очистка сбросных вод осуществляется в магистральном обводном канале протяженностью около 1,5 км. По данным [5] открытые каналы большой протяженности с водной растительностью могут способствовать снижению концентрации биогенных веществ до 70—80%. Для усиления процессов самоочищения на канале в зависимости от рельефа запроектирован каскад аэрирующих перепадов, конструктивно совмещенных с трубопереездами.

Там, где топографические условия не позволяют строить обводной канал (см. участки площадью 9 и 28 га на левом берегу рыбоводных прудов № 1 и 2, см. рисунок), реконструкцией предусматривается строительство прудов-отстойников и аэрирующих перепадов в устье каждого открытого канала существующей сети.

На вновь осушаемых участках площадью 52 и 72 га запроектирована сеть открытых каналов с прудами-отстойниками

в устьевых частях без сосредоточенного выпуска сбросных вод в водоприемник. Сброс осуществляется по склону рельефа, засеянного травой, на расстоянии не менее 20 м от водоприемника. При сбросе по склону за счет трансформации поверхностного стока во внутрипочвенный происходит дополнительная очистка сбросных вод. Режим хозяйственной деятельности на мелиоративных участках ограничен согласно [6] в пределах трех зон вдоль реки Стрелки:

- санитарной зоны рыбохозяйственных водоемов шириной 2 км от уреза воды в межень 50%-ной обеспеченности;

- водоохранной зоны шириной 100 м;

- прибрежной водоохранной полосы шириной 15 м.

В пределах этих трех зон необходимо выполнение перечня требований к режиму хозяйственной деятельности согласно [6]. Во всех трех зонах запрещено применение способа авиаопыления ядохимикатами, использование пестицидов, на которые не установлены ПДК, а также строительство складов для хранения пестицидов и минеральных удобрений. В пределах прибрежной водоохранной полосы наиболее строгие ограничения режима хозяйственной деятельности — запрещена распашка земель, применение ядохимикатов и удобрений, гидромелиоративное строительство. В пределах водоохранной зоны с целью сокращения выноса техногенных веществ проектом предусмотрено дополнительно к предъявляемым здесь требованиям отведение мелиоративных площадей под сенокос.

Вдоль ручьев на участке режим хозяйственной деятельности ограничен в пределах водоохранной зоны шириной 15 м.

Для контроля за эффективностью работы запроектированных водоохранных сооружений предусмотрено обустройство сети наблюдательных створов и скважин. Минимальное количество контрольных гидрохимических съемок в течение года — четыре: на пике и спаде весеннего половодья и в период летне-осенней межени. Пробы должны отбираться для анализа на содержание основных ионов, биогенных веществ, фосфора, взвешенных веществ и БПК.

Строительство водоохранных очистных сооружений при строгом соблюдении правил их эксплуатации, а также соблюдение режима хозяйственной деятельности в водоохранных зонах и правил транспортировки, хранения и внесения удобрений и ядохимикатов гарантирует хорошее качество сбросных вод. Следует отметить, что комплекс сооружений и водоохранных мероприятий, предлагаемый для участков мелиорации, представляет собой техническое решение, практически впервые обуславливающее соблюдение требований закона об охране вод.

Осуществление очистки сбросных вод с мелиорируемых земель рассматриваемого района однако не является кардинальным решением вопроса о предотвращении нитрогенного изменения реки Стрелки и рыбоводных прудов в ее системе, так как

основным источником такого изменения, как показало наше обследование, являются птицефабрики (ПТФ) района. Причины антропогенных воздействий от ПТФ — сброс недостаточно очищенных стоков с очистных сооружений, отсутствие оборудованных пометохранилищ. В разрабатываемых в настоящее время схемах комплексного использования и охраны малых рек для бассейна реки Стрелки необходимо дать рекомендации по вопросам переналадки и реконструкции очистных сооружений отделений «Южное» и «Сквирицы» Русско-Высоцкой ПТФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вынос химических веществ дренажным и поверхностным стоком с осушаемых земель. Обзорная инф. — М.: 1982. — 74 с.
2. Брезгунов В. С., Окулик В. А. Качество природных вод и интенсификация сельского хозяйства. Обзорная инф. — Минск: 1983. — 40 с.
3. Руководство по разработке раздела «Охрана природы» в составе проекта мелиорации земель. ВТР-П-2.3-80. — М., 1981.
4. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. — М., 1974.
5. Технология ступенчатой очистки сбросных вод мелиоративных систем. — Л.: СевНИИГиМ, 1982. — 6 с.
6. Указания по установлению водоохранных зон и прибрежных водоохранных полос малых рек РСФСР. — М., 1982.

УДК 556.535.8

О. Г. ВОРОБЬЕВ, О. С. ВОРОБЬЕВА
(ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГУ)

ЭКСПЕДИЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК

Современные объекты народного хозяйства настолько тесно связаны с окружающей средой, что правильность оценки их фактического влияния на природу требует комплексного рассмотрения новой для биосферы формации — системы технобиогеоценоза. Сложность и взаимозависимость материальных и энергетических потоков в этой системе не позволяют оценить их токсичность лишь с помощью предельно-допустимых концентраций (ПДК). Существующие нормы ПДК поощряют искусственное разбавление вредных выбросов в соответствии с принципом Ле-Шателье. Именно на этом принципе базируются существующие методы отведения организованных выбросов через высокие трубы в атмосферу и рассеивающие выпуски в водоемы.

Такая практика снижения локальных концентраций делает основную ставку на механизм самоочищения биосферы и может

быть условно оправдана в малоиндустриальных районах, где фоновые концентрации незначительны. Однако и в этом случае ограничения антропогенных выбросов во внешнюю среду могут возникать не в результате их непосредственного поступления в данную природную сферу, а как результат перераспределения антропогенных выбросов в других сферах. Так, наличие сорбционных кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных геохимических барьеров может явиться причиной проявления опасных химических аномалий даже в тех случаях, когда содержание токсичных веществ в месте сброса значительно ниже ПДК [1]. В связи с изложенным более оправданно выполнять нормирование абсолютной величины антропогенных выбросов на тонну выпущенного продукта и в единицу времени. Причем величина нормированного выброса должна быть различной для каждого природного региона с учетом его возможностей воспринимать, ассимилировать и нейтрализовать выбросы без ощутимого нарушения равновесия всей системы. В этом случае предельно-допустимый выброс должен обеспечить соблюдение ПДК в любой точке окружающей среды. Необходимо учитывать, что поступление антропогенных веществ в природную среду и дальнейшая их миграция происходит по схеме: химическое взаимодействие с атмосферой и поверхностными водами — растворение и диспергирование — перенос растворенных и диспергированных веществ в гидросфере — осаждение в пределах водотока. Таким образом, поверхностный сток играет преобладающую роль, выступая как активный фактор распространения и осаждения выбросов в окружающей среде.

В нашей стране предложено [4] оценивать изменение состава природной среды через относительные концентрации, приведенные к одному загрязнителю. Однако предложенные методики оставляют возможность различной интерпретации результатов. В экологии для сравнения различных экосистем по количественному переносу энергии на всех уровнях используется одна и та же единица — калория [5]. Подобно этому в прикладной экологии единой мерой оценки воздействия промышленных объектов на природу и накопления отходов в природной среде может быть единица токсичной массы [2, 3].

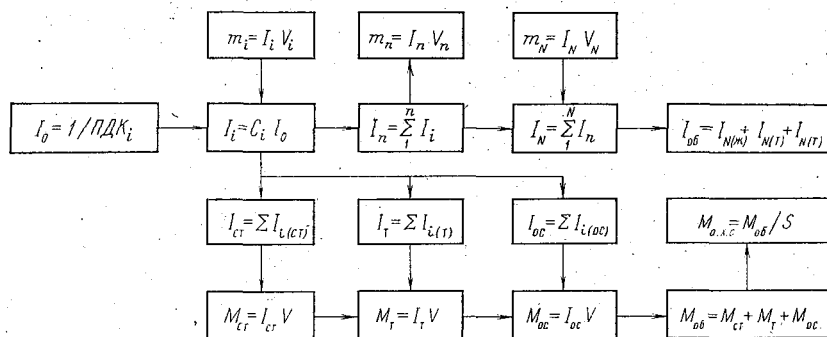
На основе изложенного была предложена методика расчета показателей токсичности отходов предприятия, степени его экологичности и уровня воздействия на окружающую среду [3].

На рисунке приведена блок-схема оценки степени изменения качества природных и сточных вод по изложенной методике.

Величина $M_{об}$, отнесенная к площади водосбора в единицу времени, представляет собой модуль антропогенного химического стока

$$M_{a.x.c} = \frac{M_{об}}{S}, \text{ етм}/(\text{км}^2 \cdot \text{с}).$$

Эта величина, в сопоставлении с естественным модулем ионного химического стока характеризует величину антропогенной нагрузки на окружающую среду в исследуемом районе.



Блок-схема оценки степени изменения качества природных и сточных вод.

Указанная методика использована при расчете оценки антропогенного воздействия на реки Свирь, Луга и др. Материалы обследования одной из рек любезно предоставлены авторам В. И. Кузнецовым и И. М. Марковец, которым выражаем глубокую благодарность. Результаты расчетов приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Индексы относительной токсичности

Показатель	Антропогенные вещества, лимитирующие вредность							
	токсикологическую				санитарно-токсикологическую			
Компонент	NH_4^+	NO_2^-	Fe^{3+}	нефте-продукты	NO_3^-	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-
ПДК, мг/л	0,5	0,03	0,05	0,05	40,0	180	100	300
I_0	2,0	33,33	20,0	20,0	0,025	0,0055	0,01	0,0033

Из анализа таблиц можно сделать следующие выводы.

1. Суммарный индекс относительной токсичности компонентов санитарно-токсикологического показателя вредности для всех исследуемых створов значительно меньше единицы и не изменяется по течению реки. Это позволяет считать, что происхождение ионов Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- в реке преимущественно естественного (природного) происхождения.

2. Суммарный индекс для веществ, относящихся к группе с токсикологическим показателем вредности нарастает от створа к створу, за исключением участка между 4 и 5 створами. Повидимому, на этом участке в наибольшей степени проявляется

Относительная токсичная масса по створам (ОТМ)

Показатель	Антропогенные вещества, лимитирующие вредность							
	токсикологическую				санитарно-токсикологическую			
Компонент	NH_4^+	NO_2^-	Fe^{3+}	нефте- продукты	NO_3^-	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-

Створ № 3. $V_i = 847 \cdot 3600 = 3049200 \text{ м}^3/\text{ч}$

C_i мг/л	0,04	0,0	0,0	0,06	0,339	5,2	9,6	2,1
I_i мг/л	0,08	0,0	0,0	1,2	0,00845	0,0286	0,096	0,00693
I_n мг/л				1,28				0,14
m_i етм	243,9	0,0	0,0	3659,0	25,76	87,20	292,72	21,13
m_n етм				3902,97				426,82
m_N етм								4329,80

Створ № 4. $V_i = 873 \cdot 3600 = 3142800 \text{ м}^3/\text{ч}$

C_i мг/л	0,11	0,0	0,13	0,0	0,104	5,4	8,6	2,5
I_i мг/л	0,22	0,0	2,60	0,0	0,0026	0,0297	0,086	0,0082
I_n мг/л				2,82				
m_i етм	691	0,0	8171,28	0,0	8,17	93,34	270,28	25,93
m_n етм				8862,69				
m_N етм								9260,42

Створ № 5. $V_i = 730 \cdot 3600 = 2628000 \text{ м}^3/\text{ч}$

C_i мг/л	0,01	0,0	0,11	0,0	0,26	0,2	9,1	2,5
I_i мг/л	0,02	0,0	2,2	0,0	0,0065	0,0286	0,091	0,0082
I_n мг/л				2,22				0,13
m_i етм	52,56	0,0	5781,6	0,0	17,08	15,16	239,15	21,68
m_n етм				5834,16				353,07
m_N етм								6187,23

Створ № 6. $V_i = 774 \cdot 3600 = 2786400 \text{ м}^3/\text{ч}$

C_i мг/л	0,13	0,0	0,22	0,0	0,092	5,6	8,6	2,1
I_i мг/л	0,26	0,0	4,40	0,0	0,0023	0,0308	0,086	0,0069
I_n мг/л				4,66				0,126
m_i етм	724,46	0,0	12260,16	0,0	6,41	85,82	239,63	
m_n етм				12984,62				13335,79
m_N етм								

Створ № 7. $V_i = 899 \cdot 3600 = 3236400 \text{ м}^3/\text{ч}$

C_i мг/л	0,12	0,0	0,21	0,0	0,076	5,2	9,6	2,1
I_i мг/л	0,24	0,0	1,20	0,0	0,0019	0,0286	0,096	0,0069
I_n мг/л				4,44				0,13
m_i етм	776,73	0,0	13592,88	0,0	6,15	92,56	92,56	22,43
m_n етм				14366,61				431,83
m_N етм								1479,45

действие механизма самоочищения или относительно невелико поступление антропогенных веществ.

3. Несмотря на то, что общее изменение состава вод реки невелико, необходимо отметить, что вклад веществ антропогенного происхождения в химический состав воды составляет 95—98%. В связи с этим необходимо вскрыть основные источники искусственного воздействия на реку.

4. Проведенные исследования следует рассматривать как рекогносцировочные. Полное обследование водного бассейна позволит выявить мощность и вклад всех источников антропогенного воздействия на реки по всем компонентам. Такое обследование должно включать следующие разделы:

- снегомерную съемку и полный гидрохимический анализ снеговых проб с целью определения величины аэротехногенного загрязнения речного бассейна;

- гидрологическое и гидрохимическое обследование бассейна, включая устья всех притоков и организованных выпусков стоков;

- отбор проб и полный анализ донных отложений по всем выбранным створам реки;

- определение скорости потока и гидрохимического состава реки по профилям выбранных створов;

- расчет всех результатов исследований по предложенной методике в единицах относительной токсичности.

При этом следует иметь в виду, что химические анализы снеговых вод, вод реки, притоков и выпусков должны быть выполнены на полный анионо-катионный состав, тяжелые металлы и характерные пестициды, применяемые на сельхозугодьях, расположенных в бассейне реки. Полученные результаты создадут условия для перехода от мониторинга, как средства контроля и прогнозирования состояния к целенаправленному и планомерному управлению качеством окружающей среды, путем разработки и реализации плана очередности финансирования и освоения природоохранных мероприятий для всего бассейна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беус А. А., Грабовская Л. И., Тихонова Н. В. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1976. — 248 с.
2. Воробьев О. Г., Уфимцев Б. Ф., Чечкин С. А. Метод расчета показателей влияния промышленного предприятия на окружающую среду. — В кн.: Экологическая технология и очистка промышленных выбросов. Сб. трудов / ЛТИ им. Ленсовета, 1979, вып. 2, с. 18—22.
3. Воробьев О. Г., Кириллов В. М. Методические рекомендации по оценке влияния химического предприятия на окружающую среду. — Л.: ЛенНИИГипрохим, 1983. — 27 с.
4. Старинский В. П. — В кн.: Проблемы очистки и использования природных и сточных вод. Минск, Наука и техника, 1977, с. 125—131.
5. Дажо Р. Основы экологии. — М.: Прогресс, 1975. — 415 с.

МЕТОДИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГРУНТОВЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Многочисленные и разнообразные исследования в СССР и за рубежом показали, что практически любое промышленное предприятие в той или иной мере влияет на качество грунтовых вод [1—4]. Особенно ярко это проявляется в зонах влияния предприятий, обладающих повышенной материало- и энергоемкостью, а отсюда — большими потерями материальных и энергетических ресурсов в виде твердых и жидких отходов, а также тепла. Здесь формируется обычно специфический горизонт техногенных грунтовых вод [2].

