

ПРОГНОЗ МЕЖЕННОГО СТОКА ПО КРИВОЙ ИСТОЩЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ РЕК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

Л.Р. Варданян, Л.В. Азизян

*Государственная служба Армении по гидрометеорологии и мониторингу
(Армгосгидромет)*

Приведены результаты применения методики Е.Г. Попова по долгосрочному прогнозу стока в период межени, основанной на учёте закономерностей истощения подземных вод, для прогнозирования стока рек. Для рек Армении периодом межени являются третий и четвертый кварталы текущего года, а также первый квартал следующего года. Проведена попытка получения уравнений, отображающих закономерности истощения подземных вод, с помощью которых можно прогнозировать сток воды в любой период межени. В результате исследований получены связи между среднемесячными расходами прогнозируемого и предыдущего месяцев, на основе которых рассчитаны коэффициенты уравнения, выражающие закономерности истощения подземных вод для нескольких рек. Полученные уравнения дают возможность на основе первоначального расхода воды рассчитать расход для любого момента периода межени.

Ключевые слова: меженный сток, долгосрочный прогноз, среднемесячный расход, истощение запасов подземных вод.

Введение. Меженный сток, являясь одной из характерных фаз внутригодового распределения стока рек, имеет важное практическое значение. Характеризуясь наименьшей водностью, он в основном лимитирует размеры проектируемых предприятий населенных пунктов, является надежным источником промышленного, бытового и сельскохозяйственного водоснабжения, определяет планы орошения земель, особенно в зонах недостаточного и неустойчивого водообеспечения.

Для рек Армении периодом межени являются третий и четвертый кварталы текущего года, а также первый квартал следующего года. Он обычно состоит из двух сезонов: летне-осеннего – с относительно небольшими колебаниями расходов воды, вызванными дождевыми паводками, и зимнего – с устойчивой меженью.

Даты наступления меженного периода в разных районах республики варьируются в достаточно широких пределах, что зависит в основном от высоты расположения бассейнов и внутригодового распределения осадков. На

реках, средние высоты водосборов которых не превышают 2000 м, межень начинается примерно в конце июня-начале июля, а с высотами до 3000...3500 м – в июле-конце августа.

Доля стока летне-осенней и зимней межени в годовом стоке довольно значительна. Для большинства рек она составляет 40...60% объема годового стока. Отношение величины меженного стока к общему годовому стоку значительно изменяется в зависимости от времени окончания половодья и внутригодового выпадения осадков. Чем выше расположен бассейн, тем межень наступает позднее и короче ее период, поэтому величина меженного стока по отношению к общему годовому составляет меньший процент, и наоборот. Так, например, наряду с реками Дзыкнагет, где сток за июль-март составляет около 20% годового, одновременно имеются реки Севджур, Личк, Цаккар, Гаварагет, Масрик, где сток за это время составляет 70...90% от годового [1].

Методы прогнозирования. Прогнозирование стока в меженные периоды является одной из трудных задач гидрологических прогнозов, а методика его прогноза в настоящее время развита гораздо слабее, чем методика прогноза весеннего половодья. Значительная роль в формировании меженного стока принадлежит подземным водам, взаимосвязь которых с атмосферой и поверхностными водами, а также определение самих их запасов очень сложны и мало исследованы. Поэтому, как правило, использовать данные о режиме и запасах подземных вод непосредственно для прогностических целей не представляется возможным.

Методы прогноза стока меженного периода можно условно разделить на следующие группы [2]:

- прогнозы, основанные на учете метеорологических факторов;
- прогнозы, основанные на учете предшествующей водности;
- прогнозы с использованием кривой истощения запасов подземных вод;
- прогнозы, основанные на общих территориальных зависимостях;
- прогнозы, основанные на данных об уровнях грунтовых вод.

О методах прогнозирования стока рек за маловодный период достаточно подробно описано в трудах Субботина А.Н. [3], где для оценки питания рек были использованы данные наблюдений за уровнем грунтовых вод. Прогнозирование стока рек РА за период межени описано в трудах Важнова А.Н., Шагиняна М.В., Мнацаканяна Б.П. [1,4]. В частности, в [1] для прогнозирования поверхностного стока за июль - декабрь на реках Мармарик, Касах, Раздан используются данные об изменении уровней грунтовых вод в скважинах, что дает достаточно хороший результат, однако из-за отсутствия

гидрогеологических наблюдений на скважинах в данное время эти связи не могут использоваться для составления прогнозов.

