

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТОКА РЕК АЗЕРБАЙДЖАНА*

© 2017 г. Ф.А. Иманов, Р.Ф. Раджабов, А.А. Нуриев

Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджан

Ключевые слова: экологический сток, р. Гянджачай, гидрограф, минимальный сток, антропогенные факторы, водные ресурсы, речные экосистемы.



Ф.А. Иманов

Р.Ф. Раджабов

А.А. Нуриев

Представлены результаты разработки метода определения экологического стока рек Азербайджана, где ограниченные водные ресурсы широко используются для орошения и при этом отсут-

ствуют нормативные документы, регламентирующие значения допустимого безвозвратного изъятия речных вод. В результате анализа существующих методов и данных, необходимых для их применения, сделан вывод о целесообразности разработки гидрологического метода оценки экологического стока рек. Предложенный метод основывается на учете закономерностей многолетних колебаний месячного стока и изменений суточного стока в месячные интервалы. С помощью данного метода рассчитано внутригодовое распределение экологического стока 22 рек, бассейны которых расположены в различных физико-географических районах Азербайджана. Приведен пример расчета экологического стока для р. Гянджачай (с. Зурнабад).

В результате полевых исследований выявлено, что основными видами хозяйственной деятельности в этом бассейне являются водозаборы для орошения и питьевого водоснабжения, сброс неочищенных бытовых вод из населенных пунктов и гидроморфологические изменения в долинах рек, характерные для многих речных бассейнов изучаемой территории. Показано, что в зависимости от водности года величина возможного безвозвратного водозабора может быть различной. Применение предложенного метода будет способствовать охране водных объектов, сохранению ландшафтных, рекреационно-эстетических, а также экологических функций рек Азербайджана.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития науки при Президенте Республики Азербайджан – грант № EIF-2013-9(15)-46/27/2

Неэффективное использование водных ресурсов отрицательно влияет на экологическое состояние рек, нарушает обмен веществ и энергии в речных экосистемах. Хозяйственная деятельность в речных бассейнах, в первую очередь, воздействует на абиотические характеристики речной экосистемы, изменяет ее водный, тепловой, радиационный режимы, расходы наносов и русловые процессы. Изменения гидрологического режима реки в конечном результате отражаются на биотических свойствах экосистемы.

Следует отметить, что у водных объектов, наряду с социально-экономическими и водохозяйственными функциями, есть также экологические, геосферные, ландшафтные и рекреационно-эстетические функции [1]. Поэтому величина допустимого изъятия речных вод должна устанавливаться таким образом, чтобы оставшийся объем воды в русле обеспечивал в реке нормальные, близкие к естественным условиям экологические процессы.

КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТОКА

Концепция экологического стока исторически сложилась в результате деградации водных экосистем, вызванной чрезмерными водозаборами из рек. Несмотря на то что понятие экологического стока используется около 40 лет, до сих пор нет его единого определения. В настоящее время исследователи используют различные термины для описания экологического стока: «санитарный сток», «минимально приемлемый сток», «природоохранный сток», «сток для охраны окружающей среды» и другие. Однако при всем разнообразии терминов и большом количестве методов исследования практически во всех случаях величина экологического стока рассматривается как необходимая часть оставляемого в русле реки речного стока [2].

В большинстве стран Европейского Союза вопросы обеспечения экологического стока рек отражены в законодательных документах национального и регионального уровня. В 2012 г. Европейская Комиссия оценила текущую ситуацию по данной проблеме и выявила, что в 88 (47 %) районах речного бассейна (РРБ) осуществляются программы по обеспечению экологического стока или планируется их проведение, однако в 69 (34 %) РРБ до сих пор отсутствуют конкретные программы, а в 29 (16 %) – нет достаточной информации для оценки экологического стока [3]. К сожалению, в настоящее время в Азербайджане отсутствует нормативный документ по определению экологического стока рек.

Комплексные исследования экологического стока рек были начаты в США. В Советском Союзе первые исследования по оценке экологического стока проведены в 1970-х годах. Эти методы в основном были ориентированы на зарегулированные реки с целью обеспечения санитарных выпусков в их нижних бьефах. Анализ проведенных исследований выполнен Ф.А. Имановым [4].

Классификация более 200 существующих методов выполнена R.E. Tharme [5], который разделил их на три группы [5–7]:

1. Гидрологические.
2. Гидравлическое моделирование среды обитания.
3. Комплексные методы.

