

МЕТОДИКА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ВЕСЕННЕГО ПРИТОКА
ВОДЫ К КАСКАДУ ВЕРХНЕТОБОЛЬСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Канд. геогр. наук И. И. Скоцеляс

Изложена методика прогноза весеннего притока воды к каскаду Верхнетобольских водохранилищ, основанная на использовании уравнения водного баланса основной зоны формирования стока и дополнительном учете стока с прикаскадной части бассейна р.Тобол, а также влияния хозяйственной деятельности на приток воды.

С целью регулирования речного стока для нужд орошения, бытового и промышленного водоснабжения на р.Тобол в 1959-1971 годах создан каскад Верхнетобольских водохранилищ - Верхнетобольское, Кылжарское, Каратомарское, Сергеевское, Амангельдинское. Общая площадь их зеркала равна 189 км^2 , полная проектная емкость - 1423 млн м^3 , полезная - 1361 млн м^3 . Наибольшими являются Верхнетобольское (площадь $87,4 \text{ км}^2$, полный объем 817 млн м^3) и Каратомарское (площадь $94,0 \text{ км}^2$, полный объем 586 млн м^3) водохранилища.

Для эффективного использования каскада водохранилищ необходимы прогнозы притока воды в него, по возможности, с наибольшей заблаговременностью. Такие прогнозы позволяют составлять предлагаемая методика, базирующаяся на уравнении водного баланса основной зоны формирования стока, состоящей из бассейнов р.Тобол до с.Гришенка и р.Аят до с.Варваринка, и на дополнительном учете стока с территории, примыкающей к водохранилищам ниже упомянутых створов. Последняя далее условно называется прикаскадной частью бассейна.

Уравнение водного баланса основной зоны формирования стока можно представить в следующем виде:

$$Y_c = X_c - P_c, \quad (1)$$

где Y_c - слой стока с зоны в каскад водохранилищ (приток воды), мм; X_c - поступление воды на поверхность зоны, мм; P_c - потери воды в зоне, мм.

Поступление воды на поверхность зоны для прогнозирования притока воды к каскаду водохранилищ принято равным сумме снегозапасов на конец февраля (S) и средней многолетней величины атмосферных осадков за период заблаговременности прогноза (\bar{X}), т.е. с 1 марта до даты окончания весеннего половодья на реках Тобол и Аят. Для определения потерь установлены зависимости их в бассейнах р.Тобол до с.Гришенка и р.Аят до с.Варваринка от поступления воды ($S + X$) и дефицита влагозапасов в метровом слое почвогрунтов (D). Вид этих зависимостей следующий:

$$P = A (S + X) D^n, \quad (2)$$

где все переменные выражены в мм, а A и n - параметры. С учетом (2) и отдельного расчета $S + \bar{X}$ и P для упомянутых двух бассейнов уравнение (1) окончательно можно записать как

$$Y_c = \sum_{i=1}^2 [(S_i + \bar{X}_i) (1 - A_i \cdot D_i) f_i]. \quad (3)$$

Значения параметров A и n , относительной площади f , приходящейся на i -й бассейн, и средних многолетних сумм осадков за период заблаговременности прогноза \bar{X} , входящих в (3), приведены в табл.1.

Слой стока со всего бассейна (Y), замыкаемого контуром водохранилищ, можно получить как

$$Y = \frac{W_c + W_{пч}}{F} \cdot 10^3 \text{ мм}, \quad (4)$$

а объем притока воды к каскаду водохранилищ (W) - по формуле

$$W = Y \cdot F \cdot 10^{-3} \text{ млн м}^3, \quad (5)$$

где $W_c = Y_c \cdot F_c \cdot 10^{-3}$ - суммарный объем стока с бассейнов р.Тобол до с.Гришенка и р.Аят до с.Варваринка, млн м³; $F_c = 23,7$ тыс.км² - суммарная площадь этих бассейнов; $W_{пч}$ - объем стока с прикаскадной части бассейна, млн м³; $F = 44,6$ тыс. км² - площадь всего бассейна. При этом, для определения $W_{пч}$ можно рекомендовать выражение

$$W_{пч} = 0,11 W_c + 16,7. \quad (6)$$

Таблица 1

Значения A , n , f и \bar{X} для бассейнов р.Тобол до с.Гришенка и р.Аят до с.Варваринка

Бассейн	A	n	f	\bar{X}
Река Тобол до с.Гришенка	0,0134	0,85	0,435	37,7
Река Аят до с.Варваринка	0,0520	0,63	0,565	35,0

Приведенные выражения (3) - (6) позволяют прогнозировать приток воды к каскаду Верхнетобольских водохранилищ за период весеннего половодья для случая несущественного влияния хозяйственной деятельности на формирование стока. Однако, в бассейне Верхнего Тобола, где расположен каскад водохранилищ, антропогенные изменения стока значительные. Поэтому при прогнозировании весеннего притока воды к каскаду водохранилищ необходимо учитывать и эти изменения.