Результаты исследования. В настоящей работе нами сделана попытка получения уравнений, отображающих закономерности истощения подземных вод, с помощью которых можно прогнозировать сток рек в любой период межени.

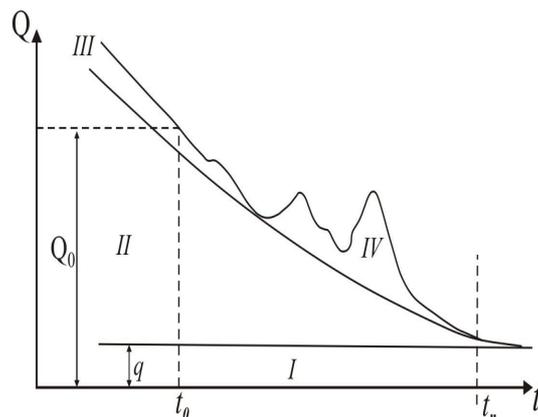


Рис. 1. Схематический график составляющих стока в период межени (по Е.Г. Попову):

I- глубинные воды; II- грунтовые воды; III – поверхностные воды; IV- дождевые воды

Закономерность изменения составляющих стока в период межени схематично представлена на рис. 1 [5,6]. К концу половодья - началу межени практически прекращается поверхностный приток воды в речную сеть. Начало и окончание меженного периода обозначены на рис. 1 соответственно через t_0 и t_n . Истощение запаса воды, находящейся в русловой сети, происходит одновременно с уменьшением сезонных запасов грунтовых вод. Значение стока и его продолжительность за счет истощения запаса воды, находящейся в русловой сети, зависят от размера бассейна.

По мере истощения запасов воды, находящейся в русловой сети, и сезонных запасов грунтовых вод отмечается постепенное снижение расхода воды. К концу межени этот расход, обусловленный питанием подземными водами, достигает относительно устойчивого минимального значения q . При практических расчетах питание подземными водами принимается постоянным и равным минимальному зимнему расходу.

Е.Г. Попов [6] разработал метод долгосрочного прогноза меженного стока и его распределения во времени. Метод базируется на физико-статистической основе, которая включает:

- генетически аргументированную аналитическую аппроксимацию природной закономерности истощения водных запасов бассейна как функцию времени;
- эмпирические (статистические) приемы определения параметров этой функции и непосредственных расчетных формул;
- возможность введения поправок, учитывающих влияние на сток переменных метеорологических факторов, за период заблаговременности прогноза.

Уменьшение расхода воды в межень период описывается двухпараметрическим уравнением экспоненциального вида. Это уравнение выводится теоретически, исходя из предпосылки наличия линейной связи между запасом воды в речном бассейне и ее расходом в замыкающем створе этого бассейна:

$$Q = \alpha W, \quad (1)$$

где Q - расход воды, m^3/c ; W - объем (запас) воды в бассейне, m^3 ; α - константа.

Предполагается также наличие в речном бассейне относительно устойчивого минимального расхода воды q , обусловленного питанием подземными водами. Этот расход зависит от гидрогеологических особенностей и размеров водосбора. Из двух предпосылок следует простое дифференциальное уравнение истощения запаса воды в бассейне:

$$dW = qdt - Qdt, \quad (2)$$

или с учетом соотношения (1):

$$\frac{dQ}{\alpha} = qdt - Qdt, \quad (3)$$

где t - время.

Интегрирование уравнения (3) при $q = const$ в пределах от 0 до t приводит к уравнению истощения в виде

$$Q(t) = (Q_0 - q)e^{-\alpha t} + q, \quad (4)$$

где Q_0 - расход воды в начале межени; α и q - постоянные для данного бассейна параметры; t - время от начального момента t_0 .

Из теоретического уравнения (4) следует, что между последовательными средними расходами одинаковой продолжительности T (декада, месяц) должна существовать линейная зависимость вида

$$\bar{Q}_{n+1} = a\bar{Q}_n + (1-a)q, \quad (5)$$

где

$$a = e^{-\alpha T} \quad a = e^{-\alpha t}. \quad (6)$$

Из опыта корреляционного анализа известно, что линейные зависимости вида

$$\bar{Q}_{n+1} = a\bar{Q}_n + b \quad (7)$$

имеют место на многих реках. Наиболее четкими и тесными такие зависимости бывают для горных бассейнов, в особенности для тех, где дождевой сток в период межени не играет большой роли.