В международной практике чаще всего используются гидрологические методы, т. к. они являются более простыми (необходимы только гидрологические данные) и относительно недорогими (не требуется проведения полевых исследований). Выбор метода для определения экологического стока основывается на существующих знаниях и информации (характеристики рек и речных бассейнов), интенсивности использования водных ресурсов, финансовых возможностях и др. Этот процесс может быть выполнен в три этапа [8]:

- оценка экологического стока может быть начата с простых гидрологических методов и в дальнейшем усложнена;
- сначала анализируются данные по речному стоку маловодных периодов, затем всего гидрологического режима;
- исследования необходимо начинать с приоритетных частей реки и ее бассейна.

Однако в настоящее время вопрос определения допустимых изъятий речных вод и количества экологического стока еще далек от своего решения [1, 9–14].

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТОКА РЕК АЗЕРБАЙДЖАНА

Анализ имеющихся методов определения экологического стока показывает, что для их применения требуется разнообразная информация, включающая количественные и качественные показатели речных экосистем (гидрологические, гидрохимические и гидробиологические). Методы гидравлического моделирования среды обитания и комплексные методы считаются более объективными, т. к. для их использования, кроме гидрологических и гидрохимических данных, необходимы данные гидробиологического мониторинга. В Азербайджане такой мониторинг проводится лишь с 2012 г. и только на нескольких реках. Поэтому в настоящее время для расчета экологического стока рек Азербайджана целесообразно разработать относительно простой гидрологический метод, который позволит сохранить реки как элемент ландшафта и поддержать их экологические и другие функции.

При разработке предложенного метода оценки экологического стока рек Азербайджана учтены следующие принципы:

1. Величина экологического стока должна обеспечить сохранение реки как элемента ландшафта и местообитания гидробионтов.

2. В качестве величины экологического стока должно приниматься такое значение расхода воды, при котором речная экосистема уже функционировала в естественных/условно-естественных условиях.

3. Величина экологического стока не может быть постоянной для всего года и определяется для каждого календарного месяца.

С помощью данного метода рассчитано внутригодовое распределение экологического стока 22 рек, бассейны которых расположены в различных физико-географических районах Азербайджана. Ниже приведен пример расчета экологического стока по предложенному гидрологическому методу для р. Гянджачай (с. Зурнабад).

Гянджачай является правым притоком р. Куры. Ее исток находится на высоте 2814 м, устье – 70 м, длина реки составляет 99 км, площадь бассейна – 752 км² (рис. 1).



Рис. 1. Картограмма расположения бассейна р. Гянджачай.

На р. Гянджачай (с. Зурнабад) гидрологические наблюдения непрерывно ведутся с 1928 г. по настоящее время. Многолетний среднегодовой расход реки – 4,30 м³/с, максимальный расход воды – 107 м³/с, минимальный – 0,30 м³/с. В период интенсивного орошения (июль-август) речной сток составляет около 15 % годового стока. Самые низкие расходы воды наблюдаются в июле-августе и декабре-январе.

В результате полевых исследований выявлено, что основными факторами влияния хозяйственной деятельности в бассейне р. Гянджачай являются:

- водозаборы для орошения и питьевого водоснабжения (как речных, так и грунтовых вод);
- вырубка лесов;

- сброс бытовых отходов в долины рек;
- сброс неочищенных бытовых вод из населенных пунктов;
- гидроморфологические изменения в долинах рек.

Эти факторы хозяйственной деятельности воздействуют на гидрологический режим и водные ресурсы реки: приводят к нарушению естественного водного режима; ухудшению качества воды и экологических условий; отсутствию стока в нижнем течении реки в период интенсивного орошения, т. е. антропогенному пересыханию.

Расчет экологического стока рек по предлагаемому методу выполняется в следующей последовательности:

1. Составляется многолетний ряд наблюдений среднегодовых расходов воды и определяется самый маловодный год. Для наглядности можно построить график многолетних колебаний расходов воды (рис. 2). На рис. 2 отражено, что самым маловодным был 1998 г., когда средний годовой расход воды р. Гянджачай был равен 1,98 м³/с. Обеспеченность этого расхода воды составляет 99 %, а повторяемость 1 раз в 100 лет.