Для получения величин притока в нарушенных хозяйственной деятельностью условиях можно использовать уравнение

$$W_6 = W - W_{ак} - W_{пр} - W_{в} - W_{е} - W_{п}, \quad (7)$$

где W_6 - весенний приток воды к каскаду водохранилищ в изменившихся условиях, млн m^3 ; W - прогнозируемый объем естественного притока воды к каскаду водохранилищ, млн m^3 ; $W_{ак}$ - суммарная аккумуляция воды в период весеннего половодья в Брединском, Желкуарском и Верхнешортандинском водохранилищах, млн m^3 ; $W_{пр}$ - уменьшение весеннего стока в результате задержания воды в прудах, копанях, прудо-копанях и небольших водохранилищах, млн m^3 ; W_B - суммарный водозабор из Брединского, Желкуарского и Верхнешортандинского водохранилищ, млн m^3 ; W_e - объем дополнительного испарения с водной поверхности этих же водохранилищ, млн m^3 ; W_n - изменение стока вследствие распаханности земель, млн m^3 .

Для определения составляющих $W_{ак}$, $W_{пр}$, W_n уравнения (7) предлагаются следующие выражения:

$$W_{ак} = 0,84 (36,9 - W_{ж.н})^{1,23} + 0,62, \quad (8)$$

$$W_{пр} = \sum_{i=1}^3 (K_c \cdot W_{д. i}), \quad (9)$$

$$W_n = \sum_{i=1}^3 (K_i \cdot W_i \cdot f_{п. i}), \quad (10)$$

где $W_{ж.н}$ - объем воды в Желкуарском водохранилище перед началом весеннего половодья, млн m^3 ; i - индекс частного бассейна (р.Тобол до с.Гришенка, р.Аят до с.Варваринка, прикаскадная часть); K_c и $W_{д}$ - соответственно коэффициент сработки и суммарный объем воды (млн m^3), задерживаемый в прудах и других малых искусственных водоемах; K - коэффициент, учитывающий изменение стока при полной распашке водосбора на глубину не менее 0,25 м; W - естественный сток, млн m^3 ; f_n - доля распаханых земель.

По данным организаций, занимающихся учетом использования водных и земельных ресурсов, уста-

равку, равную 3 мм. Это объясняется возможностью систематической погрешности определения снеговзапасов даже при наибольшем количестве пунктов наблюдений за снежным покровом, одновременно существовавших в бассейне.

Необходимые данные об осеннем увлажнении почвогрунтов и его дефиците можно получить путем моделирования влагозапасов, приняв за основу модель, разработанную В.В.Голубцовым и В.И.Ли [2]. Несколько иначе, чем в начальном варианте модели, предлагается учитывать только влияние нестационарности процесса транспирации на испаряемость с поверхности суши. Сущность предложения состоит в том, что, согласно [1], динамика вегетации растений связана с накоплением не обычных, а эффективных температур воздуха (биологическое время) и с изменением влагозапасов в почвогрунтах. В связи с этим параметр, характеризующий нестационарность процесса транспирации (γ) определяется с помощью следующих выражений:

при $\Sigma T \leq \Sigma T_{\text{нв}}$ (период, предшествующий началу вегетации растений)

$$\gamma = \gamma_0 \frac{\Sigma T}{\Sigma T_{\text{нв}}} ; \quad (13)$$

при $\Sigma T > \Sigma T_{\text{нв}}$ и $\Sigma T_{\text{кр}} = 0$ °С (период роста растений)

$$\gamma_n = \gamma_{n-1} + 0,001 A_p (\Sigma T_{\text{эф. n}} - \Sigma T_{\text{эф. n-1}}) ; \quad (14)$$