Широкое внедрение искусственных техногеосистем [5] в природные экосистемы вызывает настоятельную потребность в оценке загрязнения различных геосфер существующими промышленными предприятиями. Одним из важнейших объектов загрязнения являются грунтовые воды [6].

В практической деятельности служб контроля и охраны окружающей среды, особенно давно действующих предприятий весьма часто встает вопрос об оценке этого, заведомо существующего и часто практически неизученного на конкретном предприятии, типа загрязнения.

Учитывая, что постановка специализированных исследований сопряжена с рядом трудностей и теоретически не всегда обоснована, ниже предлагается методика предварительной оценки качества грунтовых вод только на основе имеющихся материалов. Эта методика была апробирована на ряде предприятий разных отраслей промышленности.

Предлагаемая методика предусматривает сбор, обобщение и анализ литературных, фондовых (архивных) и оперативных материалов. Работы ведутся одновременно по двум направлениям, соответствующим составляющим техногеосистем: природной и техногенной.

В процессе изучения данных по природной составляющей выявляются основные физико-географические и геологические, в том числе — гидрогеологические показатели и факторы формирования ресурсов грунтовых вод и их химического состава. Сюда входят сведения: климатического порядка — главным образом о температурах, осадках, испарении; геоморфологического — о морфометрии рельефа и особенностях последнего; гидрологического — о естественном водном балансе территории, режиме расходов и химического состава поверхностного стока и их изменениям, естественной гидрографической сети, местных

базисах стока, потерях на подземный сток и испарение; геологического и гидрогеологического — о характере залегания пород в плане и в разрезе, литологическом и петрохимическом составе и физических свойствах пород, их водоносности, направлениях и скорости движения подземных вод, особенно грунтовых, химическом составе вод в естественных условиях.

Эти сведения обычно можно получить из климатических и гидрологических ежегодников, специальных атласов и обобщающих монографий, информационных материалов и особенно из отчетов об изыскательских работах, выполненных для строительства предприятия и позднее. В отчетах об изысканиях обычно конкретизируется значительное количество указанных выше сведений.

Анализ материалов по природной составляющей техногеосистем позволяет в первом приближении оценить: защищенность водоносных горизонтов, в том числе грунтовых вод, от загрязнения; величину подземного стока и возможность миграции загрязняющих компонентов как в сумме, так и в отдельности.

Однако, основные данные для предварительной оценки загрязнения грунтовых вод можно получить лишь в результате изучения материалов по техногенной составляющей рассматриваемых систем. При этом выявляются: состав загрязняющих веществ, источники и очаги загрязнения, их размещение и особенности (гидравлика, температура, химический состав и другие), ориентировочное распространение в плане загрязненных грунтовых вод и возможные зоны их разгрузки в поверхностные водотоки и водоемы.

Для получения этих данных используются сведения:

- о свойствах, химическом составе и объемах исходного сырья, полупродуктов, готовой продукции, отходов, а также об энергетических потребностях и особенностях производств;

- о производственном водном балансе, в частности — о системах оборотного водоснабжения, о водопотреблении на технические и хозяйственные нужды, об организованном сбросе промышленных, поверхностных и других стоков, о безвозвратных потерях на испарение из охладителей, на подземный сток и с готовой продукцией;

- о видах и масштабах внутрипроизводственных транспортных путей, в том числе питающих, транспортных и канализационных водопроводов;

- о количестве, размерах и конструкциях существующих и законсервированных хранилищ химически активных веществ, особенно твердых и жидких отходов.

- о наличии очистных сооружений, их технологической характеристики, производительности и условий работы;

- о характере загрязнения тех объектов, по которым на предприятии проводится контроль изменения их качества (ат-

мосферный воздух, поверхностные и промышленные стоки, почвенный покров и др.);

— об изменениях химических и физико-химических циклов технологии производства, транспортировки и хранения химически активных веществ, особенно отходов;

— об агрессивных свойствах, химическом составе и содержании отдельных компонентов в грунтовых водах различных участков территории и др.

Перечисленные сведения извлекаются из генплана, из архивных (фондовых) материалов предприятия и проектирующих организаций, из годовых отчетов служб предприятия: охраны окружающей среды, водоснабжения и канализации, капитального строительства и других. Особое внимание следует уделить отчетам по инженерно-геологическим изысканиям, проводящимся для целей расширения и реконструкции предприятий. В этих отчетах обычно имеются как прямые характеристики качества грунтовых вод, так и косвенные показатели возможности их загрязнения за счет первичных и вторичных, нередко захороненных очагов загрязнения.

В результате перечисленных обобщений и анализа всех материалов, создается схема загрязнения грунтовых вод с объяснительной запиской. На схеме отображаются: условия защищенности подземных (грунтовых) вод от загрязнения, ориентировочное распространение загрязненных грунтовых вод, главные очаги загрязнения и возможный химический состав этих вод. В объяснительной записке кратко излагаются результаты обобщения и анализа изученных материалов и даются рекомендации дальнейших исследований, если в них возникает необходимость. В последнем случае, на основании предварительной оценки могут быть выданы также рекомендации по направленности первоочередных мероприятий по охране грунтовых вод от загрязнения, в том числе — для проектирования сети контрольно-наблюдательных скважин: их размещению, конструкции, методики отбора проб воды, объемов и видов аналитических определений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочеввер Ф. М., Лапшин Н. Н., Орадовская А. Е. Защита подземных вод от загрязнения. — М.: Недра, 1979. — 254 с.
2. Гавшина З. П., Дзекцер Е. С. Условия подтопления грунтовыми водами застраиваемых территорий. — М.: Стройиздат, 1982. — 116 с.
3. Гидрогеологические исследования за рубежом. Под ред. Н. А. Маринова. — М.: Недра, 1982. — 428 с.
4. Фрид Ж. Загрязнение подземных вод. — М.: Недра, 1981. — 304 с.
5. Чечкин С. А., Климов Г. И., Русанов Б. Д. Подземные воды в природотехнических системах промышленных комплексов. — В кн.: Вопросы гидрологии суши. — Л., изд. ЛПИ, 1981, с. 138—148 (ЛГМИ).
6. Чечкин С. А., Климов Г. И. Воздействие промышленных предприятий на грунтовые воды. — В кн.: Исследования формирования речного стока и его расчеты. Л., изд. ЛПИ, 1981, с. 64—69 (ЛГМИ).

Г. И. КЛИМОВ, К. К. ХАЗАНОВИЧ,
В. Б. САПОЖНИКОВ, Н. Н. СЕНИНА (ЛГМИ)

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВЫХ ВОД НА УЧАСТКЕ ЗАХОРОНЕНИЯ ПИРИТНЫХ ОГАРКОВ

В работе промышленных предприятий в прежние годы не редко практиковалась консервация твердых отходов простейшим способом — путём захоронения их грунтами с последующим восстановлением почвенно-растительного покрова. В настоящее время эти участки захоронения с поверхности выглядят весьма обычно и при выборе площадок под строительство не вызывают особых опасений. Положение иногда усугубляется отсутствием должной документации в архитектурно-планирующих организациях, согласующих новое строительство, а также существенным изменением внешнего вида захороненных отходов, приобретающих облик обычных рыхлых или слабо сцементированных горных пород. Физико-механические свойства захороненных отходов также часто соответствуют грунтам с нормальными инженерно-геологическими параметрами, а небольшие мощности отходов дополняют общую картину внешнего благополучия.

С подобным положением одному из авторов приходилось сталкиваться неоднократно при изучении качества техногенных грунтовых вод для природоохранных целей [2]. Однако изменения состава рассматриваемых вод сказываются не столько в экологическом, сколько в инженерном аспекте. Это объясняется нередко высокой степенью их агрессивности по отношению к металлическим и бетонным конструкциям фундаментов сооружений, к различным покрытиям кабельных и других подземных коммуникаций, а иногда и к грунтам оснований. К сожалению, в литературе этот вопрос освещен довольно слабо, что позволяет рассмотреть формирование состава и агрессивность техногенных грунтовых вод на примере участка захоронения одного из широко распространенных видов твердых отходов химического (серноокислотного) производства — пиритного огарка.

Рассматриваемый участок захоронения находится вблизи строительства крупного гидротехнического сооружения на южном побережье солоноватого водоема. До начала строительства он представлял собой полосу пляжа, плавно переходившую в террасу. Высотные отметки участка изменялись от 0 м на севере до 6,6—7,2 м на юге. С юга к нему, через узкую дренажную канаву, примыкало хранилище песчаных отходов — хвостохранилище горно-обогатительного производства. На западе участок был ограничен заболоченным пляжем с естественным блуждающим руслом небольшого ручья, а с востока — расчищенным и спрямленным ручьем, по которому производится сброс карьер-

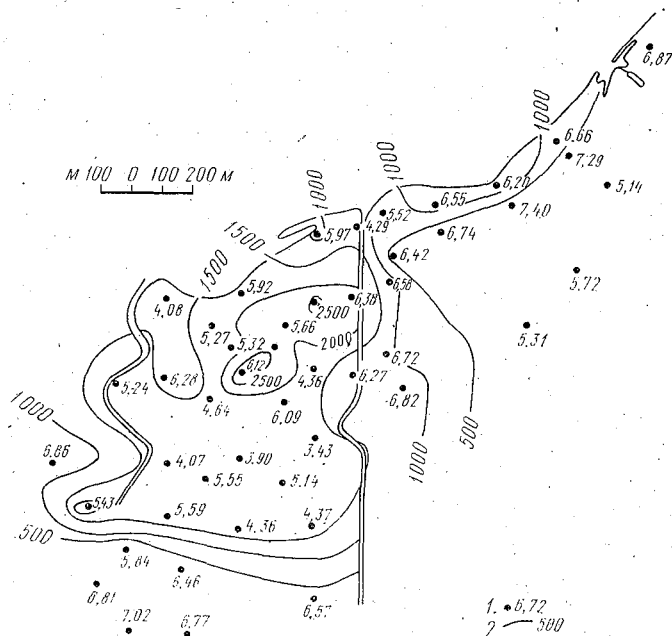
ных и промливневых стоков горнодобывающего и химического производств близрасположенного комплексного предприятия. Пологонаклонная к северу поверхность участка имела небольшие западины, местами была покрыта травами и кустарниками. Остальную часть площади покрывали слабо закрепленные пески разной крупности. По поверхности наблюдались блуждающие временные ручейки. Общая площадь участка захоронения огарков около 1,5 км². Инженерно-геологическими скважинами вскрыт следующий разрез участка (снизу вверх):

- суглинки коричневатые и серовато-серые с дресвой, гравием и галькой, иногда с линзами песка, в основании местами переходящие в гравийно-щебнистые образования — мощность до 9 м;
- суглинки ленточные пластичные коричневые — до 10 м;
- илы суглинистые темно-серые с прослойками песка и растительными остатками — до 9 м;
- илы супесчаные темно-серые с прослойками песка и растительными остатками — до 8 м;
- пески мелкие алевритовые светло- и голубовато-серые — до 7 м;
- почвенный слой (погребенный) с остатками древесной и травянисто-кустарниковой растительности — до 0,4 м;
- пиритный огарок, приобревший вид глинистого алеврита вишневого или малинового цвета с прослойками и линзами песков разной крупности — мощность переменная от нескольких см до 0,3 редко до 0,8—1 м;
- пески намывные разные, преимущественно мелкие и тонкие, темные коричневатые и голубовато-серые, в нижней части с тонкими (до 1—2 см) линзочками переотложенных пиритных огарков — мощность до 1,5—2 м.

В процессе строительства перекрывающие пиритный огарок пески на значительной части площади были сняты и сохранились лишь местами в виде невысоких гряд и бугров. На большей части участка поверхность слоя пиритного огарка в настоящее время почти оголена. Следует отметить, что к востоку от ручья, по которому вместе с промстоками пиритный огарок сбрасывался в водоем, в прибрежной полосе пляжа в верхней части мелких алевритовых песков (слой 5) также наблюдаются тонкие линзы пиритного огарка, занесенного сюда, по-видимому, ветровыми течениями.

Зеркало техногенных грунтовых вод с отметками от 6 м на юге до 0 м на севере, в зависимости от рельефа погребенной поверхности, залегает попеременно в верхних четырех слоях. Гидроизогипсы в общих чертах повторяют конфигурацию береговой линии, несколько отклоняясь от этой закономерности близ русел ручьев, ограничивающих участок. Уровни этих грунтовых вод в течение летнего сезона не подвергаются каким-либо колебаниям, что свидетельствует о постоянном режиме питания. Ис-

точником последнего служат воды хвостохранилища, уровень которых в пруде-отстойнике находится на отметках около 11 м, а в дренажной канаве у подножья дамбы — на отметках до 5—6 м. Химический состав вод хвостохранилища характеризуется общей минерализацией 0,6—1,0 г/л, преимущественно гидрокарбонатно-сульфатным или сульфатным магниево-кальциевым составом с величиной pH 6,9—7,7. Воды, фильтрующиеся через дамбу, сложенную сульфидосодержащими обломочными породами, имеют более высокую общую минерализацию — более 1,6 г/л при соответственно более высоких содержаниях сульфатов и гидрокарбонатов магния и кальция, величина pH — 7,4. В рассмотренных водах также содержатся (в мг/л) ионы: калия (1,7—8,5), натрия (5,5—12,9), аммония (1,4—1,8), железа (следы), хлора (19,2—40,1), фтора (0,9—1,5), ортофосфатов (1,9—6,1). В ручейках с блуждающими руслами, вытекающими из дренажной канавы, общая минерализация вод несколько понижается, химический состав остается преимущественно гидрокарбонатно-сульфатным магниево-кальциевым, а величина pH около 7,7.



Распределение содержаний сульфат-иона и значений pH на исследованном участке:

1 — точки гидрохимического опробования и значения pH; 2 — изолинии содержаний сульфат-иона в мг/л.

Следует отметить, что химический состав обычных грунтовых вод, формирующихся в песках слоя 4 в нормальных условиях

(фоновый) характеризуется общей минерализацией 0,4—0,7 г/л, преимущественно гидрокарбонатным или сульфатно-гидрокарбонатным магниево-кальциевым составом с величиной рН 5,1—6,7. Обращает внимание наличие в «фоновых» водах района повышенных концентраций (в мг/л) фтора (1,3—4,8) и ортофосфатов (7,3—31,6).

Особый, но специальный интерес представляет природное загрязнение грунтовых вод прибрежной части пляжевой, полосы в результате интрузии солоноватых вод водоема. Общая минерализация этих вод превышает 7,0 иногда достигая 8,5 г/л; состав их преимущественно хлоридный натриевый. Воды аналогичного состава формируются и на участках гидронамыва морских песков на пляже при строительстве.

Как отмечалось выше, наибольший практический интерес представляют техногенные грунтовые воды, формирующиеся на участке захоронения пиритных огарков.

Пиритные огарки являются отходами сернокислотного производства и в сухом виде представляют собою сыпучий пылеватый материал, в химическом отношении являющийся оксидами железа — до 55%, кремния — до 10%, цинка, серы, кальция и алюминия — до 3,5%, марганца, свинца, меди, мышьяка, бария, стронция и других металлов.