2. Среднемесячные расходы воды ($Q_{\text{мин}}$) самого маловодного года (1998 г.) (табл. 3) в первом приближении принимаются ординатами гидрографа экологического стока ($Q_{\text{эк}}^*$):

$$Q_{\text{эк}}^* = Q_{\text{мин}}. \quad (1)$$

3. Для расчетного календарного месяца величина возможного водозабора ($Q_{\text{вз}}$) из реки определяется по разнице значений естественного/условно-естественного ($Q_{\text{ест}}$) и экологического стока ($Q_{\text{эк}}^*$):

$$Q_{\text{вз}} = Q_{\text{ест}} - Q_{\text{эк}}^*. \quad (2)$$

4. В результате многолетних колебаний естественного речного стока в будущем могут наблюдаться годы со среднемесячными расходами воды меньших значений расчетных расходов воды соответствующего календарного месяца ($Q_{\text{мин}}$). Поэтому принятое в первом приближении значение экологического стока за каждый календарный месяц ($Q_{\text{эк}}^*$) должно быть уменьшено на значение ΔQ_1 .

В отдельные периоды каждого календарного месяца наблюдаются расходы воды, величины которых меньше среднемесячного расчетного значения $Q_{\text{эк}}^*$ (рис. 3). Таким образом, принятое в первом приближении значение экологического стока за каждый календарный месяц ($Q_{\text{эк}}^*$) должно быть уменьшено на значение ΔQ_2 .

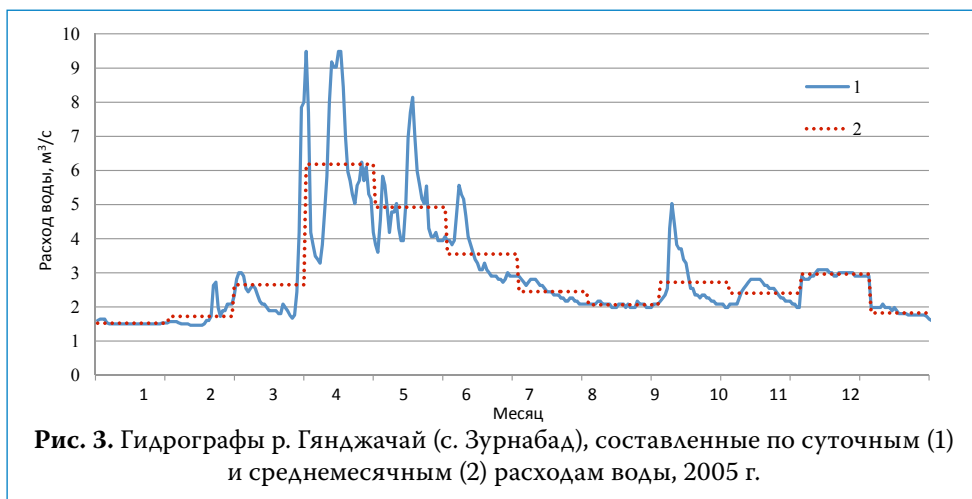


Рис. 3. Гидрографы р. Гянджачай (с. Зурнабад), составленные по суточным (1) и среднемесячным (2) расходам воды, 2005 г.

С учетом вышеизложенного, выражение для окончательного расчета экологического стока реки может быть представлено в следующем виде:

$$Q_{\text{эк}} = Q_{\text{мин}} - \Delta Q_1 - \Delta Q_2, \quad (3)$$

где $Q_{\text{эк}}$ – величина экологического стока;

$Q_{\text{мин}}$ – значения среднемесячных расходов воды расчетного года;

ΔQ_1 – значение возможного естественного снижения среднемесячных

расходов воды, связанное с многолетними колебаниями речного стока;

ΔQ_2 – значение возможного естественного снижения среднемесячных расходов воды, связанное с внутримесячными колебаниями речного стока.

Для установления значений ΔQ_1 и ΔQ_2 разработана расчетная схема. Значение ΔQ_1 устанавливается путем применения переходного коэффициента a , который определяется по соотношению:

$$a = \frac{Q_{n+N}}{Q_n}, \quad (4)$$

где Q_n – наименьшее значение наблюдаемых среднемесячных расходов воды за 10-летние периоды, начиная с первого года наблюдений ($n = 10$ лет);

Q_{n+N} – наименьшее значение наблюдаемых среднемесячных расходов воды за 16-летние периоды, начиная с первого года ($N = 6$ лет, потому что планы управления бассейнами рек составляются сроком на 6 лет) [15].

Значение ΔQ_1 рассчитывается по формуле:

$$\Delta Q_1 = (1 - a) Q_{\min}. \quad (5)$$

Пример расчета переходного коэффициента a для р. Гянджачай (с. Зурнабад) за январь приведен в табл. 1.