На рис. 2 приведены полученные нами связи для ряда рек РА.

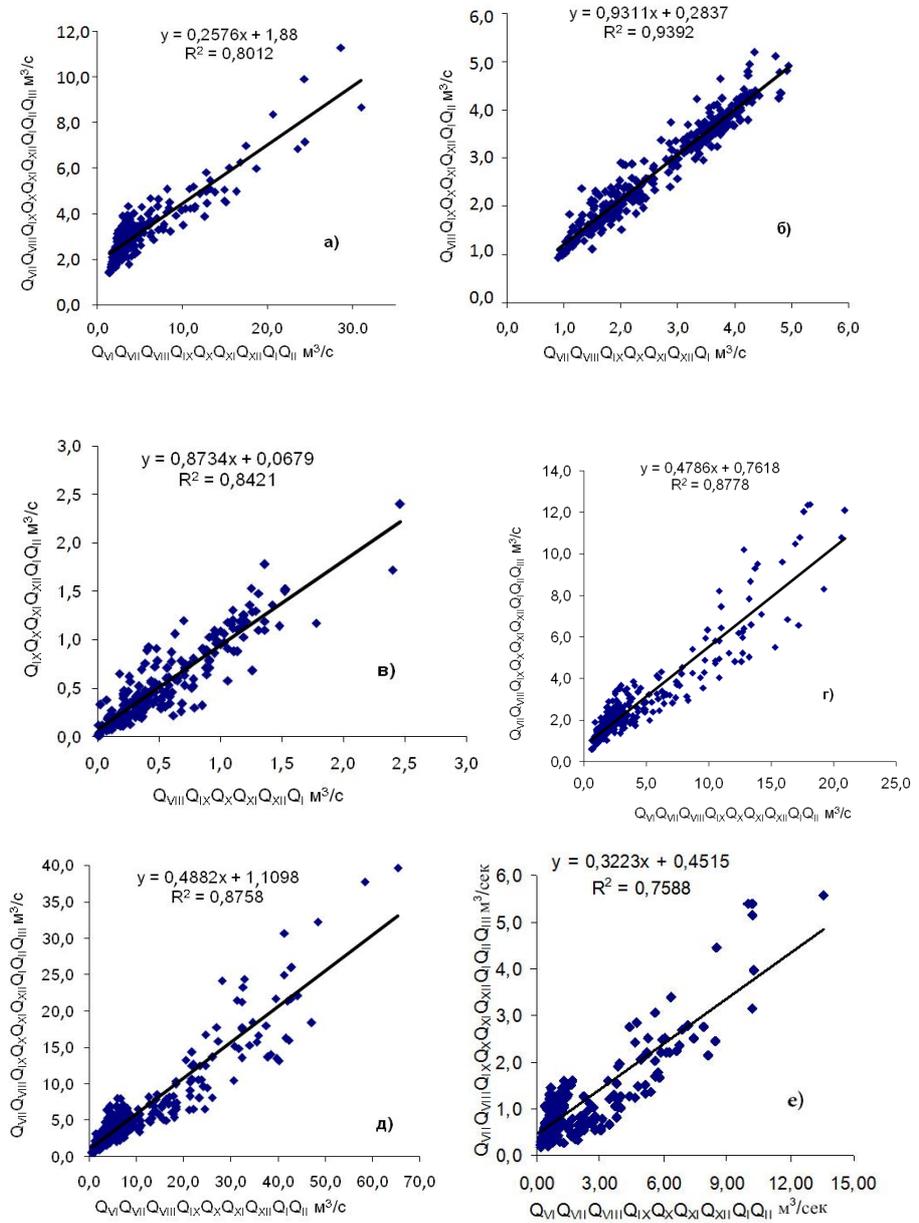


Рис. 2. Связь между среднемесячными расходами воды прогнозируемого и предыдущего месяцев по ряду рек: а - Арпа-Джермук, б - Азат-Гарни, в - Касах-Варденис, г - Гехи-Гехи, д - Вохчи-Кафан, е - Мартуни-Геховит

Как видно из приведенных графиков, наблюдается тесная связь между средним стоком за предыдущий и последующие месяцы. Эти графики можно использовать с целью прогнозирования месячного стока.

