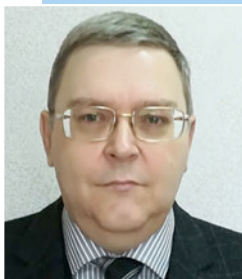


## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕКИ АМУР ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2017 г. А.А. Белевцов

*ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал, г. Владивосток, Россия*

**Ключевые слова:** р. Амур, водоток, максимальный расход, Зейское водохранилище, критерий Стьюдента, критерий Уилкоксона, регулирование стока, интегральная кривая, изменение водности.



А.А. Белевцов

На основе рядов восстановленных и наблюдаемых максимальных в году расходов воды рек Амур, Зея и Селемджа дана качественная и количественная оценка влияния Зейского водохранилища на паводочный сток Амура ниже впадения р. Зея (до начала строительства Бурейского гидроузла). Качественная оценка выполнена с использованием статистических методов, метода линейного тренда, метода построения интегральной кривой и метода аналогов. Для количественной оценки изменения экстремальных расходов воды под влиянием Зейского гидроузла использован метод сопоставления значений расходов различной обеспеченности, полученных для сходных циклов изменения водности, соответствующих нарушенному и ненарушенному периодам стока.

Для оценки изменений максимальных расходов воды р. Амур под влиянием Зейского водохранилища выбрано пять опорных створов, по которым имеются достаточно длинные ряды наблюдений за уровнями и расходами воды (табл. 1). В связи с тем, что на пограничном участке рассматриваемого водотока измерение расходов воды после 1969 г. не проводилось, осуществлено восстановление рядов по зависимостям  $Q = f(H)$ . Таким образом, получена возможность исследования изменений  $Q_{\max}$  за период, включающий этап эксплуатации Зейской ГЭС. Кроме этого, для проведения оценки использована информация по рекам Зея и Селемджа (приток р. Зея, практически не подверженный антропогенному воздействию).

Для качественной оценки характеристик водного режима использовались статистические методы: метод линейного тренда, метод с применением интегральной кривой и метод аналогов. Оценку рядов стока проводили

на основе стандартного параметрического критерия Стьюдента и непараметрического критерия однородности Уилкоксона [1]. Результаты расчетов, представленные в табл. 2–3, показывают:

- на участках р. Амур между селами Черняево и Кумара, городами Хабаровск и Комсомольск-на-Амуре ряды максимальных уровней воды однородны;
- на участке с. Кумара – г. Хабаровск однородность рядов максимальных уровней и расходов воды нарушена;
- на участке г. Хабаровск – г. Комсомольск-на-Амуре ряды максимальных расходов воды однородны.

**Таблица 1.** Перечень створов гидрологических наблюдений, использованных для оценки изменений характеристик водного режима р. Амур

Водоток, створ	Изучаемый период		Восстановленный период
	$Q_{\text{макс}}/W_{\text{г}}$	$H_{\text{макс}}$	$Q_{\text{макс}}$
р. Амур, с. Черняево	–	1899 – 2006	–
р. Амур, с. Кумара	1899 – 2005	1899 – 2005	1920, 1969 – 2005
р. Амур, с. Гродеково	1912 – 1998, 2002 – 2006	1912 – 1998, 2002 – 2006	1969– 2006
р. Амур, г. Хабаровск	1896 – 2006 1897 – 2005	1896 – 2006	–
р. Амур, г. Комсомольск-на-Амуре	1932 – 2006	1932 – 2006	1971 – 1979
р. Зeya, с. Белогорье	1945 – 2006	1960 – 2006	–
р. Селемджа, с. Усть-Ульма	1940 – 2006	–	–

**Таблица 2.** Критерии Стьюдента ( $t$ -критерии) [2], рассчитанные для рядов максимальных уровней и расходов воды

Пункты наблюдений	Эмпирическая дисперсия ( $S_{x-y}$ )	$ t\text{-критерий} $	$k$	$t_{0,05}$
<b>Уровни</b>				
с. Черняево – с. Кумара	22 327,65	1,955	212	1,960
с. Кумара – с. Гродеково	28 020,00	<b>11,122</b>	200	1,960
с. Гродеково – г. Хабаровск	19 787,82	<b>23,579</b>	204	1,960
г. Хабаровск – г. Комсомольск-на-Амуре	11 053,50	0,828	184	1,960
<b>Расходы</b>				
с. Кумара – с. Гродеково	10 404 714,81	<b>11,020</b>	196	1,960
с. Гродеково – г. Хабаровск	23 526 951,80	<b>11,568</b>	198	1,960
г. Хабаровск – г. Комсомольск-на-Амуре	38 587 714,92	1,215	181	1,960