Таблица 1. Расчет переходного коэффициента a , вычисленный по среднемесячным расходам воды за январь

По $n=10$ -летиям			По $(n+N)=16$ -летиям			$a = \frac{Q_{n+N}}{Q_n}$	
Период наблюдения, год	Наименьший расход воды, Q_n , м ³ /с		Период наблюдения	Наименьший расход воды, Q_{n+N}			
1928–1937	0,75		1928	1943	0,75	1,00	
1929–1938	0,75		1929	1944	0,75	1,00	
1930	0,75	1939	1930	1945	0,75	1,00	
1931		1940	1931	1946			0,75
...							
1955	1,19	1964	1955	1970	1,19	1,00	
1956		1965	1956	1971			1,05
1957		1966	1957	1972			1,00
1958		1967	1958	1973			1,00
...							
1975	1984	1,55	1975	1990	1,55	1,00	
...							
1980	1,55	1989	1980	1995	1,02	0,66	
1981		1990	1981	1996			1,02
1982		1991	1982	1997			0,82
1983		1992	1983	1998			0,82
1984		1993	1984	1999			0,82
...							
1994	2003	0,82	1994	2009	0,82	1,00	
1995	2004	0,82	1995	2010	0,82	1,00	

Как показано в табл. 1, значения переходного коэффициента a за январь изменяются в пределах 0,66 – 1,00 и в среднем составляют 0,93. Это означает, что в течение ближайших шести лет, в январе значение возможного естественного снижения среднемесячных расходов воды, связанное с многолетними колебаниями речного стока, в среднем может составить $1,0 - 0,93 = 0,07$ или 7 %.

Для разных месяцев года значения переходного коэффициента a для р. Гянджачай изменяются от 0,90 до 0,94 (табл. 3). Для остальных рек Азербайджана значения a изменяются в пределах 0,42–0,97, преобладают значения 0,81–0,95.

Значение ΔQ_2 устанавливается путем применения переходного коэффициента b , который определяется по соотношению:

$$b = \frac{Q_{\text{непр}}}{Q_{\text{мес}}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{непр}}$ – значения средних расходов воды за непрерывные дни (от 1 до 20 дней) с суточными расходами воды меньшими, чем среднемесячные расходы;

$Q_{\text{мес}}$ – значения среднемесячных расходов воды.

Значение ΔQ_2 рассчитывается по формуле:

$$\Delta Q_2 = (1 - b)Q_{\text{мин}}. \quad (7)$$

По данным расходов воды р. Гянджачай (с. Зурнабад) за 10 лет наблюдений (2001–2010 гг.) вычислены значения коэффициента b , которые приведены в табл. 2.

Таблица 2. Пример расчета коэффициента b

t , сут	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	48	40	45	43	40	15	18	23	23	35
P , %	10,5	8,8	9,9	9,5	8,8	3,3	4,0	5,1	5,1	7,7
b	0,95	0,91	0,93	0,88	0,92	0,90	0,93	0,92	0,84	0,87

Примечание: t – продолжительность периода со среднесуточными расходами воды меньшими, чем среднемесячные расходы; k – число таких периодов; P , % – частота периодов.

Установлено, что продолжительность рассмотренных периодов (t) колеблется в пределах 1–20 дней и за 2001–2010 гг. общее число таких периодов составило 455 (100 %). Значения коэффициента b изменяются в пределах 0,84 – 0,95. Это означает, что в такие периоды средние расходы воды по сравнению с среднемесячными расходами меньше на 5–16 %.

При практическом определении экологического стока рек использование коэффициента b для каждого периода ($t=1; t=2, t=3, \dots t=20$ дней) при-

водит к существенному увеличению временных затрат. Однако расчеты показывают, что с увеличением продолжительности рассмотренных периодов их частота (повторяемость) уменьшается. Например, в рассматриваемом примере, суммарная частота периодов с продолжительностью от 1 до 5 дней составляет 47,5 %, для периодов от 1 до 10 дней – 72,7 %. Также известно, что для рыбохозяйственных объектов первой категории допускается период превышения ПДК до 10–20 суток [16]. Учитывая это и малую изменчивость значений коэффициента b , в практических расчетах экологического стока может быть использовано среднее значение коэффициента b ($b = 0,90$), полученное для периодов с продолжительностью от 1 до 10 дней. Для остальных рек Азербайджана значения b изменяются в пределах 0,72–0,96, при этом преобладают значения 0,82–0,93.