Вскрывавшиеся неглубокими (до 1,8 м) шурфами, рассматриваемые воды на участке захоронения этих огарков (рисунок) имеют максимальную общую минерализацию до 2,6—3,2 г/л, достигая 7,4 г/л в зонах интрузий солоноватых вод. Содержания сульфат-иона при этом повсеместно превышают 900—1200 и нередко достигают 2000—2700 мг/л. Величины рН изменяются от 6,5 до 4,0. В отдельных случаях в центре участка величины рН вод снижаются до 3,14—2,99. С контурами участка захоронения совпадают в общих чертах и границы повышенных концентраций фтора — до 55, ортофосфатов — до 80 и общего железа — до 400 мг/л. Как видно из сопоставления с химическим составом «фоновых» грунтовых вод района и нормами государственного стандарта на питьевые воды, с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) для рыбо- и водохозяйственных водоемов, химическое загрязнение рассматриваемых техногенных грунтовых вод по приведенным выше показателям может быть отнесено к максимальной степени загрязнения [1]. Однако на эти воды не распространяется указанное нормирование, поскольку они никак не используются в народном хозяйстве и являются аналогами промстоков.

Дополнительными показателями качества техногенных грунтовых вод участка являются концентрации металлов, определявшихся методом приближенного количественного спектрального анализа сухих остатков.

О воспроизводимости результатов анализа можно судить по данным, приводимым в табл. 1. Как видно из этой таблицы, от-

Таблица 1

**Воспроизводимость приближенного количественного спектрального
анализа сухих остатков вод (по данным ВСЕГЕИ)**

Химический элемент	Нижний предел чувствительности (весовые %)	№ контроля	Концентрация, (весовые %)					Относительная погрешность (%)
			проба 5	проба 10	проба 17	проба 35	проба 51	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Al	0,003	1 2	2 3	0,3 0,5	0,5 0,3	0,03 0,03	0,1 0,1	28
Sr	0,01	1 2	0,03 0,03	0,02 0,01	0,07 0,07	0,03 0,05	0,02 0,01	47
Ba	0,01	1 2	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0
Ti	0,001	1 2	0,01 0,01	0,005 0,005	0,007 0,007	0,002 0,03	0,002 0,01	41
V	0,0001	1 2	0,0001 0,0002	0,0001 0,0001	0,0001 0,0001	0,0001 —	0,0001 0,0001	53
Cr	0,0003	1 2	— —	— —	— —	— —	— —	0
Mn	0,003	1 2	0,3 0,3	0,2 0,5	0,1 0,1	0,03 0,05	0,3 0,25	31
Co	0,0003	1 2	0,01 0,03	0,003 0,01	0,015 0,01	— —	0,0005 0,0005	55
Ni	0,0001	1 2	0,01 0,01	0,004 0,005	0,004 0,003	0,0002 0,0003	0,0002 0,0003	26
Zr	0,001	1 2	0,001 0,007	0,005 0,005	0,003 0,002	— 0,003	0,003 0,003	78
Sc	0,0001	1 2	0,0001 —	— —	— 0,0002	— —	— —	80
La	0,001	1 2	0,0005 0,001	— —	— 0,001	0,001 0,001	0,001 —	93
Y	0,0003	1 2	0,0015 0,002	— —	0,001 0,0007	— —	— —	13
Yb	0,0001	1 2	0,0001 0,0001	— —	0,0001 0,0001	— —	— —	0
Be	0,00001	1 2	0,0001 0,00007	— —	0,00003 0,0001	— —	0,00003 0,00001	45

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mo	0,0001	$\frac{1}{2}$	0,0005 0,0005	0,0005 0,001	0,0003 0,0005	0,0005 0,001	0,0005 0,0007	43
Sn	0,0003	$\frac{1}{2}$	— 0,00003	— —	— —	— —	— —	40
Cu	0,00003	$\frac{1}{2}$	0,3 1	0,002 0,001	0,2 0,05	0,01 0,02	0,001 0,0007	74
Pb	0,0003	$\frac{1}{2}$	— 0,0003	— —	0,0003 —	0,002 0,0005	— —	104
Zn	0,001	$\frac{1}{2}$	1,5 1,5	0,07 0,07	0,2 0,07	0,01 0,005	0,05 0,02	59
Ag	0,000003	$\frac{1}{2}$	0,0002 0,0005	0,0003 0,0005	0,0007 0,0003	0,0001 0,0001	0,0002 0,00007	63
As	0,01	$\frac{1}{2}$	— —	— —	— —	— —	— —	0
Ga	0,0001	$\frac{1}{2}$	— —	— 0,00005	— —	— —	0,00005 0,0001	57

Примечание: в этой и следующей таблицах прочерк обозначает, что элемент определялся, но не был обнаружен.

носительная погрешность отдельных определений достаточно велика. Тем не менее они позволяют оперировать некоторыми средними и другими величинами.

В табл. 2 приведены сравнительные данные о частоте обнаружения, о максимальных и среднеарифметических содержаниях ряда металлов, определенных в грунтовых водах «фонового» участка и участка захоронения пиритных огарков. Для сопоставления и расчета показателя техногенного обогащения вод — $P_{т.о}$ [3], приведены данные о средних содержаниях определявшихся металлов в грунтовых водах зоны умеренного климата [4], в которой расположен и рассматриваемый район.

Как видно из табл. 2, $P_{т.о}$ участка захоронения пиритных огарков по большинству металлов превышает 1,0. По ряду металлов (алюминию, стронцию, олову, свинцу) он приближается к 10. $P_{т.о}$ по барии, титану, ванадию и молибдену колеблется от 10 до 100. Особенно высок $P_{т.о}$ — более 100, по халькофильным и сидерофильным (медь, цинк, мышьяк, кадмий, серебро, кобальт, никель, цирконий, марганец), а также редкоземельным элементам. При рассмотрении табл. 2, обращают внимание относительно повышенные величины $P_{т.о}$ многими металлами не только вод участка захоронения пиритных огарков, но и вод

Таблица 2

Некоторые данные о распределении металлов в грунтовых водах

Химический элемент	Участок захоронения огарков 30 проб			Фоновый участок 18 проб			Средние содержания в грунтовых водах умеренного климата, мг/л [4]
	частота обнаружения, %	содержания, мг/л		частота обнаружения, %	содержания, мг/л		
		максимальные	средние		максимальные	средние	
Al	100	97,24	22,01	100	8,92	1,84	0,247
Sr	100	3,71	1,97	100	0,90	0,19	0,245
Ba	100	2,93	0,27	100	0,062	0,031	0,0167
Ti	100	1,18	0,35	100	0,89	0,14	0,012
V	70	0,0083	0,0028	90	0,0080	0,0015	0,0016
Cr	7	0,016	0,00093	30	0,0089	0,0012	0,00187
Mn	100	14,59	5,13	100	0,80	0,41	0,042
Co	94	1,00	0,22	40	0,063	0,0081	0,00042
Ni	100	0,49	0,14	90	0,040	0,013	0,00235
Zr	87	0,25	0,11	70	0,062	0,017	0,00231
Sc	20	0,31	0,0028	60	0,019	0,0029	—
La	53	0,22	0,028	80	0,045	0,010	—
Y	26	0,12	0,014	30	0,035	0,0045	—
Yb	23	0,0067	0,0012	30	0,0009	0,0002	—
Be	53	0,0018	0,0015	80	0,0042	0,00087	0,00026
Mo	97	0,80	0,043	100	0,014	0,0052	0,00104
Sn	10	0,012	0,0011	0	—	—	0,00058
Cu	100	35,68	5,81	100	0,089	0,018	0,00485
Pb	30	0,17	0,0091	40	0,0089	0,0015	0,00194
Zn	100	75,80	19,33	60	0,32	0,047	0,0252
Cd	10	0,036	0,025	0	—	—	0,00015
Ag	100	0,055	0,015	100	0,062	0,00,86	0,00020
As	10	8,76	0,34	0	—	—	0,00264
Ga	7	0,0025	0,00014	40	0,0089	0,0011	0,00068

«фонового» участка. Это может быть объяснено как природными факторами — наличием в геологическом разрезе района сульфидосодержащих минералов, так и природотехногенными — ветровым переносом металлов из техногенных очагов загрязнения.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о формировании на участке захоронения пиритных огарков весьма агрессивных вод. Как следует из государственных стандартов, строительных норм и правил (СНиП II—28-73, ГОСТ 9.015—74 и др.), эти воды преимущественно характеризуются как сильно агрессивные по отношению даже к особо плотным бетонам и к любым видам металлических конструкций. Особенно высока степень их агрессивности по содержаниям сульфат-иона, которые на большей части участка превышают предельно установленную величину — 1200 мг/л. На значительной части участка высока и общекислотная агрессивность по величине pH, достигающей местами значений ниже 4,0. На участке захоронения пиритных огарков отмечаются и другие виды агрессивности: углекислотная (содер-

жания CO_2 своб. достигают 3 г/л и более) и щелочная (при содержаниях HCO_3 менее 1,4—0,7 мг-экв/л). С этих же позиций следует, по-видимому, отметить и характерные для этого участка резко повышенные содержания иона фтора — до 55 мг/л. Высокая химическая активность этого элемента широко известна, но в связи с его обычным незначительным содержанием в природных водах, степень фторидной агрессивности последних нормативными документами не установлена.

Рассмотренные ниже материалы свидетельствуют о необходимости тщательного изучения агрессивности грунтовых вод при строительстве в районах их возможного интенсивного загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдберг В. М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. — М.: Недра, 1984. — 262 с.
2. Климов Г. И., Болотникова И. В., Родина Н. И. Влияние грунтовых вод на загрязнение поверхностных водотоков и водоемов. — В кн.: Гидрологические ресурсы Продовольственной программы. Л., изд. ЛПИ, 1984, с. 132—136. (ЛГМИ).
3. Климов Г. И., Сапожников В. Б. Металлоносность грунтовых вод предприятия фосфорных удобрений. — В кн.: Вопросы охраны и рационального использования вод суши. Л., изд. ЛПИ, 1985, с. 29—32. (ЛГМИ).
4. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. — М.: Недра, 1978. — 228 с.

УДК 551.351 : 628.394

Ю. Г. ЮРОВСКИЙ (ИНСТИТУТ МИНЕРАЛЬНЫХ
РЕСУРСОВ МИНГЕО УССР)

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА АКВАТОРИИ В ОБЛАСТИ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Из всего многообразия проблем, связанных с антропогенным воздействием на природные воды, наименее изученными являются очаги этих воздействий, обусловленные разгрузкой подземных вод. Масштабы субаквальной разгрузки для крупных водоемов сильно варьируют, достигая иногда значительных величин среди других составляющих водно-солевого баланса. По данным одной из последних работ в этой области [3] общий подземный сток в озеро Балхаш составляет $0,08 \text{ км}^3/\text{год}$ (0,5% от общего притока поверхностных вод), в то же время, вынос растворенных веществ в озеро подземными водами 1,1 млн. т/год, что составляет уже 26% привноса солей поверхностным стоком. Для Средиземного моря общий подземный сток равен $68 \text{ км}^3/\text{год}$

(24% суммарного речного стока), а вынос солей подземными водами только с Европейского континента оценивается в 27,4 млн. т/год.

Распределение областей и очагов субаквальной разгрузки на дне водоемов весьма неравномерно, что объясняется, главным образом, особенностями их морфологического и геологического строения, а разгружающиеся подземные воды чаще всего по своим физико-химическим свойствам аномальны по отношению к вмещающей их водной среде. Эти различия наиболее контрастны для районов развития грязевого вулканизма, разгрузки сероводородных, термальных и минерализованных вод. С одной стороны, указанные виды разгрузки являются необходимым компонентом в формировании сложившегося водно-солевого состава водоемов, с другой стороны, устойчивые аномалии, вызванные такого рода разгрузкой, губительны для большинства гидробионтов, что позволяет считать зоны разгрузки важной составной частью автохтонных процессов, очагами естественного изменения качества воды водоемов. В морях с нормальной океанической соленостью зоны распреснения вызывают угнетение и гибель изогалинных организмов. Даже в относительно распресненных водах Черного моря в заполнителе грифонов пресных субмаринных источников часто встречаются раковины погибших *Rapan*, иногда в относительно небольших источниках их насчитываются десятки.

Окисление сульфидов и метана, поступающих с гидротермальной жидкостью под уровень моря, сопровождается резким понижением концентраций растворенного в воде кислорода. В присутствии высокодебитных источников, области с пониженными концентрациями кислорода занимают значительные площади. Примером могут служить термальные выходы подземных вод с дебитом 10—12 м³/с во впадине Гуаймас в Калифорнийском заливе [9]. Выходы термальных источников вблизи берега на небольших глубинах известны в прибрежной зоне Испании, Франции, Японии, Индонезии и др. [3, 4, 10]. Разгрузка гидрокарбонатно-хлоридно-натриевых вод с минерализацией 13—30 г/л, обогащенных органическими веществами и значительным содержанием метана, характерна для грязевулканических структур [1, 6].

В последние годы очаги разгрузки минерализованных вод и метана были обнаружены в прибрежной полосе Тарханкутского полуострова Крыма на глубине 6—12 м. На площадях 400—600 м², покрытых неконсолидированными иловатыми отложениями с большим количеством органики, наблюдается спонтанное выделение газа, в составе которого преобладает метан со значительным (до 6%) содержанием тяжелых углеводов. Содержание сероводорода в придонных пробах достигает 81,6—102 мг/л, а уголекислоты 122,1—185,4 мг/л. Компонентный состав

разгружающихся подземных вод в зоне смешения с морскими характеризует приведенная ниже таблица.

Периодическая активизация подобных очагов разгрузки может являться одной из причин массовой гибели черноморской

Химический состав подземных вод в области смешения с морскими на западном побережье Тарханкутского полуострова

№ пр.	Глубина, м	Место отбора	Содержание, мг/л							Общая минерализация, мг/л	pH
			CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K+Na		
66	6	Дно, очаг	120	1098,0	10283,4	1121,07	360	705,28	6080,25	19547,63	6,32
7	7	Дно, очаг	н/о	207,4	9751,5	1341,16	240	729,6	5389,92	17555,78	8,36

мидии на перспективных для промышленной добычи банках в районе Тарханкутского полуострова. Поэтому картирование очагов разгрузки и изучение механизма их деятельности необходимо при планировании мероприятий по развитию марикультуры [9].

Рассматривая очаги разгрузки подземных вод как области «естественного изменения состава вод» водоемов следует учитывать еще одну сторону этого природного феномена: стабильные аномалии могут обеспечивать существование биологических форм, несвойственных всему водоему. На границе крупных зон распреснения часто наблюдается активное развитие планктона, вызванное привнесом подземными водами питательных веществ. По нашим наблюдениям у грифонов субмаринных источников (Черное море, район Гантиади, Гагры) на этой границе мидии имеют более крупный размер, а в мантии их встречается большое количество карбонатных включений.

В экстремальных для всех биологических форм условиях функционирования подводных гидротерм с температурой на выходе более 300°С обнаружены специфические формы бактерий. На больших площадях (например, Восточно-Тихоокеанское поднятие) устойчивые температурные аномалии создают условия существования своеобразных экологических систем, пространственно приуроченных к областям разгрузки гидротермальных растворов. Подобные экосистемы характеризуются симбиозом мегафауны с хемоавтотрофными бактериями [11]. Исследователи этого явления высказывают предположение, что в отдельные периоды геологической истории гидротермальные процессы могли оказать существенное воздействие на формирование экосистемы Мирового океана в целом.