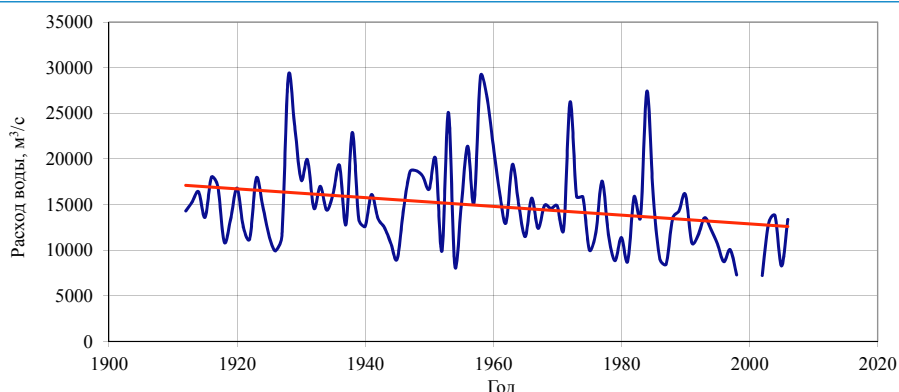
**Таблица 3.** Критерии Уилкоксона ( $U_a$ ) [2], рассчитанные для рядов максимальных уровней и расходов воды

Пункты наблюдений	$U$	$Z_{0.05}$	$Z_{0.01}$	$U_{a0.05}$	$U_{a0.01}$	$ U - n_1 \cdot n_2 / 2 $
Уровень						
с. Черняево – с. Кумара	4841	1,96	2,58	888	1169	884
с. Кумара – с. Гродеково	1233	1,96	2,58	<b>788</b>	<b>1037</b>	<b>3636</b>
с. Гродеково – г. Хабаровск	9950	1,96	2,58	<b>788</b>	<b>1037</b>	<b>5082</b>
г. Хабаровск – г. Комсомольск-на-Амуре	4450	1,96	2,58	679	894	491
Расход						
с. Кумара – с. Гродеково	1114	1,96	2,58	<b>788</b>	<b>1037</b>	<b>3755</b>
с. Гродеково – г. Хабаровск	1030	1,96	2,58	<b>799</b>	<b>1052</b>	<b>3930</b>
г. Хабаровск – г. Комсомольск-на-Амуре	3481	1,96	2,58	689	907	552

*Примечание:* выделены расчетные критерии, превышающие критические значения, что указывает на нарушение однородности рассматриваемых рядов.

Трендовый анализ подтверждает вышеизложенное (рис. 1–2). Тренд максимальных расходов в створе у с. Кумара оказался положительным, а в створе у с. Гродеково – отрицательным, что свидетельствует о непосредственном влиянии зарегулированности р. Зеи.