Таким образом, подставив в формулу (3) выражения для ΔQ_1 (5) и ΔQ_2 (7), получим окончательную формулу (8) для оценки экологического стока рек:

$$Q_{\text{эк}} = (a+b-1) Q_{\text{мин}}. \quad (8)$$

Если принять, что $c=(a+b-1)$, то последняя формула может быть записана так:

$$Q_{\text{эк}} = cQ_{\text{мин}}. \quad (9)$$

По этой формуле рассчитаны среднемесячные и среднегодовые значения экологического стока р. Гянджачай (с. Зурнабад) (табл. 3), по которым был построен его гидрограф (рис. 4).

Таблица 3. Среднемесячные и среднегодовые значения экологического стока р. Гянджачай (с. Зурнабад)

Характеристика стока	Месяц												Q_2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$Q_{\text{мин}}$	1,83	1,82	2,20	1,69	2,03	3,09	2,36	1,81	1,58	1,53	1,57	2,22	1,98
a	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,92	0,94	0,94	0,93	0,90	0,93	0,92	–
b	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	–
c	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80	0,82	0,84	0,84	0,83	0,80	0,83	0,82	–
$Q_{\text{эк}}, \text{м}^3/\text{с}$	1,52	1,49	1,78	1,35	1,62	2,53	1,98	1,52	1,31	1,22	1,30	1,82	1,62
$W_{\text{эк}}, \text{млн м}^3$	4,07	3,60	4,77	3,50	4,34	6,56	5,30	4,07	3,40	3,27	3,37	4,87	51,1

На рис. 4 также приведены гидрографы реки для трех различных по водности лет, которые были выбраны по аналитической кривой обеспеченности среднегодовых расходов воды (2001 г. – маловодный, обеспеченностью 80 %; 1985 г. – средний, обеспеченностью 50 %; 1966 г. – многоводный, обе-

спеченностью 20 %. Для каждого года рассчитаны значения экологического стока и допустимого безвозвратного изъятия речных вод (табл. 4).

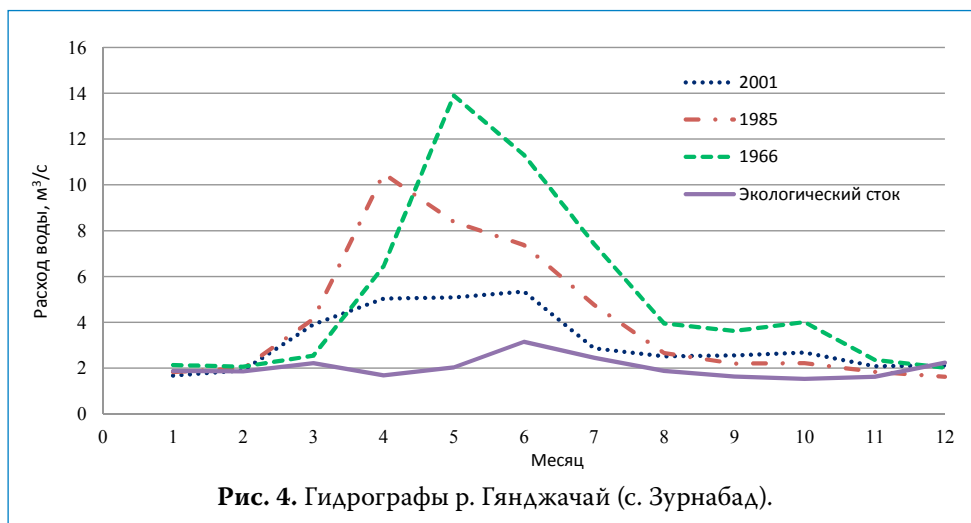


Рис. 4. Гидрографы р. Гянджачай (с. Зурнабад).

Таблица 4. Значения экологического стока и допустимого безвозвратного изъятия речных вод в различные по водности годы для р. Гянджачай (с. Зурнабад)

Водность года	Год	Расход воды, м ³ /с		Объем стока, млн м ³		Допустимое изъятие	
		$Q_{\text{год}}$	$Q_{\text{эк}}$	$W_{\text{год}}$	$W_{\text{эк}}$	ΔW , млн м ³	%
Маловодный	2001	3,15	1,62	99,4	51,1	48,3	48,6
Средний	1985	4,13	1,62	130,3	51,1	79,2	60,8
Многоводный	1966	5,15	1,62	162,5	51,1	111,4	68,6

Как видно из табл. 4, в зависимости от водности года возможный безвозвратный водозабор составляет 48,6–68,6 % от объема годового стока реки. Поэтому целесообразнее экологический сток рассчитывать не для календарного, а для водохозяйственного года (с 1 марта или 1 апреля), т. к. в этом случае уже будут известны прогнозные оценки запасов воды, накопившихся в бассейне реки за холодный период года, соответственно, они могут быть учтены при управлении водными ресурсами.