Возрастание антропогенных нагрузок на приморских территориях в районах, прилегающих к крупным водоемам, неизбежно оказывает влияние на состав и качество природных вод, в том числе подземных. В области питания строительные и сельскохозяйственные работы приводят к изменению темпов фильтрации

осадков, режима и баланса влаги в зоне аэрации, а также способствуют условиям проникновения в водоносные горизонты веществ, обладающих токсическими свойствами. Источниками изменения состава вод являются промышленные и бытовые стоки, химические отходы, нефтепродукты, минеральные удобрения, пестициды. Отдельные устойчивые компоненты и соединения обнаруживаются в зоне транзита и разгрузки, вследствие чего качество вод изменяется не только самих водоносных горизонтов, часто необратимое, но и водоемов их дренирующих. В большинстве западноевропейских стран особенно широкие масштабы приняло нитратное пополнение вод, вызванное постоянным применением в областях питания азотных удобрений. В 1982 году на конференции, посвященной проблемам антропогенного воздействия на качественный состав подземных вод в Брауншвейге (ФРГ), такое пополнение отнесено к «критической проблеме века» [13]. Последствия всего этого наиболее явно проявляются в закрытых водоемах: озерах, изолированных бухтах, мелководных заливах, эстуариях.

Разгрузка подземных вод в водоемы чаще всего осуществляется двумя способами: сосредоточенным, в виде субмаринных источников, и рассредоточенным (разгрузка перетеканием). В первом случае концентрированный выход можно сравнить с отдельным подводным выпуском сточных вод, отличающимся от последнего лишь существенно меньшими концентрациями антропогенных веществ, трансформация факела источника и поля которых определяются основными гидрологическими параметрами акватории. Турбулентное перемешивание, течения и волнение создают условия быстрого разбавления разгружающихся подземных вод. Таким образом, при сосредоточенной разгрузке очаги антропогенного влияния имеют локальное значение.

В случае рассредоточенной разгрузки область искусственного изменения состава вод распространяется на значительно большие площади. Накопление антропогенных агентов в зоне смещения морских и подземных вод происходит постепенно, оказывая влияние в основном на состав поровых вод ложа водоема, реже придонного слоя. Концентрация токсичных веществ часто не достигает здесь порога экологической толерантности гидробионтов; вследствие активных процессов самоочищения водоемов. Однако, нельзя не отметить, что негативные последствия длительного воздействия водной среды с низким уровнем изменения химического состава вод изучены недостаточно. В настоящее время известны лишь некоторые стороны этого явления. Например, многочисленные представители донной растительности в условиях антропогенного воздействия выполняют в прибрежной зоне такую же функцию, как и наземная растительность, а отдельные представители фитобентоса могут служить

индикаторами присутствия агентов антропогенного воздействия в придонном слое в зоне разгрузки подземных вод.

Влияние антропогенных изменений изучалось на примере широко распространенной Черноморской бурой водоросли *Cystoseira crinita*. Постоянное воздействие повышенного содержания в воде ряда токсикантов приводит к ее угнетению, изменяет ее видовой состав и плотность [7]. В тканях водоросли отмечено повышенное содержание нитритов, фосфора, резко повышены концентрации металлов: никеля, цинка, свинца, меди и других. Для сравнения: концентрации никеля и цинка в Черноморской цистозере, находящейся вблизи антропогенного источника, превосходят таковые в бурых водорослях Японского моря в десятки раз, меди и железа в несколько раз. Распределение металлов в самой цистозере подчиняется некоторым закономерностям. Цинк обнаружен во всех компонентах водоросли, медь и свинец связаны с фракцией, включающей в себя нерастворимые альгинаты, а до 50—65% марганца и 40—65% кобальта связаны с белковой фракцией [5].

Накопление тяжелых металлов может происходить также в панцирях ракообразных и тканях моллюсков. В Крыму влияние токсичных примесей в воде изучалось также в связи с программой разведения Черноморской мидии [2].

В крупных водоемах расположение областей с повышенным содержанием токсикантов связано не только с характером субмаринной разгрузки подземных вод, но и с условиями седиментации. По данным 16-го рейса НИС «Аю-Даг» в Балтийском море [8], наибольшие концентрации тяжелых металлов (свинец, кадмий, медь) тяготеют к поверхностному слою донных отложений Гданьской и Готландской впадин. Аналогичная картина наблюдается и в Финском заливе, где процесс накопления обеспечивается поступлением этих элементов в составе разгружающихся подземных вод.

Анализируя материалы рейса, нельзя не обратить внимание на очевидную взаимосвязь величины концентраций токсикантов и литологическим составом донных отложений. Наименьшие концентрации отмечены в песчано-гравийных и песчаных грунтах, а максимальные — в алевритово-пелитовых и пелитовых (в основном на глубинах более 70 метров). Механизм накопления тяжелых металлов связан по-видимому со смещением окислительно-восстановительного барьера, а также с сорбирующими свойствами грунтов. Установление этой закономерности для условий Балтийского моря весьма важно, так как распространение зообентоса здесь прослеживается до глубины 160 метров, а большинство его видов тяготеет к песчаным и песчано-гравийным грунтам.

Приведенные примеры подтверждают, что биоиндикаторы могут оказать существенную помощь в проведении исследований по многим вопросам антропогенного влияния на поверхностные

и подземные воды. Для осуществления их необходима разработка специальной программы, предусматривающей расширение круга тест-организмов и включение в него различных групп бентоса. В программе необходимо предусмотреть выделение областей разгрузки подземных вод, системы и способы опробования придонного слоя и изучение химического состава поровых вод на репрезентативных участках, так как большинство нормативных документов по изменению состава акваторий предусматривает опробование лишь поверхностного слоя водоема. Соответственно, для этого же слоя определяются основные показатели антропогенного влияния, такие как взвешенные вещества, БПК, коли-титр и другие. Построение программы должно быть согласовано с общими принципами мониторинга водоемов, с учетом режимных и балансовых характеристик основных водоносных горизонтов, расположенных на прилегающих к ним территориях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батоян В. В. Гидрохимические исследования субмаринной разгрузки в Каспийском море. Автореферат на соискание уч. степ. канд. геол.-минер. наук. М., 1977. — 27 с.

2. Булатов К. В. Генетический состав мидиевых поселений из различных бухт Крымского побережья. — В кн.: Состояние, перспективы улучшения и использования морской экологической системы прибрежной части Крыма. Тез. докл. конф. Юж. науч. центра АН УССР. — Севастополь, 1983, с. 139—140.

3. Зекцер И. С., Джамалов И. Г., Месхетели А. В. Подземный водообмен суши и моря. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 207 с.

4. Коротков А. И., Павлов А. Н., Юровский Ю. Г. Гидрогеология шельфовых областей. — Л.: Недра, 1980. — 219 с.

5. Лазаренко Г. Е., Празукин А. В., Хайлов К. М. Распределение ряда металлов в биохимических составляющих цистозеры из района загрязненного бытовыми сточными водами. — В кн.: Состояние, перспективы улучшения и использования морской экологической системы прибрежной части Крыма. Тез. докл. конф. Юж. науч. центра АН УССР. — Севастополь, 1983, с. 11—12.

6. Нестеров К. В. Особенности формирования минеральных вод в зонах грязевулканических структур. — В кн.: Итоги изучения регион. гидрогеол. и инж.-геол. процессов в осадочном чехле мол. плит. Матер. междувед. семинара. Т. I. Тез. докл. — М., 1983, с. 114—118.

7. Парчевский В. П., Хайлов К. М., Празукин А. В. и др. Влияние хозяйственно-бытового загрязнения на Черноморскую бурую водоросль *cistoseira cincta* на популяционном и организменном уровне. — В кн.: Состояние, перспективы улучшения и использования морской экологической системы прибрежной части Крыма. Тез. докл. конф. Юж. науч. центра АН СССР. — Севастополь, 1983, с. 21—22.

8. Пустельников О. С., Бубина А. Д., Тамошюнайте Н. Ю. Условия седиментации, донные осадки и бентосные организмы Балтийского моря в октябре — ноябре 1979 г. (по данным 16-го рейса НИС «Аю-Даг»). — Отдел. геогр. АН Лит. ССР. Деп. ЛитНИИТИ. 10XII. 80 г. № 652-80, Вильнюс, 1980, 26 с.

9. Юровский Ю. Г. Гидрогеохимические показатели субмаринной разгрузки подземных вод и загрязнение прибрежной зоны. — В кн.: Состояние, перспективы улучшения и использования морской экологической системы прибрежной части Крыма. Тез. докл. конф. Юж. науч. центра АН УССР. — Севастополь, 1983, с. 40—41.

10. Campbell Andrew C., Gieskes Joris M. Water column with hydrothermal activity in the guaymas Basin, Gulf of California Earth and Planet „Scilett“, 1984, № 68, № 1, p. 57—72.

11. Roux M. L'impact écologique de l'hydrothermalisme dans les océans actuels et anciens „Bull. Soc. géol Fr“, 1984, 26, № 1, p. 25—31.

12. Vidal Victor Manyel, Vidal Francisco. Relation de mezcla fluidos dogeotermicos con distinta composition isotopical elemental. „Bol IE“, 1981, № 1,11, p. 415—420.

13. Walter W. Anthropogene tinflüsse auf die Graund Wasserbestthafteit, Niedersachsen, Fallstudien. „GWf Wasser/Abwasser“, 1983, 124, № 10, p. 496.

УДК 556.332.46

*И. В. БОЛОТНИКОВА, Н. Е. РЫМАРЕНКО,
С. Р. УСМАНОВА (ЛГМИ)*

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПИНЕЖСКОГО КАРСТА

Исследованиям Пинего-Северодвинского карстового района посвящено довольно много работ [2, 3, 4, 5]. Однако в этих работах мало внимания уделяется вопросам гидрогеохимических особенностей карста. Проведение же гидрохимических, гидрогеологических, гидрометрических исследований дает возможность рассмотреть происхождение отдельных потоков карстовых вод, формирующихся в речной, болотной и озерной сетях. Характер изменения минерализации, условия концентрации или разбавления отдельными компонентами поверхностных и подземных вод в различные сезоны, с учетом расхода потоков, позволяют произвести расчеты для оценки интенсивности протекания процессов карстообразования.

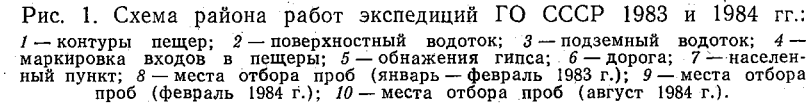
Комиссией спелеологии и карстоведения при Географическом обществе СССР в соответствии с договором о сотрудничестве с Пинежским заповедником в течение ряда лет на территории последнего проводятся исследования по изучению интенсивности карстового процесса, уточнению гидрологической системы данного района, а также поверхностные и подземные топографические работы.

В экспедиционных работах 1983 и 1984 гг. принимали участие студенты гидрологического факультета ЛГМИ, занимающиеся в СНО при кафедре гидрогеологии и геодезии.

Исследования проводились в юго-восточной части заповедника в районе озера Ераськино и в Голубинском районе.

Район работ был разбит на три зоны: Пещерная система ГО СССР озеро Ераськино, река Карьела и район поселка Голубино (рис. 1).

2



тов известковистых, огипсованных с гнездами и прослоями гипсов и казанский ярус ($P_{2\text{ kz}}$), представленный глинистыми известняками, глинами известковистыми, песчаниками и мергелями.

Четвертичные отложения в районе исследований представлены озерно-ледниковыми верхнечетвертичными ($lg\ Q_{III}$) песками, супесями, суглинками и глинами [1].

С востока район ограничивает река Пинега, являющаяся базисом эрозии. В Голубинском районе в пещерах имеются водотоки, которые являются продолжением потоков, обнаруженных в пещерах Тараканьего лога. Эта гидрологическая связь была установлена путем окрашивания вод потоков. Выход подземных вод на поверхность в Голубинском районе не обнаружен, кроме маленького ручейка, вытекающего из Большой Голубинской пещеры и впадающего в р. Пинегу. Однако вдоль берега Пинеги на дне реки отчетливо прослеживаются ключи, что свидетельствует о хорошо развитой в этом районе зоны сифонной циркуляции.

Несколько южнее пос. Голубино, в Пехоровском логу, протекает ручей, также впадающий в р. Пинегу. Гидрологическая связь этого ручья с другими поверхностными и подземными водотоками не обнаружена. Очевидно, это самостоятельный ручей, берущий начало в болотистой местности, и вверх по потоку могут быть обнаружены пещеры.

Река Карьела, берущая свое начало в болотистой местности, впадает в озеро Ераськино, из которого вытекает три водотока:

- вход Е4. Вытекающая в этом месте вода выработала целую пещерную систему;

- вход К2. Здесь вода несколькими потоками уходит под завал;

- вход Е1. Вытекающая отсюда вода является продолжением р. Карьела. Она сразу уходит под землю, затем появляется на поверхности в одном из обнажений гипса и снова исчезает в большом цирке К1 под глыбовым завалом. Пройдя под землей около 6 км, река выходит на поверхность с расходом в межень 0,27 м/с и впадает в р. Пинегу.

Воды массива, в целом, перемещаются с запада на восток и разгружаются в реку Пинегу. Сток, следовательно, носит односторонний характер.

Большое значение как в поверхностном, так и в подземном стоке играет инфильтрация, так как карстующиеся породы перекрыты слоем водопроницаемых отложений. Об этом свидетельствует постоянная капель в пещере, усиливающаяся при таянии снега (минерализация, капли в Е5 составляет 1678,04 мг/л). При определении открытой пористости образцов гипса различной структуры, взятых в точках К1, Е5, Е1, было обнаружено, что в различных образцах она примерно одинакова (см. таблицу). Это свидетельствует о том, что независимо

Коэффициенты фильтрации и пористость пород

Место отбора пробы	Наименование породы	Коэффициент фильтрации, м/сут	Открытая пористость, %
Пещера Е5 (зал Пингвинов)	песок среднезернистый	2,68	29
Пещера Е5	песок мелкозернистый с гравием	2,97	
Пещера Е5	песок среднезернистый	1,88	
Пещера Е5	гипс	3,36	
Вход Е4	гипс	2,04	
Пещера К2	глина с гравием	0,0	30
Вход Е9	супесь	0,1	
Р. Карьела	песок среднезернистый с гравием	4,46	
Пещера Холодильник	супесь	0,1	
Вход КР1	песок мелкозернистый с гравием	2,94	
Цирк К1	гипс	—	28
Пещера Е1	гипс	—	28

от структуры породы в рассматриваемых трех точках через толщу гипсов должно просачиваться одинаковое количество воды (без учета трещиноватости пород). Значения коэффициента фильтрации (K_f), определенные по потоку в пещере Е5, увеличиваются и изменяются в зависимости от состава пород, а по вертикали — уменьшаются от 2,9 м/сутки до 0 м/сутки, что указывает на наличие подстилающего водоупорного слоя (глины) под водопроницаемыми песчаными породами. Аналогичная картина наблюдается и в р. Карьела.

Гидрохимические исследования в районе Пехоровского лога и реки Карьелы проводились впервые. Сопоставление результатов гидрохимического опробования воды в реке Карьела, которое проводилось в январе — феврале 1983 года, в августе и феврале 1984 года показывает, что в зимний период 1983—1984 гг. минерализация вод на всем протяжении реки почти не изменяется. Довольно значительное увеличение минерализации вод наблюдается в летний период. Исключение составляют воды на участке между пещерами Листвиничная и Большой Холодильник. Здесь идет разбавление какими-то слабоминерализованными водами, причину появления которых еще предстоит изучить.

Гидрохимические анализы проб воды по всей длине потока пещерной системы ГО СССР и р. Карьелы дают возможность сделать вывод о том, что увеличение минерализации вод происходит при прохождении потока под землей за счет увеличения интенсивности протекания карстовых процессов, а уменьшение минерализации объясняется в одних случаях впадением притоков с более низким содержанием солей, а в других — выходом

потока на поверхность земли. Это подтверждает и характер изменения минерализации вод Пехоровского лога на всем его протяжении (рис. 2).