при $\Sigma T_{\text{кр}} > 0$ °С (период старения растений)

$$\gamma_n = \gamma_{n-1} - 0,01 A_c \left(1 - \frac{W_{n-1}}{W_n}\right) , \quad (15)$$

где ΣT - накопленная сумма среднесуточных температур воздуха до текущих суток включительно, °С;

$\Sigma T_{\text{нв}}$ - минимальная сумма среднесуточных температур воздуха, необходимая для начала вегетации, $^{\circ}\text{C}$; γ_0 - параметр γ в начале вегетации растений; $\Sigma T_{\text{кр}}$ - сумма среднесуточных температур воздуха на дату, когда $\gamma=1$ (вначале задается равной нулю), $^{\circ}\text{C}$; γ_n и γ_{n-1} - соответственно параметр γ в текущие и предшествующие сутки; A_p -параметр, характеризующий увеличение γ при изменении суммы эффективных температур воздуха на 1°C в период роста растений; $\Sigma T_{\text{эф. n}}$, $\Sigma T_{\text{эф. n-1}}$ - суммы эффективных температур воздуха в текущие и предшествующие сутки, $^{\circ}\text{C}$; A_c - параметр, характеризующий уменьшение γ при изменении влагозапасов в почвогрунтах на 1 мм в период старения растений; W_{n-1} - продуктивные влагозапасы в почвогрунтах в предшествующие сутки, мм ; W_n - продуктивные влагозапасы ($W_{\text{нв}} - W_{\text{з}}$) в почвогрунтах при наименьшей (полевой) влагоемкости, мм ; $W_{\text{нв}}$ - наименьшая влагоемкость, мм ; $W_{\text{з}}$ - влажность завядания, мм .

Изменение параметра γ при расчете его с помощью выражений (13) - (15) ограничивается в пределах от 0 до 1. Сумма эффективных температур воздуха на текущие сутки рассчитывается:

при $T > T_0$

$$\Sigma T_{\text{эф. n}} = \Sigma T_{\text{эф. n-1}} + (T - T_0) \frac{W_{n-1}}{W_n}, \quad (16)$$

при $T < T_0$

$$\Sigma T_{\text{эф. n}} = \Sigma T_{\text{эф. n-1}}, \quad (17)$$

где T - среднесуточная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; T_0 - минимальная среднесуточная температура воздуха, при которой возможна вегетация растений (биологический ноль), $^{\circ}\text{C}$.

Исходной информацией для моделирования влагозапасов в почвогрунтах являются среднесуточные

ножества узлов. Как правило, в приложениях с графовой структурой связывается некоторая производная от нее дополнительная информация, которую можно назвать надстройкой. Это может быть язык, функция, множество путей, поведение в некотором смысле и т.д., и сеть рассматривается не сама по себе, а вместе с этой надстройкой. Сети Петри, или сети "позиций-переходов", были введены для описания управления в асинхронных и параллельных системах [7]. В сети $N = (P, T, F, H)$ конечное множество узлов разбито на два подмножества P и T . Узлы из P называются позициями, узлы из T - переходами. Функции F и H указывают для каждого перехода $t \in T$ подмножества мест, непосредственно связанных с ним стрелками: $F(t)$ - множество входных позиций перехода t , из которых стрелки входят в t , $H(t)$ - множество выходных позиций, в которые стрелки выходят из t .

В дальнейшем графически будем представлять элементы P кружочками, элементы T - квадратиками и отношение F (направленные связи между ними) - стрелками. Надстройка или интерпретация, сети Петри состоит в том, что вводится понятие разметки, или состояния сети, и указывается правило изменения состояний. Для каждого начального состояния M сеть N задает множество возможных последовательностей состояний, начинающихся с M . Разметка (состояние) M - это функция, которая месту $p \in P$ приписывает число 1 или 0. Содержательно $M(p)=1$ говорит о наличии или готовности нужных для обработки ресурсов в месте p , а $M(p)=0$ - об их отсутствии или неготовности.