Наличие подобных зависимостей говорит о том, что уравнение (4) отражает в определенной мере природную закономерность истощения стока в меженный период, и вместе с вытекающими из него линейными уравнениями его можно использовать для долгосрочных прогнозов общего стока за меженный период в целом и распределения во времени.

Параметры уравнения истощения определяются через значения коэффициентов эмпирической линейной зависимости по формулам

$$\alpha = \frac{\ln a}{T}; q = \frac{b}{1-a}. \quad (8)$$

Здесь a и b - коэффициенты эмпирической зависимости; T - продолжительность выбранного периода, сут.

С помощью уравнения (4), пользуясь единственным аргументом - начальным расходом Q_0 , можно рассчитать расходы воды на любое время вперед, а также определить средние расходы за любой календарный отрезок времени.

В качестве единственного аргумента может служить не только предшествующий средний суточный расход, но и более надежный средний расход за некоторый предшествующий дате выпуска прогноза отрезок времени - пентаду или декаду.

Из уравнения (4) следует линейность зависимости среднего расхода воды за период любой длительности T от начального расхода Q_0 . Для ее установления следует проинтегрировать уравнение (4) и разделить полученное выражение на время T :

$$Q_{T=} \frac{1}{T} \int_0^T [(Q_0 - q)e^{-\alpha t} + q] dt, \quad Q_{T=} \frac{1}{T} \int_0^T [(Q_0 - q)e^{-\alpha t} + q] dt, \quad (9)$$

где все обозначения прежние.

В результате интегрирования получим линейное уравнение

$$Q_T = kQ_0 + (1 - k)q, \quad (10)$$

где
$$k = \frac{1 - e^{-\alpha T}}{\alpha T} \quad (11)$$

является постоянной величиной при заданных значениях α , q и расчетном интервале времени T .

Уравнение (10) используется при долгосрочных прогнозах суммарного стока за меженный период и для установления его распределения по календарным периодам - кварталам и месяцам.

Пользуясь коэффициентами связей, приведенных на рис. 2, а также уравнениями (8), нами были рассчитаны коэффициенты α и q , причем необходимо отметить, что в нашем случае время T равно 30 дням (так как связи были построены на месячных данных). В таблице приведены коэффициенты уравнений истощения запасов подземных вод для нескольких рек.

Таблица
Коэффициенты уравнений истощения запасов
подземных вод для нескольких рек

Река-пост	α	q
Арпа-Джермук	0,045	2,532
Азат-Гарни	0,002	4,118
Касах-Варденис	0,005	0,536
Гехи- Гехи	0,025	1,461
Вохчи-Кафан	0,024	2,168
Мартуни-Геховит	0,038	0,666

Таким образом, для обозначенных в таблице рек уравнения будут иметь следующий вид:

$$Q(t)_{\text{Арпа-Джермук}} = (Q_0 - 2,532)e^{-0,045t} + 2,532, \quad (12)$$

$$Q(t)_{\text{Азат-Гарни}} = (Q_0 - 4,118)e^{-0,002t} + 4,118, \quad (13)$$

$$Q(t)_{\text{Касах-Варденис}} = (Q_0 - 0,536)e^{-0,005t} + 0,536, \quad (14)$$

$$Q(t)_{\text{Гехи-Гехи}} = (Q_0 - 1,461)e^{-0,025t} + 1,461, \quad (15)$$

$$Q(t)_{\text{Вохчи-Кафан}} = (Q_0 - 2,168)e^{-0,024t} + 2,168, \quad (16)$$

$$Q(t)_{\text{Мартуни-Геховит}} = (Q_0 - 0,666)e^{-0,038t} + 0,666. \quad (17)$$

Уравнения (12)-(17) дают возможность на основе первоначального расхода воды рассчитать расход для любого момента. В этих уравнениях время выражено в днях, а его отсчет идет с того дня, когда принимается начальный расход Q_0 . Например, если начальный расход был определен 15 июля, то для определения расхода воды 28 августа T будет равно 44 дням.

Необходимо отметить, что для таких прогнозов главным предиктором является начальный расход, поэтому его определение требует особого внимания, чтобы не допустить случайных ошибок. По этой причине за начальный необходимо брать расход не за конкретный день, а средний расход ближайших 3...5 дней.