Исследования, проведенные в районе озера Ераськино, указывают на различную величину минерализации в разных его

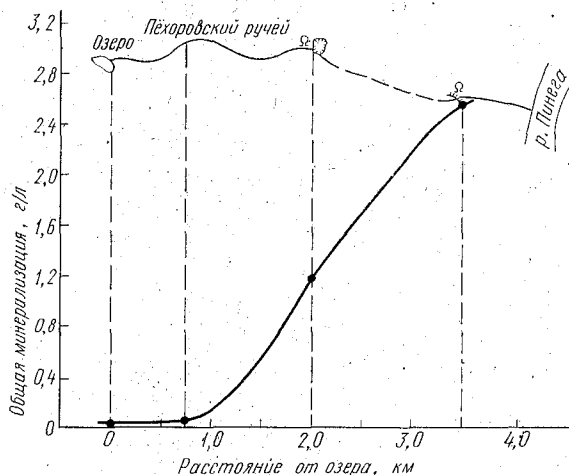


Рис. 2. График изменения минерализации в Пехоровском ручье (август 1984 г.).

частях. В северной части озера образует два ответвления — западное и восточное (см. рис. 1). Из западного ответвления вытекает поток, исчезающий через 200 м в точке К2. Анализы показали, что минерализация вод отобранных в точках № 21 (в восточном ответвлении) и № 22 (южнее ручья К2) одинаковая и достигает высоких значений (2300 мг/л), а содержание Cl' составляет 2165 мг/л. Величина минерализации воды и содержание Cl' в точке № 23, расположенной на расстоянии 100 м от точки № 22, в два раза ниже. Исходя из этого можно предположить, что по линии № 22 — № 21 проходит разлом, где разгружаются источники зоны сифонной циркуляции.

Анализ проб воды, отобранных в пещерах около поселка Голубино, показал, что воды в них более минерализованы, чем в других частях района.

Общая минерализация вод поверхностных потоков района изменяется в широких пределах от 36 до 2354 мг/л, что указывает на их различное происхождение. Низкая минерализация атмосферных осадков (10÷20 мг/л), поверхностных водотоков, вытекающих из болот (35÷60 мг/л) является исходной при проникновении потока под землю. Контактруя с гипсовыми породами, поток растворяет их благодаря высокой агрессивной способности, увеличивая при этом свою минерализацию.

По химическому составу карстовые воды исследуемого района сульфатно-кальциевые (Ca^{++} и SO_4^{--} составляют 70÷80%-экв.), что обусловлено растворением преимущественно чистого гипса. Воздействие природных вод на встречающиеся доломитовые прослойки приводит к появлению в составе вод HCO_3^- и Mg^{++} .

Состав поверхностных вод (р. Пинега) гидрокарбонатно-кальциевый (HCO_3^- — 80÷86%-экв. и Ca^{++} — 52÷60%-экв.) с добавлением хлоридно-натриевого комплекса.

Проведенные исследования позволяют, в первом приближении, оценить интенсивность карстового процесса в исследуемом районе. При расходе р. Карьялы 270 л/с со средней минерализацией 1,65 г/л (зима 1983 г.) общий вынос растворимых пород составляет 38,1 т/сутки. Летом 1984 г., при расходе 660 л/с, вынос составил 116,7 т/сутки, а по данным 1978 г. (расход 400 л/с при минерализации 1,55 г/л) вынос равняется 55 т/сутки. Таким образом, за одни сутки проработка подземного русла эквивалентна появлению нового пещерного хода сечением 1 м² и длиной 8 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрология СССР. Т. XLIV. Архангельская и Вологодская области. — М.: Недра, 1969. — 299 с.
2. Пещеры Пинега-Северодвинской карстовой области. — Сб. статей ГО СССР. Л., 1974. — 191 с.
3. Тессман Н. Ф. Карстовые явления Архангельской области и их практическое значение. Уч. зап. Московского пед. института, т. 120, география, 1958, вып. 3, с. 149—164.
4. Торсуев Н. П. Интенсивность проявления карста в областях Пинеги и Кулой. — Вестник МГУ, 1963, серия 5, география, вып. 6.
5. Торсуев Н. П., Левин С. А. Географические аспекты изучения равнинного карста. — Казань, изд. Казанского университета, 1980. — 208 с.

УДК 551.482.2

Н. Б. БАРЫШНИКОВ, С. Л. ГАЛАКТИОНОВ (ЛГМИ)

ВЛИЯНИЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ГИДРАВЛИКУ ПОТОКОВ В РУСЛАХ С ПОЙМАМИ (на ПРИМЕРЕ РЕК ДАЛЬНОГО ВОСТОКА)

В 1963 г. П. А. Урываев и В. М. Лыло, выполнив анализ данных измерений расходов воды на реках Дальнего Востока, пришли к выводу об их низком качестве и необходимости совершенствования методики измерений паводочных расходов воды в системе Госкомгидромета [4]. Эти рекомендации были учтены и в последующие годы качество измерений расходов воды, особенно максимальных, значительно улучшилось.

В то же время хозяйственное освоение региона вызвало интенсивное строительство автомобильных и железных дорог, пересекающих многочисленные реки и водотоки. Это привело к резкому увеличению количества постов для измерения расходов воды, расположенных в створах мостовых переходов. Так, в бассейнах реки Уссури и рек, впадающих в Японское море в пределах Приморского и Хабаровского краев, 37 постов из 121 используют для паводочных измерений железнодорожные или автомобильные мостовые переходы, имеющие различные размеры и конструкции.

Дальний Восток находится под влиянием муссонного климата, характерным для которого являются паводки, в том числе и катастрофические, проходящие в летне-осенние периоды, когда резко возрастает влияние растительности, создающей переменное сопротивление их движению по затопленным поймам.

На большинстве рек этого региона наблюдаются широкие, затопляемые при пропуске высоких паводков, поймы. Их относительные ширины (B_n/B_p), по данным Н. Б. Барышникова [1], даже в створах измерений достигают 40, а доля паводочного стока, проходящего по пойме, — 70—80%. Поэтому при строительстве мостовых переходов, как правило, возводятся струенаправляющие сооружения [2], производятся расчистки подмостовых участков русел и пойм. Как известно [3], весьма дорогостоящие струенаправляющие сооружения рекомендуется строить около подмостовых дамб, если доля пойменной составляющей расчетного максимального расхода воды больше или равна 15%.

На восьми рассмотренных гидростворах системы Госкомгидромета, расположенных в створах мостовых переходов, измерения расходов воды в руслах и на поймах рек выполнялись с пролетных частей мостов. Земляные дамбы лишь частично перекрывали поймы, оставляя значительные их части (до 20—40%) для пропуска по ним паводочного стока. Как показал анализ исходных данных по этим постам, при измерениях расходов воды близких к максимальным применяется методика аналогичная измерениям на участках рек, находящихся в бытовых условиях, что из-за неучета косоуструйности и других факторов часто приводит к большим погрешностям.

По режиму и относительной ширине пойм исследованные реки можно подразделить на три группы. Первая — равнинные реки с широкими двухсторонними поймами ($\frac{B_n}{B_p} > 7 \div 12$). Вторая — полугорные реки с односторонними поймами ($5 < \frac{B_n}{B_p} \leq 7$). Третья — горные реки с двусторонними поймами ($\frac{B_n}{B_p} = 3 \div 5$).

На семи из восьми гидростворов измерения производились с низовой стороны мостов, что приводило к некоторому уменьшению влияния косоструйности течения, и только на одном — с верховой. На всех постах наблюдались интенсивные деформации русел, а иногда и частей пойм, что свидетельствует о незаключенности процесса их переработки под влиянием мостовых переходов.

Характер полей скоростей в таких руслах существенно отличается от аналогичных, но находящихся в условиях бытового режима. Трансформация полей скоростей обусловлена стеснением живого сечения потока дамбами и опорами мостов, а так же воздействием самих опор, разделяющих поток на отдельные отсеки. Изотахи и эпюры распределения средних на вертикалях скоростей по ширине потоков в таких сечениях имеют волнообразную форму, наиболее четко выраженную в паводочный период.

На характер трансформации полей скоростей под воздействием мостовых переходов большое влияние оказывают особенности морфологического строения русел и пойм на участках рек, находящихся выше и ниже гидростворов. Это особенно четко прослеживается на примере р. Б. Усачи у с. Первомайского, где выше створа измерений располагается излучина с углом поворота 90° . Поверхностные слои руслового потока из-за его инерционности поступают на пойму, образуя на ней поток со средними скоростями, превышающими аналогичные непосредственно в русловой его части. Такое же изменение скоростей характерно и для других рек первой группы, на которых наблюдаются изгибы русел выше створов переходов, а дамбы перекрывают только часть поймы. Доля пойменной составляющей на реках этой группы достигает 80—85% от общего расхода воды.

Для рек второй группы, имеющих одностороннюю пойму, так же характерны трансформации полей скоростей в русловой и пойменной частях потоков, но доля пойменной составляющей в общем стоке не превышает 40—45%.

На горных реках, отнесенных к третьей группе, можно выделить три максимума скоростей, располагающихся в русле и на поймах. Однако эти максимумы слабо выражены и средние на вертикалях скорости почти равномерно распределяются по ширине реки. Доля пойменной составляющей в общем стоке рек не превышает 50—60%.

Реки первой и третьей группы по типизации, предложенной Н. Б. Барышниковым, могут быть отнесены к пятому типу взаимодействия руслового и пойменного потоков, а второй группы — ко второму или третьему типам.

Характер изменения расходов воды, средних скоростей потоков и уклонов водной поверхности при увеличении уровней воды существенно отличается от бытовых условий. Особенно четко прослеживается асинхронность изменения расходов и ско-

Коэффициенты шероховатости русел и пойм

Река, пункт	Год	Группа	$\frac{h_p}{h_{p,б}}$	Расчетный участок	Ширина участка, м	n_p , расчетное	n_T табличное (по Срибному)	$\Delta n/n_T$, %	$k = \frac{n_p}{n_T}$
Мельгуновка п. Луговой	1968	1	1,50	русло до выхода воды на пойму	60	увеличение с 0,03 до 0,04	0,040	110	2,10
				после поймы левобережная	460	0,084	0,040	18	1,18
				правобережная	275	0,059	0,050	20	0,80
						0,040	0,050		
Комиссаровка п. Ильинка	1965	2	2,17	русло до выхода воды на пойму	38	увеличение с 0,02 до 0,04	0,035		
				после поймы левобережная	197	0,089	0,035	154	2,54
						0,232	0,050	364	4,64
Духовская п. Духовское	1968	3	2,08	русло до выхода воды на пойму	16	уменьшение с 0,04 до 0,025	0,040		
				после поймы левобережная	34	0,084	0,040	125	2,25
				правобережная	25	0,064	0,050	28	1,28
						0,050	0,050	0	1,0

Примечание. Здесь h_p и $h_{p,б}$ — средние глубины в русловой части потока при расчетном уровне и уровне соответствующем отметке бровки прирусловых валов; n_p , n_T и $\Delta n = n_p - n_T$ — коэффициенты шероховатости соответственно определенные расчетом по натурным данным, по таблицам М. Ф. Срибного и характеризующие разность их величин.

ростей потоков с одной стороны и уклонов водной поверхности с другой. Это, по-видимому, обусловлено тем, что скорости и расходы воды измеряются в створах мостовых переходов, а уклонные посты располагаются ниже или выше его.

Особенно интересными являются данные о коэффициентах шероховатости, которые определялись при меженных и паводочных уровнях отдельно для русел и пойм (см. таблицу).

Как видно из таблицы, где в качестве примера приведены данные только по трем рекам, в пределах меженного русла, при увеличении уровней, коэффициенты шероховатости русел рек первой и второй группы увеличиваются примерно в 1,5—2,0 раза и лишь для одной реки третьей группы (р. Духовская — с. Духовское) отмечено их уменьшение от 0,04 до 0,025.

После выхода воды на пойму коэффициенты шероховатости русел резко увеличиваются и при уровнях, близких к максимальным ($\frac{h_p}{h_{p,6}} = 1,5 \div 2,2$) для всех изученных рек достигают 0,084—0,089, что в 2—2,5 раза превышает соответствующие табличные значения.

По-видимому, это объясняется как особенностями морфологического строения русел и пойм на вышерасположенных участках, так и влиянием опор мостового перехода.

Коэффициенты шероховатости пойм с повышением уровня также увеличиваются на всех реках. Однако для рек первой группы с широкими двусторонними поймами и горных рек третьей группы с узкими двусторонними поймами коэффициенты шероховатости отличаются от табличных не более чем на 30%. На реках же второй группы коэффициенты шероховатости пойм превышают табличные в 2—4 раза.

Таким образом, проведенный анализ и расчеты указывают на необходимость разработки новых методов измерения расходов воды в подмостовых руслах и поймах, а также методов или таблиц для определения коэффициентов шероховатости в них, учитывающих влияние особенностей морфологического строения вышерасположенного расчетного участка на гидравлику потоков и поля скоростей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барышников Н. Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 280 с.
2. Барышников Н. Б., Головкин В. А., Казачек О. В. Учет антропогенного воздействия на пропускную способность и гидравлику потоков в руслах с поймами. — Межвузовский сборник, изд. ЛПИ, 1985, вып. 89, с. 91—99. (ЛГМИ).
3. Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (НИМП-72). — М.: Транспорт, 1972. — 280 с.
4. Урываев П. А., Лыло В. М. Методические ошибки в изучении гидравлического режима рек Дальнего Востока. — Информационное письмо № 3(31), Хабаровск, УГМС ДВ, 1963, с. 34—40.

ОЦЕНКА ВРЕМЕННОЙ ОДНОРОДНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ СКОЛЬЗЯЩИХ ГРАНИЦАХ РАЗРЕЗКИ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Точность расчета статистических характеристик гидрологических величин в общем случае должна возрастать с увеличением продолжительности рядов наблюдений, однако нередко такого уточнения не происходит при конструировании единой совокупности из двух или нескольких выборок, приуроченных к различным условиям существования водного объекта, например, до и после создания гидротехнического сооружения. Иногда методы гидрологических измерений и расчетов с течением времени подвергаются столь существенным изменениям, что данные разных лет оказываются несопоставимыми.

В подтверждение только что сказанного, рассмотрим две совокупности сведений о боковом притоке в р. Ангару на участке от г. Иркутска до г. Братска. За период с 1899 по 1928 гг. боковой приток (ΔQ) вычислялся как разность расходов воды в замыкающем и входном створах. С 1929 по 1960 гг. боковой приток ($Q_{\text{бок}}$) определялся другим способом — как сумма расходов четырех главных рек, впадающих в р. Ангару на указанном участке, плюс более или менее корректно учтенный приток с несомненной наблюдениями части водосбора.

Исследователи р. Ангары в прошлом, да и сейчас, без оговорок объединяли и объединяют две эти выборки, дополняя их сведениями за более поздний период (с 1961 г. по наши дни). Кстати, последняя выборка также представлена данными, вычисленными иначе, чем расходы ΔQ и $Q_{\text{бок}}$.

Во избежание некоторой обезличенности стандартного статистического анализа оценим временную однородность рядов ΔQ и $Q_{\text{бок}}$ следующим способом: рассчитаем значения бокового притока за 1929—1960 гг. по схеме, применяемой в более ранний период, т. е. — по разности расходов у г. Братска и г. Иркутска. Получим ряды значений бокового притока ΔQ^* за 1929—1960 гг. По-видимому, при отсутствии нарушений временной однородности объединенного ряда за 1899—1960 гг., составленного из расходов ΔQ и $Q_{\text{бок}}$, выборки значений ΔQ^* и $Q_{\text{бок}}$ за один и тот же период (1929—1960 гг.) также должны быть однородными, а теснота связей $Q_{\text{бок}} = f(\Delta Q^*)$ достаточно высокой.