Таким образом сеть Петри описывает "поток" управления, перетекание" меток позиций и срабатывание переходов, причем срабатывания могут происходить асинхронно и параллельно. Сети особенно хорошо подходят для многоуровневой иллюстрации различных аспектов диалога. Уточнение и обобщение сетей помогает представить определенные аспекты бо-

Класс сообщений	Класс действий
1. Начало работы	1.1. Проверка пароля
2. Главное меню	2.1. Выбор функции главного меню
3. Справка по БД	3.1. Выбор уровня детализации справки
4. Общая справка по БД	4.1. Выдача общей справки по БД
5. Детальная справка по БД	5.1. Выбор метеовеличины
6. Метеовеличина	6.1. Выдача справки по метеовеличине
7. Просмотр синоптических ситуаций	7.1. Выборка данных для построения карты
	7.2. Выбор даты для построения карты
	7.3. Выбор метеовеличины для построения карты
	7.4. Выбор пунктов наблюдения для построения карты
8. Сообщение об ошибке при выполнении пунктов 7.2, или 7.3, или 7.4	8.1. Попытка исправить ошибку
9. Сообщение о работе по выборке данных	9.1. Построение карты
10. Прогноз	10.1. Выбор метода прогноза
11. Прогноз с использованием метода линейной регрессии [10, 11]	11.1. Расчет прогноза с использованием метода линейной регрессии
12. Прогноз с использованием алгоритмов метода группового учета аргументов [5, 6]	12.1. Расчет прогноза с использованием алгоритмов метода группового учета

- | | |
|---|---|
| 13. Работа с данными | 13.1. Выбор операции для работы с данными |
| 14. Оперативный ввод данных с клавиатуры | 14.1. Выбор метеовеличины для ввода данных |
| 15. Список станций по выбранной метеовеличине | 15.1. Выбор станции для ввода |
| 16. Окно данных для выбранной станции | 16.1. Оперативный ввод данных с клавиатуры |
| 17. Задание новой метеовеличины | 17.1. Ввод названия новой метеовеличины и названий соответствующих БД |
| 18. Проверка на возможность ввести заданную новую метеовеличину | 18.1. Задание новой метеовеличины |
| 19. Ввод длинного ряда новых данных | 19.1. Выбор метеовеличины для ввода новых данных |
| 20. Список станций по данной метеовеличине | 20.1. Выбор станции для ввода ряда новых данных |
| 21. Окно данных для выбранной станции | 21.1. Ввод ряда новых данных |
| 22. Удаление метеовеличины | 22.1. Выбор метеовеличины для удаления |
| 23. Уточнение задачи на удаление | 23.1. Удаление заданной метеовеличины |
| 24. Ввести данные в оперативном режиме | 24.1. Оперативный ввод данных |
| 25. Сообщение о работе | 25.1. Печать протокола ввода |
| 26. Помощь | 26.1. Печать информации о работе АРМа |
| 27. Выйти из сеанса | 27.1. Завершение работы |

ных систем. - М.: Мир, 1985. - 328 с.

5. Ибахненко А.Г., Мюллер И.А. Самоорганизация прогнозирующих моделей. - Киев: Техника, 1985. - 222 с.

6. Ибахненко А.Г., Юрачковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. - М.: Радио и связь, 1987. - 115 с.

7. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. - М.: Мир, 1984.

8. Требования и спецификации в разработке программ. Сборник статей/ Под ред. А.Агафонова. - М.: Мир, 1984. - 344 с.

9. Чичасов Г.Н. О прогнозе аномалий средней месячной температуры воздуха в Казахстане//Тр. КазНИГМИ. - 1980.- Вып. 67. - С. 3-17.

10. Чичасов Г.Н. О прогнозе месячных сумм осадков в Казахстане//Труды КазНИГМИ. - 1985. - Вып. 92. - С. 51-59.

11. Чичасов Г.Н. Технология долгосрочных прогнозов погоды. - СПб.: Гидрометеиздат, 1991. - 304 с.

12. Baacke D. Kommunikation und Kompetenz, Munchen: Juventa, 1973. - 76 p.

13. Bjorner D., Jones C.B. Formal specification and software development. - Englewood Cliffs: Prentice-Hall Int., 1982. - 256 p.

ҮЛКЕН МЕРЗІМГЕ БОЛЖАУШЫ СИНОПТИКТИҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҰМЫС ОРНЫН ЖАСАУ ТУРАЛЫ

С. В. Мизина

Үлкен мерзімге болжаушы синоптиктің автоматтандырылған жұмыс орнын ақпаратпен қамтамасыздандырудың маңызды принциптері келтірілді. Петри торабы аппаратының техникалық проектісін көрсететін маңызды математикалық негіздер берілді. Техникалық проектің жүйелі торабы көрсетілді.