Для сравнения следует отметить, что согласно результатам расчетов по «Методическим указаниям» [11], действующим в Российской Федерации, в годы с различной обеспеченностью (50–95 %), значения допустимого безвозвратного изъятия вод из р. Аргунь составляют еще меньшую часть (38,9 %) от объема годового стока [17].

ВЫВОДЫ

Анализ международного опыта оценки экологического стока рек показал, что наиболее эффективными являются методы гидравлического моделирования среды обитания. Однако в настоящее время в Азербайджане для разработки и применения этих методов нет необходимой информационной базы, в частности, отсутствуют данные по биологическому мониторингу. Учитывая это, а также простоту использования и минимальные затраты разработан гидрологический метод определения экологического стока местных рек.

Согласно предложенному методу, величина экологического стока не остается постоянной для всего года и рассчитывается отдельно для каждого календарного месяца. Расчеты по этому методу показали, что в зависимости от водности года возможный безвозвратный водозабор из р. Гянджачай, характерной для большей части исследуемой территории, составляет 48,6 – 68,6 % от объема годового стока реки. Предложенный метод может быть использован при составлении схем интегрированного управления водными ресурсами Азербайджана. Однако следует отметить, что применение этого метода предусматривает наличие гидрологических данных наблюдений. Необходимо разработать метод определения экологического стока неизученных рек Азербайджана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролова Н.Л. Гидрологические ограничения природопользования // Вопросы географии. Сб. 133: Географо-гидрологические исследования. М.: ИД «Кодекс», 2012. С. 456–478.
2. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. European Commission Guidance Document. No 31. 2015.
3. Benítez C. and Schmidt G. Analysis of implementation of Environmental Flow in the wider context of the river basin management plans (Report drafted in the framework of the Comparative Study of Pressures and Measures in the Major River Management Plans. Task 3d: Water Abstraction and Water Use). 2012.
4. Иманов Ф.А. Минимальный сток рек Кавказа. Баку: «Нафта-пресс», 2000. 298 с.
5. Tharme R.E. A global perspective on environmental flow assessment emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers // River research and applications. 2003. No 19. P. 397–441.
6. Petts G.E. Instream Flow Science For Sustainable River Management // JAWRA Journal of the American Water Resources Association. October 2009.
7. Linnansaari T., Monk W.A., Baird D.J. and Curry R.A. Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/039. 74 p.
8. Le Quesne T., Kendy E. and Weston D. The Implementation Challenge: Taking stock of government policies to protect and restore environmental flows. WWF Report. 2010.

9. Вода России. Малые реки / под ред. А.М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2001. 804 с.
10. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: Экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
11. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.И., Чебанов М.С. Методические указания по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (пропуска) // Федеральные государственное учреждение и Межведомственная гидрологическая комиссия. М., 2009.
12. Коренева И.Б., Христофоров А.В. Об оценке минимального экологически достаточного стока воды в реках // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1993. № 1. С. 77–83.
13. Кумсиашвили Г.П. Гидроэкологический потенциал водных ресурсов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 270 с.
14. Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. М.: Эковест, 1996. 240 с.
15. EU Water Framework Directive, (2000/60/EC), European Communities, 2000.
16. Нежиховский Р.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 228 с.
17. Никитина О.И. Экологический сток и его значение для пресноводных экосистем. Экологический сток в бассейне Амура // Всемирный фонд дикой природы (WWF) России. М., 2015. 97 с.

Сведения об авторах:

Иманов Фарда Али оглы, д-р геогр. наук, профессор, заведующий кафедрой гидрометеорологии, Бакинский государственный университет, AZ 1148, Азербайджан, г. Баку, ул. Академика Захид Халилова 23; e-mail: farda_imanov@mail.ru

Раджабов Рустам Фахраддин оглы, кафедра гидрометеорологии, Бакинский государственный университет, AZ 1148, Азербайджан, г. Баку, ул. Академика Захид Халилова 23; e-mail: rajabov_r_f@mail.ru

Нуриев Анар Атахан оглы, кафедра гидрометеорологии, Бакинский государственный университет, AZ 1148, Азербайджан, г. Баку, ул. Академика Захид Халилова 23; e-mail: anar_nuri@yahoo.com