Анализ данных о боковом притоке за второй и третий кварталы подтвердил это предположение, в то время как коэффициенты корреляции связей $Q_{\text{бок, I кв}} = \varphi(\Delta Q^*_{\text{I кв}})$ и $Q_{\text{бок, IV кв}} =$

$= g(\Delta Q^*_{IV\text{ кв}})$ оказались незначимыми, а статистические характеристики величин ΔQ^* и $Q_{\text{бок}}$ за тот же осенне-зимний период отличались столь существенно, что можно с большой вероятностью отвергнуть гипотезу об однородности этих выборок.

Установлено, что причины нарушений однородности сравниваемых выборок в данном случае состоят в специфике формирования зимних расходов воды на концах участка. Зажорные явления на р. Ангаре в четвертом квартале приводят к аккумуляции воды и ледового материала на участке, уменьшая расходы у г. Братска. В первом квартале, напротив, происходит постепенная сработка русловых запасов воды, приводящая к увеличению расходов в замыкающем створе. Разумеется, это лишь упрощенная схема достаточно сложных явлений на участке г. Иркутск — г. Братск в зимних условиях до создания каскада ГЭС. Исследуя вопросы однородности данных, нельзя не учитывать существенные погрешности измерений и расчетов зимних расходов воды в гидростворах, подверженных влиянию зажоров. Итак, объединение рядов зимнего бокового притока в р. Ангаре не способствует уточнению его статистических характеристик.

Не всегда причины нарушений однородности так очевидны, как показано выше. В этих случаях наиболее объективные выводы обеспечивает стандартный статистический анализ временной однородности. Чаще всего используются критерии Стьюдента—Госсета и Фишера [2, 4], позволяющие проверить гипотезу об однородности средних значений и среднеквадратических отклонений в «ранней» и «поздней» выборках, на которые разделяется исходный ряд. Если не имеется каких-либо априорных соображений, то при таком анализе календарный ряд просто делят пополам.

Указанные критерии накладывают определенные ограничения на закон распределения исходного ряда. Более универсальны непараметрические критерии, в частности, критерий Манна—Уитни [3, 4]. Единственными ограничениями применения этого критерия являются предельные значения минимальных объемов каждой из сравниваемых выборок (не меньше 10 членов), а также выполнение условия незначимости автокорреляции в исходном ряду [3].

Для большей полноты картины возможных нарушений временной однородности разрезку ряда следует производить со скользящей границей, т. е. за «ранние» годы рассматривают от $n_{\min} = 10$ до $n_{\max} = N - 10$ членов; соответственно объемы выборок за «поздние» годы изменяются от $(N - n)_{\max} = N - 10$ до $(N - n)_{\min} = 10$, где N — число членов исходного ряда.

Проверка гипотезы об однородности средних значений в соответствующих друг другу «ранних» и «поздних» выборках производится путем расчета суммы инверсий [2, 4] U . Если выбо-

точное значение U , отличаясь в силу случайных причин от математического ожидания

$$MU = \frac{(N-n)n}{2}, \quad (1)$$

тем не менее находится в пределах доверительного интервала, то гипотеза об однородности не отвергается. Значения границ критических областей определяются по формуле

$$U_P = MU + t_P \sqrt{DU}, \quad (2)$$

где t_P — квантиль нормального распределения заданной вероятности неперевышения P , а дисперсия суммы инверсий DU равна

$$DU = \frac{(N-n)n}{12} (N+1). \quad (3)$$

Со стороны малых значений U доверительный интервал ограничен пределом U_{P_1} , где $P_1 = \frac{\alpha}{2}$ (α — заданный уровень значимости; обычно это вероятности 0,01; 0,05; 0,10). Справа по шкале U границей критической области служит значение U_{P_2} , где $P_2 = 1 - \frac{\alpha}{2}$.

Для проверки гипотез о временной однородности коэффициентов вариации и асимметрии, согласно предложениям В. Ф. Крюкова [1], исходные сведения подвергаются преобразованию: в первом случае каждое i -е значение рассматриваемой величины X выражают в виде $\left(\frac{x_i}{x} - 1\right)^2$, во втором случае —

в виде $\frac{\left(\frac{x_i}{x} - 1\right)^3}{C_v^3}$. При этих преобразованиях расчет средних значений $\bar{x}$ и коэффициентов вариации C_v производится по данным конкретных выборок «ранних» и «поздних» лет в зависимости от года разрезки.

Все процедуры по преобразованию исходной информации, по разрезке рядов, по расчету сумм инверсий и фиксации периодов значимых нарушений временной однородности реализованы авторами на ЭВМ. Статистический анализ рядов притока в оз. Байкал, Братское водохранилище, в водохранилища Верхне-Свирской и Волховской ГЭС, в Чудско-Псковское озеро и другие водные объекты показал, что объединение неоднородных (в частности, неравноточных) данных представляет собой, к сожалению, довольно обычное явление при расчетах статистических характеристик притока. Не всегда корректно конструируются совокупности среднемесячных и среднегодовых расходов воды на ряде крупных рек.

По-видимому, назрел вопрос о необходимости обязательной оценки временной однородности исходных данных при выполне-

нии режимных обобщений. Это особенно полезно в период подготовки новых выпусков изданий Государственного водного кадастра, когда в подразделениях Госкомгидромета проводится массовое пополнение гидрологических рядов данными последних лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крюков В. Ф. Методика территориального обобщения статистических характеристик минимального стока рек (на примере бассейна Дона). — Труды ГГИ, 1974, вып. 213, с. 107—126.
2. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. — Л.: Гидрометеониздат, 1974. — 424 с.
3. Хоуллендер М., Булф Д. А. Непараметрические методы статистики. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 514 с.
4. Шелутко В. А. Техника статистических вычислений в гидрологии. — Л.: Изд. ЛПИ, 1977. — 175 с.

УДК 502.55(204)+556.388

*И. В. БОЛОТНИКОВА, И. К. НЕЖДАНОВА,
Ю. П. СУЕТИН (ЛГМИ)*

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА СНЕГОВОГО ПОКРОВА НА ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ ГОРОДА

Высокие темпы урбанизации и роста промышленности оказывают все более возрастающее влияние на проблемы, связанные с охраной окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Создается новый антропогенный ландшафт с городской застройкой, преобразованными и вновь созданными водными объектами, пригородными комплексами и зонами отдыха.

Значительные изменения под влиянием урбанизации претерпевают природные воды. Изменение фонового состава подземных вод, обусловлено, главным образом, подобными изменениями почвы, поверхностных вод, атмосферных осадков [8].

Не свойственные природному фону компоненты с поверхности земли вместе с атмосферными осадками инфильтруются в грунтовые воды, передаются земной поверхностью поверхностным водам, а через них — в подземные воды.

Наиболее сильное изменение природного фона окружающей среды и природных вод отмечается в промышленных городах. Исследование этого вопроса применительно к атмосфере и поверхностным водам в городах проводятся много лет, а к почвам в системе Госкомгидромета СССР — началось с 1974 года.

В том и другом случаях представляется важным выяснение закономерностей, определяющих состояние и поведение метал-

лов в окружающей среде. Пополнение почвы тяжелыми металлами происходит в основном в результате накопления на ее поверхности выпадающих из атмосферы аэрозолей, выбрасываемых промышленными объектами.

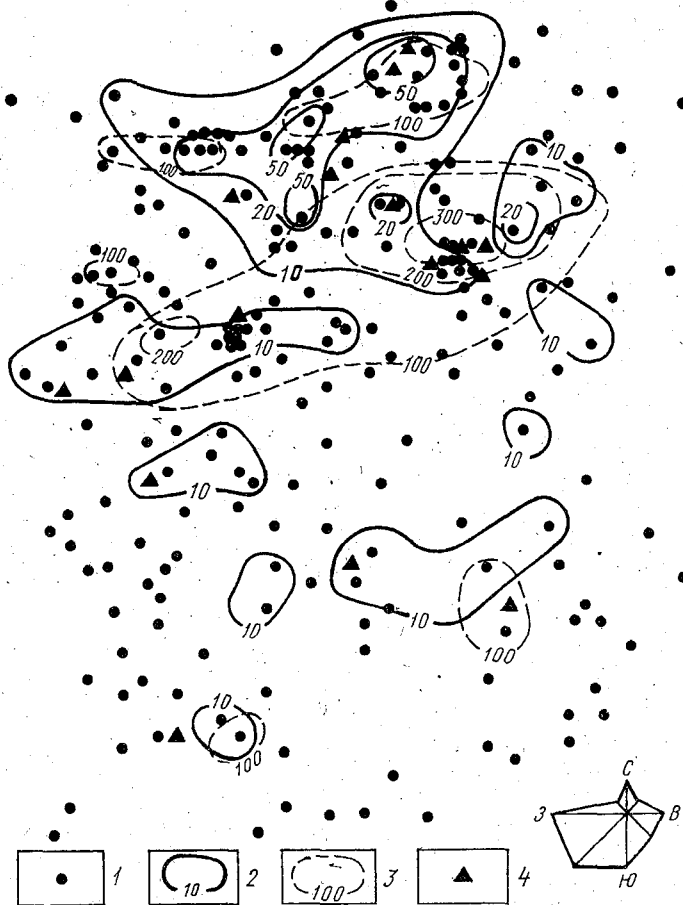
Сведения о содержании в атмосферных осадках металлов позволяют в первом приближении оценить их количество, поступающее на поверхность суши [10]. При этом обычно определяется только валовое содержание тяжелых металлов в осадках или выпадениях. Однако, доля таких металлов в растворимых формах может составлять 40—50% для меди, свинца, никеля, марганца [2], а доля тяжелых металлов в растворимой части выпадений нередко изменяется в пределах от долей процента до десятков процентов [9].

Одним из важных звеньев в изучении миграции веществ в техногосистемах являются исследования химического состава снегового покрова, так как по своей аккумулярующей способности снег может дать информацию как о природном процессе поступления вещества из атмосферы, так и о техногенной составляющей этого процесса. Выполненные исследования снега [3] показали, что медь и никель мигрируют в основном в виде растворимых соединений, на долю которых приходится 50—60% всего валового содержания этих элементов, причем содержания возрастают по направлению господствующих ветров. Аналогичные данные приводят и другие исследователи [1, 5]. Так, экспедиция Института прикладной геофизики установила, что вблизи промышленных комплексов тяжелые металлы (медь, никель, свинец) находятся в основном в нерастворимой форме; по мере удаления от источника доля тяжелых металлов в растворимых формах в выпадениях растет и влияние промышленных комбинатов сказывается даже на расстоянии 50—70 км [5]. Подобные же результаты приводятся в работе [4].

Содержание растворимых веществ в поверхностных сточных водах городов выше, чем в бытовых. При этом средняя величина сухого остатка в дождевом стоке колеблется в пределах 300—500 мг/л, в стоке талых снеговых вод она увеличивается и достигает 8 г/л и более [7].

Город и прилегающие к нему промышленные объекты имеют непосредственное влияние как на химический состав снежного покрова, так и на формирование весеннего половодья, несмотря на то, что зимой снег убирается с улиц, крыш зданий и вывозится, как правило, за пределы города. Снежный покров, расположенный внутри жилых городских массивов, а также в садах и парках сохраняется и участвует в весеннем половодье, изменяя фон природного состава.

Исследования состава снежного покрова в условиях города, где имеются действующие промышленные предприятия среди жилых массивов, проводились в снежную практически безоттепельную зиму. Снежный покров держался с декабря до середи-



Распределение никеля в фильтре талого снега:

1 — пункты опробования; 2 — содержание никеля в условных единицах (УЕ); 3 — содержание цинка в УЕ; 4 — промышленные предприятия.

ны апреля и достигал мощности до 40—60 см. Пункты для отбора снега выбирались в скверах, парках, садах на некотором отдалении от дорог и проезжей части улиц. В пробу отбирался снег по всему вертикальному разрезу, чтобы охватить все его слои различной степени уплотнения. Наряду с опробованием

снега на территории города был проанализирован снег, взятый далеко за его пределами, в лесной зоне на расстоянии 120 км от города.

В лабораторных условиях снег растапливался при температуре 16—18°С и отфильтровывался через фильтр «синяя лента». Оказалось, что даже визуально чистый снег на фильтре оставляет значительное количество взвеси, сажи. В фильтрате сделано определение содержания никеля и цинка. При этом использовался колориметрический метод анализа — никель определялся с помощью диметилглиоксима, цинк — атомноабсорбционным.

Никель обнаружен во всех пробах снега, отобранных на территории города. Его концентрации превышают фоновую до нескольких десятков раз.

Содержание цинка в фильтрате снега больше, чем никеля и оно превышает фон в среднем в 30 раз.

Основные аномальные участки располагаются в северной половине города (см. рисунок). Их вытянутость соответствует «розе ветров». Аномалии как по никелю, так и по цинку приурочены к районам, где сконцентрирован целый ряд производств цветной металлургии, гальванических сплавов и электрорадиотехнических предприятий. Аномальные концентрации цинка связаны также с расположенными в данном районе лакокрасочной, полиграфической, аккумуляторной и стекольной промышленностями; для никеля — с предприятиями прецизионного машиностроения и других [6].

Таким образом, интенсивное развитие промышленности ведет к существенным изменениям различных природных объектов: атмосферных осадков, почвы, поверхностных и подземных вод. Поэтому оценка состояния атмосферы города и природных вод по химическому составу снегового покрова может дать за короткий срок информацию как по качественному, так и по количественному составу содержащихся в них примесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриянов А. Н., Дроздова В. М. Исследование химического состава снега вокруг г. Ленинграда. — Труды Главной геофизической обсерватории, 1975, вып. 362, с. 208—212.
2. Беляев Л. И., Овсяный Е. И. Исследования микроэлементов в атмосферных осадках в прибрежном районе в связи с некоторыми вопросами химической океанографии. — Гидрохимические материалы, 1969, т. 51, с. 3—12.
3. Дончева А. В. Техногенное поступление вещества в сфере воздействия металлургического производства. — В кн.: Геохимия ландшафтов и борьба с загрязнением природной среды. М., 1977, с. 2—4.
4. Елпатьевский П. В. Химический состав снеговых вод и его изменение техногенными факторами. — В кн.: Геохимия зоны гипергенеза и техническая деятельность человека. Владивосток, 1976, с. 48—56.
5. Махонько Э. П., Малахов С. Г., Блинов Б. К., Неспятина Т. В. Содержание тяжелых металлов в растворимых осадках в формах в выпадениях в зависимости от расстояния от источника загрязнения. — В кн.:

Миграция загрязненных веществ в почвах и сопредельных средах. Л., Гидрометеониздат, 1980, с. 53—58.

6. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. — М.: ИМГРЭ, 1982. — 66 с.

7. Молоков М. В., Шифрин В. Н. Очистка поверхностного стока с территорий городов и промышленных площадок. — М.: Стройиздат, 1977. — 104 с.

8. Оценка изменений гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности. Сборник статей. — М.: Недра, 1978. — 264 с.

9. Павлоцкая Ф. И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. — М.: Атомиздат, 1974. — 216 с.

10. Тяжелые металлы в окружающей среде. Сборник статей. — М.: изд. МГУ, 1980. — 254 с.

УДК 661.25.045.5 : 628.179

О. Г. ВОРОБЬЕВ (ЛенНИИГИПРОХим)

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВЕННОГО И ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Химическое предприятие площадью 55 га, расположенное на юго-западе Европейской части СССР, ведет свою историю с конца прошлого века. К настоящему времени естественная природная обстановка претерпела существенные изменения, выразившиеся в формировании мощной толщи насыпных грунтов, повышении уровня грунтовых вод, увеличении концентрации в них техногенных компонентов.