Выводы

1. Получены уравнения, отображающие закономерности истощения подземных вод, с помощью которых можно прогнозировать сток воды в любой период времени.
2. Получены связи между среднемесячными расходами прогнозируемого и предыдущего месяцев, на основе которых рассчитаны коэффициенты уравнения, выражающие закономерности истощения подземных вод для нескольких рек.

Литература

1. **Шагинян М.В., Мнацаканян Б.П.** О возможности прогнозирования меженного стока по уровням грунтовых вод // Сборник работ Ереванского ГМО.- 1982.- Вып.4.- С. 36-39.
2. **Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В.** Гидрологические прогнозы: Учебник. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. – 436 с.
3. **Субботин А.И.** К вопросу об использовании наблюдений за режимом грунтовых вод при долгосрочном прогнозе речного стока // Труды ЦИП. – 1950. - Вып. 027. – С. 60-76.
4. **Важнов А.Н.** Анализ и прогнозы стока рек Кавказа. – М.: Гидрометеиздат, 1966. – 274.
5. **Попов Е.Г.** Гидрологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. –256 с.
 6. **Попов Е.Г.** Прогноз притока воды в Токтогульское водохранилище за межвегетационный период // Труды Гидрометцентра СССР. – 1988. - Вып. 295. - С. 3-14.

*Поступила в редакцию 06.08.2014.
Принята к опубликованию 20.11.2014.*

**ՍԱԿԱՎԱՋՈՒՐ ՇՐՋԱՆԻ ՀՈՍՔԻ ԿԱՆԽԱՏԵՍՈՒՄԸ ՍՏՈՐԵՐԿՐՅԱ ՋՐԵՐԻ
ՊԱՇԱՐՆԵՐԻ ՍՊԱՌՄԱՆ ԿՈՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ, ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԳԵՏԵՐԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ**

Լ.Ռ. Վարդանյան, Լ.Վ. Ազիզյան

Ներկայացված են Ե.Գ. Պոպովի կողմից մշակված սակավաջուր շրջանի հոսքի երկարաժամկետ կանխատեսման մեթոդիկայի (հիմնված ստորգետնյա ջրերի սպառման օրինաչափությունների հաշվարկման վրա) կիրառմամբ ՀՀ գետերի հոսքի կանխատեսման արդյունքները: Հայաստանի գետերի համար սակավաջուր շրջաններ են համարվում տարվա երրորդ և չորրորդ եռամսյակները, ինչպես նաև հաջորդող տարվա առաջին եռամսյակը: Փորձ է արվել ստանալ հավասարումներ, որոնք կարտահայտեն ստորգետնյա ջրերի սպառման օրինաչափությունները, որոնցով կարելի է կանխատեսել ջրի հոսքը սակավաջուր շրջանի ցանկացած ժամանակահատվածի համար: Հետազոտման արդյունքում ստացվել են կապեր կանխատեսվող և նախորդ ամիսների միջին ամսական ելքերի միջև, որոնց միջոցով հաշվարկվել են ստորգետնյա ջրերի սպառման օրինաչափություններն արտահայտող հավասարման գործակիցները մի քանի գետերի համար: Ստացված հավասարումները հնարավորություն են տալիս ջրի ելքի սկզբնական արժեքների հիման վրա հաշվարկել ելքը սակավաջուր շրջանի ցանկացած ժամանակահատվածի համար:

Առանցքային բառեր. սակավաջուր հոսք, երկարաժամկետ կանխատեսում, միջին ամսական ելք, ստորգետնյա ջրերի պաշարների սպառում:

**FORECAST OF LOW-WATER SEASON FLOW BASED ON THE UNDERGROUND
WATER DEPLETION CURVE ON THE EXAMPLE OF THE RA RIVERS**

L.R. Vardanyan, L.V. Azizyan

The results of applying E.G. Popov's long-term forecasting method of the flow during the low-water season based on the groundwater depletion characteristics to predict the flow of the RA rivers are presented. The low-water period for rivers in Armenia usually is the third and fourth quarters of the current and the first quarter of the next year. An attempt is made to obtain equations showing the patterns of depletion of groundwater that can be used to predict the water flow in any period of low-water season. As a result of research, relations between the predicted and the average monthly discharges of the previous months, are obtained allowing to calculate the equation coefficients expressing the laws of groundwater depletion for several rivers. The resulting equations allow to calculate the discharge for any period of time during the low-water season, based on the initial discharge.

Keywords: low-water season flow, long-term forecast, average monthly discharge, groundwater depletion.