В состав насыпных грунтов, представленных в основной своей массе перелопаченными суглинками с глыбами скальных пород, входят строительный мусор и отходы химпроизводства. Последние на значительной части территории имеют широкое распространение, так как в свое время в процессе расширения производства многие цеха были возведены на спланированных отвалах иричного огарка. В северо-западном углу площадки расположены отвалы фосфогипса, образующие возвышенность высотой 3—8 м. Мощность насыпных грунтов колеблется от 2,3 до 14 м. Насыпные грунты подстилаются толщей суглинков с прослоями и линзами песка и супесей деллювиально-аллювиального и элювиального генезиса мощностью от 3 до 15 м. В основании разреза залегают трещиноватые протерозойские граниты.

В гидрогеологическом отношении обводненная часть разреза представляет собой единый водоносный комплекс, состоящий из гидравлически связанных водоносных горизонтов, приуроченных к насыпным грунтам, толще суглинков и выветренной зоне гранитов. По результатам изысканий в 1962 г. выделялось два

водоносных горизонта, разделенных относительно водоупорной толщей суглинков. В последующие годы под воздействием различного рода фильтрационных потерь и проникновения в толщу суглинков сильно-кислых агрессивных растворов выдержанный водоупорный слой исчез. В результате через 20 лет относительно водоупорные суглинки полутвердой консистенции встречаются на отдельных участках и в их распределении по глубине и по площади нельзя проследить какой-либо закономерности.

Питание водоносного комплекса осуществляется по всей площади. Помимо фильтрации атмосферных осадков весьма существенную роль играют фильтрационные потери из водонесущих и промсточных коммуникаций. В северо-западной части промплощадки находится шламонакопитель, который является местной областью питания грунтовых вод прилегающей территории. Здесь образовался купол грунтовых вод.

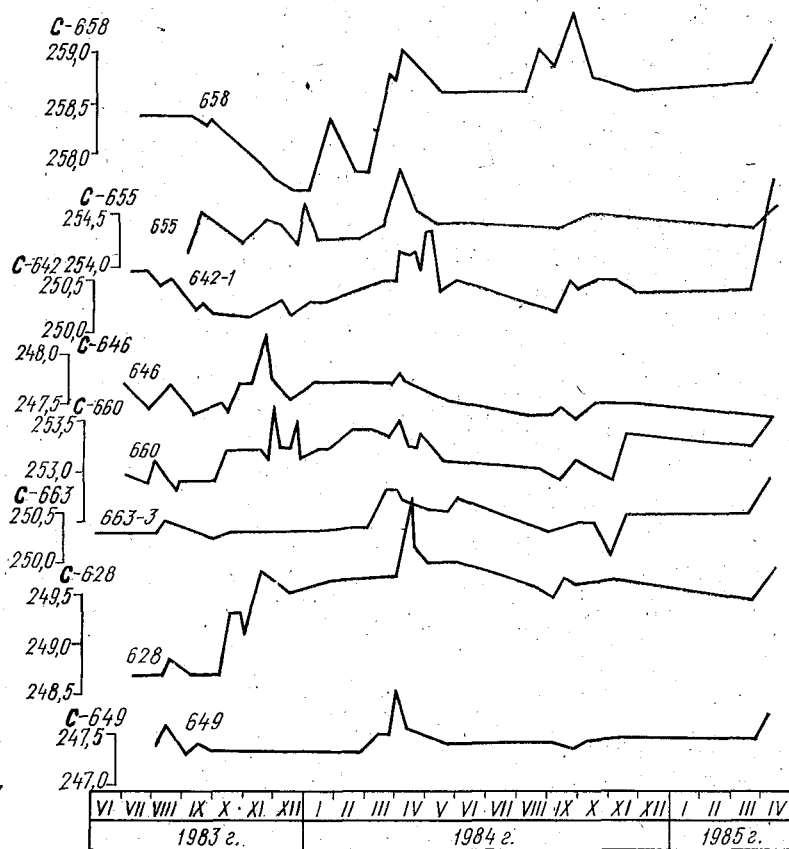
Общее направление подземного потока с юга на север в сторону основной дрены — небольшой речки, протекающей по северной границе промплощадки. Поток усложнен наличием купола грунтовых вод на участке шламонакопителя и прилегающих к нему отвалов фосфогипса.

В настоящее время на большей части площади (45 %) грунтовые воды залегают близко к поверхности на глубине менее 2-х метров; на 40 % площади — от 2-х до 3-х метров; на остальной части площади — глубже 3-х метров.

Проведенные режимные наблюдения на специально оборудованной сети скважин позволили установить связь между ходом уровня грунтовых вод и атмосферными осадками, с одной стороны, и с различными техногенными режимообразующими факторами, — с другой. Кривые колебаний уровня грунтовых вод (рис. 1) показывают, что практически все наблюдательные скважины реагируют на интенсивное (34—43 мм) выпадение атмосферных осадков подъемом уровня. Причем, чем ближе к поверхности залегают грунтовые воды, тем больше амплитуда их подъема: при глубине залегания до 1 м амплитуда составляла 0,25—0,4 м; при глубине от 1 до 2 м — от 0,05 до 0,35 м; при глубине от 2 до 3 м — от 0,05 до 0,2 м; при глубине залегания грунтовых вод более 3 м — от 0,05 до 0,15. По всем скважинам отмечается также пик весеннего подъема, связанный с инфильтрацией талых вод.

На фоне колебания уровней грунтовых вод, вызванного метеорологическими факторами, в ряде случаев четко прослеживается зависимость режима от техногенных факторов. Например, скв. 663-3, находящаяся вблизи ТЭЦ и градирни, испытала на себе влияние сетей промканализации и технической воды в августе 1983 г. и мае 1984 г. (рис. 1), когда вода затопляла котлован у стенки градирни и распространялась по поверхности. На графике хода уровня в скв. 655 сказались потери из хозяйственной канализации в начале сентября и в ноябре 1983 г.

Фильтрация из трубопровода условно-чистых вод, ведущего к сбросному коллектору, вблизи скв. 646 привела к подъему уровня грунтовых вод в ноябре 1983 г. на 0,57 м. Скв. 656 находится в нескольких метрах от стенки строительного котлована;



Графики колебания уровня грунтовых вод на промплощадке.

периодически затопляемого водой, но изолирована от него непроницаемой шпунтовой стенкой, и гидравлическая связь между уровнем воды в котловане и грунтовыми водами имеет место только на уровне дна котлована. Это несколько снижает дренажное действие откачек из котлована на грунтовые воды. С 12 сентября по 19 октября по скв. 656 происходило постоянное падение уровня, связанное с откачкой.

Подобных примеров можно привести очень много. На рисунке представлены графики хода уровня грунтовых вод в скважинах, находящихся под воздействием различных техногенных режимов

образующих факторов. Только скв. 649 в северо-восточном углу промплощадки, удаленная от коммуникаций и водоемких производств, имеет спокойный график, где пики вызваны только метеорологическими факторами.

За два года наблюдений по большинству скважин произошел подъем грунтовых вод на 0,1—0,3 м, иногда (скв. 628) до 0,8 м.

Как показал анализ результатов режимных наблюдений, на промплощадке за 1983—1984 гг. имеются интенсивно действующие факторы, связанные с производством и приводящие к подъему грунтовых вод к поверхности. К ним относятся:

- а) потери из водонесущих и проточных линейных коммуникаций;
- б) потери на фильтрацию на площадях различных водоемких производств и водозаборных сооружений;
- в) потери промывочных вод;
- г) фильтрация из шламонакопителя;
- д) накопление поверхностных вод в строительных котлованах.

Кроме перечисленных основных факторов, определенное значение для подъема грунтовых вод имеет уменьшение испарения под зданиями и сооружениями, на площадках, покрытых бетоном и асфальтом, а также увеличение инфильтрации атмосферных осадков и талых вод в грунтах обратных засыпок.

Противоположно направленное воздействие оказывают от качки воды строительных котлованов.

Все перечисленные факторы для каждой точки площадки можно разделить на действующие постоянно, периодически и эпизодически. Однако для промплощадки в целом в многолетнем разрезе они складываются в процесс постоянного пополнения запасов грунтовых вод, ведущий к подъему грунтовых вод к поверхности, а иногда и к подтоплению отдельных зданий и сооружений.

По мере развития предприятия, ввода в действие все новых производств и расширения старых, воздействие техногенных факторов на режим грунтовых вод усиливается и последний все меньше зависит от естественных факторов и все больше — от производственной деятельности. Так, с 1962 г. по 1984 г. в связи с расширением производства на всей площади промплощадки значительно возросла степень воздействия техногенных факторов на режим грунтовых вод и, как следствие этого, произошел подъем грунтовых вод. На 64% площади подъем составил от 0 до 3 м; на 29% — от 3 до 5 м и на 3% — более 5 м. Максимальный подъем характерен для участков создания наиболее водоемких производств (станции нейтрализации и т. п.).

Подъем около 3 м произошел на площадях, примыкающих к шламонакопителю и на сформировавшихся отвалах фосфогипса. Интересно отметить, что имеется только один участок в центре промплощадки, где за эти годы произошло снижение

уровня грунтовых вод (около 1 м), что связано с ликвидацией находившегося здесь ранее отстойника.

Факторы, оказывающие определяющее влияние на уровеньный режим техногенных грунтовых вод, одновременно формируют их гидрохимический режим. В настоящее время на промплощадке распространены грунтовые воды весьма пестрого химического состава. Наибольшее распространение имеют нейтральные или слабо-кислые сульфатные, реже хлоридно-сульфатные кальциево-натриевые* и натриево-кальциевые, а также нейтральные гидрокарбонатно-сульфатные натриево- и магниевые-кальциевые воды. Среди сульфатного типа встречаются кислые и сверхкислые железистые, кальциево-железистые, железисто-натриевые и железисто-аммонийные воды. Из специфических по составу грунтовых вод необходимо указать на наличие кислых фосфатно-сульфатных и сульфатно-фосфатных натриевых вод.

Встречаемость различных типов в зависимости от интервалов минерализации приведена в табл. 1. Наиболее минерализо-

Таблица 1

Встречаемость различных химических типов (по анионам) на промплощадке

№ п/п	Химический тип грунтовых вод	Количество анализов	Количество анализов по интервалам минерализации, г/л					
			<1	1-3	3-5	5-10	10-50	50-100
1	Сульфатный	52	—	4	16	18	12	2
2	Хлоридно-сульфатный	28	—	1	1	21	5	—
3	Гидрокарбонатно-сульфатный	24	2	11	6	5	—	—
4	Сульфатно-хлоридный	6	—	—	2	3	1	—
5	Фосфатно-сульфатный или фосфатно-хлоридно-сульфатный	5	—	—	—	1	4	—
6	Сульфатно-или гидрокарбонатно-фосфатный	2	—	—	—	1	1	—
7	Сульфатно-гидрокарбонатный	4	3	1	—	—	—	—
Общее количество анализов		121	5	17	25	49	23	2
Тоже в %		100	4	14	21	40	19	2

ванные, зачастую кислые, воды распространены в южной половине промплощадки (участок производства серной кислоты) и в северо-западном углу в районе отвалов фосфогипса и шламо-накопителя. Здесь же наблюдаются высокие концентрации специфических для предприятий компонентов (сульфатов, хлоридов, фторидов, аммония, железа, нитратов и фосфатов). Другие участки наиболее измененных грунтовых вод приурочены к складам сырья и химотходов, станции нейтрализации, производству фосфоросодержащих продуктов и т. п. Типовые анализы грунтовых вод приведены в табл. 2.

* Здесь и далее в названии химических типов преобладающий ион стоит на последнем месте.

№ точки	Сухой остаток, г/л	рН	Содержание, мг/л			
			SO_4^{2-}	Cl^-	F^-	NH_4^+
562	64,6	2,2	24200	1127	314	134
657	13,0	2,2	7724	отс.	7	19
659	—	0,8	130000	103	55	—
640	23,0	7,3	3942	2482	32	8
641	—	4,2	4785	471	25	27
568	7,8	6,5	4574	141	19	1100
576	19,6	5,2	10876	230	29	880
655	23,1	4,6	15288	отс.	95	1817
633	29,5	2,8	15392	256	отс.	896
633-н1	63,5	2,0	—	50	1	988
581	14,5	5,3	5306	828	11	100
612	21,8	4,3	5730	157	213	351
647	17,1	6,6	2820	851	3	42

Анализ изменения химического состава грунтовых вод по площади позволил установить прямую связь высоких содержаний специфических компонентов с наличием различных источников увеличения их концентрации, таких как зоны прорывов сетей промстоков, участки складирования химотходов и сырья, шламонакопитель и т. д. Помимо этих основных источников формирования состава техногенных грунтовых вод действуют и другие факторы. Например, широкое распространение имеют просыпи и рассеивание химического сырья и отходов на поверхности при транспортировке и погрузочно-разгрузочных операциях. Немаловажное значение имеет выпадение атмосферной пыли, пыли сырья, готового продукта и отходов производства, продуктов окисления и гидратации газообразных выбросов. На рассматриваемой промплощадке заметное влияние на грунтовые воды оказывают также засоленные техногенные грунты зоны аэрации, в состав которых, как отмечалось выше, входят различные отходы химпроизводства. Это подтверждают данные полных химических анализов водных вытяжек из грунтов.

Грунтовые воды нижней части гидрогеологического разреза, более удаленные от источников поступления специфических компонентов, чем приповерхностные, изучены в семи точках промплощадки. Здесь проводился послойный отбор проб воды. Установлено, что в нижней части разреза распространены, в основном, сульфатные натриево-кальциевые или хлоридно-сульфатные магниевые-кальциевые или натриевые воды, реже гидрокарбонатно-сульфатные натриево-кальциевые воды. Минерализация их колеблется от 3,1 до 12,7 г/л. В нижней части разреза воды в целом более пресные, чем сверху: вероятность встречи

Таблица 2

техногенных грунтовых вод

Содержание, мг/л			Примечание
NO_3^-	$\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$	
138	124	2520	Зона производства и складов серной кислоты
193	отс.	984	
—	—	18156	
6	1822	—	Станция нейтрализации и зона производства фосфоросодержащих продуктов
—	отс.	652	
3	отс.	отс.	Склады суперфосфата и апатитового сырья
отс.	отс.	2900	Участок прорывов промстоков в районе ГО
отс.	отс.	1865	
отс.	186	2926	Отвалы серы
отс.	871	8	
138	1270	отс.	Отвалы фосфогипса
40	3030	540	
8	2679	—	

соленых вод с минерализацией свыше 10 г/л в верхней части разреза составляет 21%, в нижней — 9%. Аналогично изменяется и концентрация специфических компонентов — фторидов, фосфатов, нитратов и аммония.

Такая вертикальная зональность, характерная для большей части площадки, связана с интенсивным приносом специфических компонентов в верхнюю часть разреза. Процесс гравитационного перемещения более минерализованных растворов сверху вниз находится в начальной стадии.

Анализ изменения химического состава техногенных грунтовых вод во времени позволяет сделать выводы, что по мере развития производства факторы преобразования их состава, перечисленные выше, оказывают все более интенсивное воздействие. Нынешняя гидрохимическая обстановка на площадке является следствием постепенного изменения соотношения естественных и техногенных режимообразующих факторов в сторону резкого преобладания последних.

Имеющиеся данные позволяют сопоставить состав грунтовых вод тридцатилетней давности и опробование 1976 г. с нынешней гидрохимической обстановкой. Для сравнения отобраны те точки отбора, для которых удалось найти аналоги, удаленные не более чем на 20—40 м (табл. 3). За последние три десятилетия в центральной и южной частях промплощадки минерализация техногенных грунтовых вод и содержание сульфатов и хлоридов возросли приблизительно в пять раз, а железа и аммония — в сотни раз. С 1976 года в северо-восточной части промплощадки и в центре минерализация возросла почти в два раза, кон-

Многолетнее изменение химиче

Период исследований, годы	Число проб	Минерализация, г/л	Содержа-	
			SO ₄ ²⁻	
1951—1961	9	$\frac{1,0-5,0}{2,9}$	$\frac{432-1646}{1062}$	
1982—1984	9	$\frac{4,6-29,5}{15,6}$	$\frac{1501-15392}{5378}$	
1976	19	$\frac{3,4-9,8}{6,4}$	$\frac{1551-4530}{2378}$	
1982—1984	14	$\frac{3,0-35,1}{11,1}$	$\frac{1104-11151}{3739}$	

Примечание. Числитель — пределы колебания значений, знаменатель —

центрация сульфатов — в полтора раза, а остальных специфических компонентов, за исключением хлора, — в 6—100 раз. Все это указывает на увеличение интенсивности изменения состава рассматриваемых вод во времени и на необходимость проведения дополнительных природоохранных мероприятий. В их число входят:

а) создание замкнутых систем водоснабжения (осуществляется в настоящее время);

б) внедрение производств с бессточной технологией или с минимальным количеством сточных вод и других отходов;

в) совершенствование очистки сточных вод (особенно от фторидов);

г) изоляция коммуникаций сточных вод;

д) реконструкция шламонакопителя;

е) ликвидация или очистка газо-дымовых выбросов;

ж) оборудование открытых площадок хранения сырья и отходов водонепроницаемым основанием и защитными бортиками для предотвращения растекания фильтрующихся через них атмосферных осадков;

з) усовершенствование систем транспортировки и погрузочно-разгрузочных работ с целью ликвидации просыпов и рассеивания химического сырья и продукции.

Наиболее кардинальным методом улучшения режима и охраны подземных вод явилось бы осуществление вышеперечисленных мероприятий, а также мер по уменьшению фильтрационных потерь из коммуникаций, проведенное одновременно со строительством водопонижительной дренажной системы. Дренажные грунтовые воды после их очистки должны поступать в водооборотную систему. Запроектированный и строящийся в насто-

ского состава грунтовых вод

ние ионов в мг/л				
Cl ⁻	F ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻ + HPO ₄ ²⁻	Fe ²⁺ + Fe ³⁺	MN ₄ ⁺
$\frac{55-944}{435}$	—	—	$\frac{0-0,3}{0,2}$	$\frac{0-0,5}{0,3}$
$\frac{178-8840}{3277}$	—	—	$\frac{1,5-271}{58,7}$	$\frac{0,5-896}{325}$
$\frac{73-2976}{947}$	$\frac{0,3-7,8}{3,6}$	$\frac{0-580}{83}$	$\frac{0-0,1}{0,06}$	$\frac{0-20,8}{6,8}$
$\frac{23-1126}{459}$	$\frac{4,9-213}{24,9}$	$\frac{0-28601}{4189}$	$\frac{0-540}{73,2}$	$\frac{0,7-351}{54,0}$

среднее значение.

ящее время дренаж и предусматривает отведение дренажных вод на станцию нейтрализации и оттуда возвращение их в производственный цикл.

Таким образом, для промплощадки в целом, ввиду неоднородного характера застройки и размещения по площади водоемких производств, характерна различная степень участия основных факторов формирования уровня и химического режима грунтовых вод, что определило неравномерную величину подъема уровня грунтовых вод и степень изменения их качества по площади.

СООБЩЕНИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ЛГМИ

УДК 631.671

И. Б. ЛИСОВСКИЙ (ЛГМИ)

ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ ПОЛИВНОЙ ВОДЫ ПО ЭТАПАМ ВЕГЕТАЦИОННОГО ЦИКЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Работа посвящена вопросу расчета наиболее рационального распределения ресурсов поливной воды на сельскохозяйственных полях в условиях ее дефицита. Под последними понимаются такие условия, когда посевы не могут быть полностью обеспечены водой в течение всего вегетационного периода.

Для решения сформулированной задачи построена относительно простая модель продукционного процесса, в общем случае имеющая вид

$$y(i) = \sum_{i=1}^{i=i} [\Delta y_0(i) - \Delta y(i)], \quad (1)$$

$$\Delta y(i) = g_1(i) g_2(i, k_i) y_0(i), \quad (2)$$

где $y(i)$ — вид на урожай в конце i -го межфазного периода; $\Delta y_0(i)$ — максимальный прирост $y(i)$ за i -й период при оптимальных условиях увлажнения; $\Delta y(i)$ — потери от недополива в i -й период; $g_1(i)$ — функция, характеризующая значимость данного этапа i в процессе формирования урожая;

$$y_0(i) = \sum_{i=1}^{i=i} \Delta y_0(i). \quad (3)$$

После идентификации параметров модель оказалась пригодной для приближенной оценки потерь продуктивности, возникающих как следствие недополивов. Ретроспективная оценка указанных потерь для озимой и яровой пшениц позволила построить расчетные графики зависимости относительной величины ущерба от относительного недополива в каждый из выбранных межфазных периодов. Важным результатом при этом является выявившаяся линейность указанных зависимостей. Оказалось, что максимальный ущерб от недополивов, достигающий 15—20% от конечного урожая, имеет место в критические периоды развития посевов.

Таким образом, полученные расчетные зависимости позволяют приближенно оценивать влияние недостатка влаги на продуктивность, однако не позволяют количественно решить вопрос об оптимальном водораспределении ресурсов поливной воды по этапам развития культур. Для этой цели разработана система неравенств, отражающая основные ограничения задачи. Поскольку все зависимости оказались близкими к линейным, то в качестве математического аппарата при решении системы использован симплексный метод линейного программирования.

Ретроспективная оценка режимов использования поливной воды на конкретных полях за ряд лет выявила, что имевшее место распределение воды в ряде случаев было не оптимальным. Так, по проведенным расчетам перераспределение водных ресурсов, согласно предложенной в работе схеме, приводит в среднем к 10—15%-ному увеличению продуктивности при сохранении общего объема поливной воды.

Кроме того, расчеты по предложенной схеме позволяют оценить обеспеченные значения водопотребности в каждый из межфазных периодов что, в свою очередь, позволяет обоснованно подойти к выбору мощности оросительной системы.

УДК 556.553.3

А. В. ЛУБЯНОЙ (ЛГМИ)

ВЛИЯНИЕ АЗОНАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ВОДООБМЕН ОЗЕР

На уловенный, химический и термический режим водоемов большое влияние оказывает интенсивность водообмена. В работе рассматривается наиболее применяемый показатель водообмена — коэффициент водообмена по притоку

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{W_{\text{пр}} + W_{\text{ос}}}{W_0},$$

где $W_{\text{пр}}$ — поверхностный приток воды в озеро; $W_{\text{ос}}$ — осадки, выпадающие на зеркало озера; W_0 — объем водной массы водоема.

Исследуемые озера (более 100 объектов) расположены как в зоне избыточного, так и недостаточного увлажнения. Для сравнения водоемов, различных по размерам, использована величина удельного водосбора

$$K_{\text{в}} = \frac{F_{\text{в}}}{F_{\text{оз}}},$$

где $F_{\text{в}}$ — площадь водосбора; $F_{\text{оз}}$ — площадь зеркала озера.

С целью выяснения вида зависимости преобразуем уравнение водного баланса за многолетний период (без учета подземного притока). Нормировав его на площадь зеркала озера, получим

$$\alpha_{\text{пр}} = Y \frac{K_{\text{в}}}{H} + \frac{X}{H},$$

где Y — слой стока с водосбора озера; X — слой осадков на зеркало водоема; H — средняя глубина озера.

Для достаточно большого района (Северо-Запад ЕТС, Дальневосточный край, Сибирско-Казахстанская лесостепь, Кустанайская область и др.) подбирались параметры уравнения зависимости коэффициента водообмена от азональных факторов — удельного водосбора и средней глубины озера. Теснота связи оценивалась коэффициентом корреляции, который во всех случаях был больше 0,95. Тангенс угла наклона прямой $\alpha_{\text{пр}} = f\left(\frac{K_{\text{в}}}{H}\right)$ пропорционален слою стока, а свободный член — слою осадков, осредненных по соответствующему району. Для Северо-Запада ЕТС

$$\alpha_{\text{пр}} = 0,32 \frac{K_{\text{в}}}{H} + 0,13.$$

Была исследована редукция водообмена в зависимости от абсолютных размеров водоема.

После выделения внутри района подрайонов, объединяющих сходные по происхождению озера (для Северо-Запада ЕТС), были получены зависимости, позволяющие определять водообмен по картографическим материалам.

СОДЕРЖАНИЕ

А. М. Владимиров, В. С. Дружинин, И. И. Паринов, М. В. Паролов. Пространственно-временная изменчивость минимального стока рек ЕТС в летне-осенний сезон	3
И. Ф. Горошков, В. М. Сакович. Влияние озер на минимальный летне-осенний сток	10
А. М. Владимиров, Ф. А. Иманов. Расчет минимального стока горных рек	15
В. С. Дружинин. Проектирование гидрографов весеннего половодья на малых водотоках зоны недостаточного увлажнения СССР	25
Н. Н. Соловьева, Хонг Сен Зин. Расчет максимальных расходов дождевых паводков рек КНДР	31
В. Г. Орлов, А. Е. Серяков. Анализ устойчивости параметров редуccionной формулы максимального дождевого стока (на примере рек Сахалина)	36
С. С. Сресели. Условия формирования и прохождения опасных дождевых паводков на малых реках Зугдидского района Грузинской ССР	40
Н. Н. Соловьева, Хонг Сен Зин. Учет потерь и времени добегания в расчетах максимального стока (на примере КНДР)	44
Ковач Шандор. Моделирование пикового режима гидроузла Кишкёре на р. Тисса (ВНР)	49
А. А. Самохин, А. М. Стасюк. Влияние географических факторов на изменчивость годового стока рек равнинной части ЕТС	53
А. П. Копылов, А. Б. Заводчиков. К вопросу составления гидрологических карт	57
Г. С. Арсеньев, Ли Ги Су. Обобщенные номограммы для определения степени зарегулированности и использования стока рек КНДР	64
Б. С. Устюжанин, Н. В. Сакович. Использование эмпирических кривых распределения стока для оценки антропогенных изменений гидрологического режима рек	68
Г. А. Плиткин, Г. А. Любимов, В. А. Костина, А. А. Кулева. Многолетние колебания и особенности методики расчета ресурсов речного стока районов первоочередного хозяйственного освоения Казахстана и Сибири	73
Г. С. Арсеньев, В. А. Котельников. Влияние перераспределения стока северных рек на водный режим Онежского озера и р. Свири	79
А. М. Догановский, Е. С. Гинзбург. Исследование характеристик серий высокого и низкого стояния уровней воды в озерах	82
А. М. Догановский. Анализ автокорреляционных функций рядов среднегодовых уровней озер	87
С. Д. Винников. К построению обобщенных графиков уровней и расходов воды	93
В. Н. Прудников, Н. Ф. Рудченко. Структура и подледное течение в механотермических задачах кинематики соленого и пресного льда	97
Ю. М. Георгиевский, В. А. Шелутко, В. Г. Гвоздева. Прогноз ха-	

рактистических уровней режима в низовьях рек Обь и Иртыш для нужд рыбного хозяйства	101
Ю. М. Георгиевский. Долгосрочный прогноз среднегодовых уров- ней воды р. Обь у г. Салехарда и р. Иртыш у г. Ханты-Мансийска	108
Т. Н. Юровская. Охрана малых рек от стока с мелиорируемых земель	111
О. Г. Воробьев, О. С. Воробьева. Экспедиционная оценка качества вод малых и средних рек	115
Г. И. Климов. Методика предварительной оценки качества грунто- вых вод на территориях промышленных предприятий	120
Г. И. Климов, К. К. Хазанович, В. Б. Сапожников, И. Н. Сенина. Химический состав техногенных грунтовых вод на участке захороне- ния пиритных огарков	123
Ю. Г. Юровский. Изменение состава акватории в области разгруз- ки подземных вод	130
И. В. Болотникова, Н. Е. Рымаренко, С. Р. Усманова. Гидрогео- химические особенности Пинежского карста	136
И. Б. Барышников, С. Л. Галактионов. Влияние мостовых перехо- дов на гидравлику потоков в руслах с поймами (на примере рек Даль- него Востока)	141
Г. Н. Угренников, Е. И. Седов, М. Н. Барышникова. Оценка времен- ной однородности гидрологических данных при скользящих границах разрезки рядов наблюдений	146
И. В. Болотникова, И. К. Нежданова, Ю. П. Суетин. Влияние ка- чества снегового покрова на природные воды города	149
О. Г. Воробьев. Изменение уровня и химического режима грунтовых вод в процессе эксплуатации химического предприятия	153
Сообщения молодых ученых ЛГМИ	
И. Б. Лисовский. Оценка рационального распределения ограничен- ных ресурсов поливной воды по этапам вегетационного цикла сель- скохозяйственных культур	161
А. В. Лубяной. Влияние азональных факторов на водообмен озер	162

УДК 556.167

Пространственно-временная изменчивость минимального стока рек ЕТС в летне-осенний сезон. Владимиров А. М., Дружинин В. С., Паринов И. И., Паролов М. В. Межвузовский сборник «Вопросы гидрологических расчетов и охрана природных вод», изд. ЛПИ, 1986, вып. 94, с. 3—10. (ЛГМИ).

Произведен статистический анализ структуры рядов минимальных летне-осенних среднесуточных расходов воды на Европейской территории СССР.

Илл. 1. Библ. 3.

УДК 556.048

Влияние озер на минимальный летне-осенний сток. Горошков И. Ф., Сакович В. М. Межвузовский сборник «Вопросы гидрологических расчетов и охрана природных вод», изд. ЛПИ, 1986, вып. 94, с. 10—15. (ЛГМИ).

На примере рек Карелии и северо-запада ЕТС исследовалось влияние озерного регулирования на величину минимального летне-осеннего стока с целью выявления возможностей количественной оценки этого влияния.

Табл. 1. Илл. 3. Библ. 7.

УДК 556.048

Расчет минимального стока горных рек. Владимиров А. М., Иманов Ф. А. Межвузовский сборник «Вопросы гидрологических расчетов и охрана природных вод», изд. ЛПИ, 1986, вып. 94, с. 15—25. (ЛГМИ).

Произведено районирование территории Восточного Кавказа и Карпат по условиям формирования минимального летне-осеннего и зимнего стока. Применительно выделенным районам разработана расчетная схема для определения минимального стока неизученных рек, в основе которых лежит использование зависимости минимальных расходов воды от площади водосбора реки.

Для определения минимальных 10-суточных и месячных летне-осенних и зимних расходов воды различной обеспеченности (75, 80, 90, 95 и 97%) неизученных рек установлены переходные коэффициенты от стока 85%-ной обеспеченности. Последние могут быть получены по районным зависимостям от площади водосбора или же от нормы минимального стока.

Табл. 4. Илл. 3. Библ. 5.

УДК 556.16.047

Проектирование гидрографов весеннего половодья на малых водотоках зоны недостаточного увлажнения СССР. Дружинин В. С. Межвузовский сборник «Вопросы гидрологических расчетов и охрана природных вод», изд. ЛПИ, 1986, вып. 94, с. 25—31. (ЛГМИ).

В работе излагается методика моделирования гидрографов весеннего половодья на малых водотоках с внутрисуточным ходом стока. Основные па-