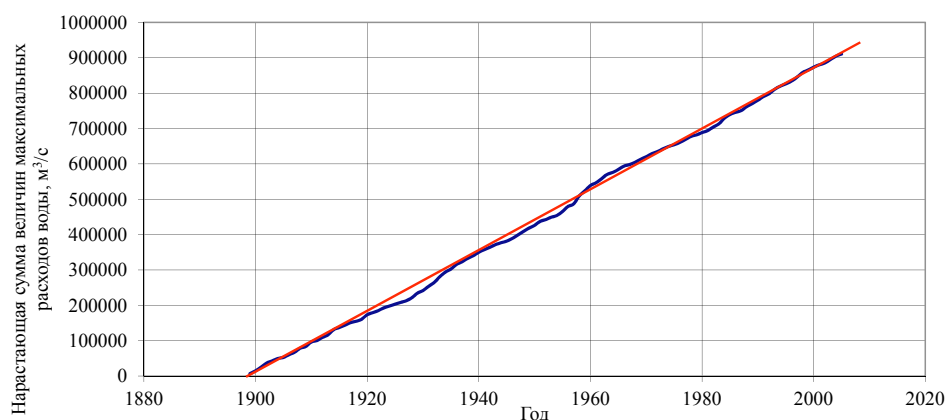




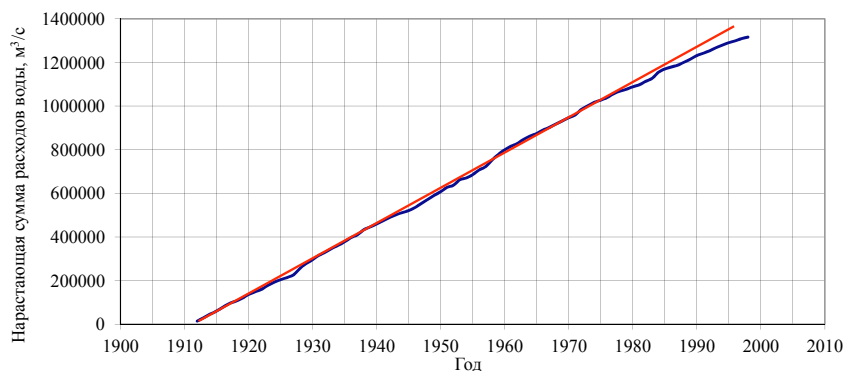
**Рис. 2.** Тенденция изменения во времени максимальных расходов воды р. Амур (створ с. Гродеково).

Это положение нашло свое подтверждение и при сравнении интегральных кривых максимальных в году расходов воды (рис. 3–6). При этом выявлено следующее:

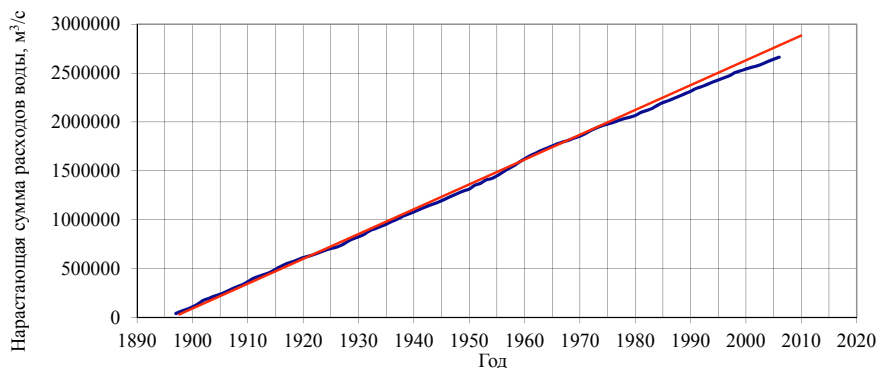
- кривая, построенная для створа у с. Кумара, стремится к прямолинейной зависимости;
- кривые, построенные для створов у с. Гродеково и г. Хабаровска, имеют явное отклонение от прямолинейной зависимости, начиная с 1975 г. – начала эксплуатации Зейского гидроузла;
- кривая, построенная для створа у г. Комсомольска-на-Амуре, до 2001 г. представлена прямолинейной линией, далее наблюдается слабое снижение максимальных расходов воды.



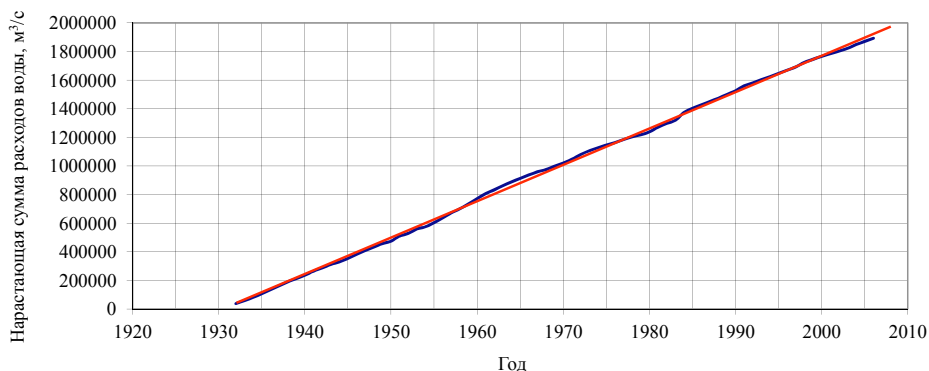
**Рис. 3.** Изменение во времени нарастающей суммы максимальных расходов воды р. Амур (створ – с. Кумара).



**Рис. 4.** Изменение во времени нарастающей суммы максимальных расходов воды р. Амур (створ – с. Гродеково).



**Рис. 5.** Изменение во времени нарастающей суммы максимальных расходов воды р. Амур (створ – г. Хабаровск).



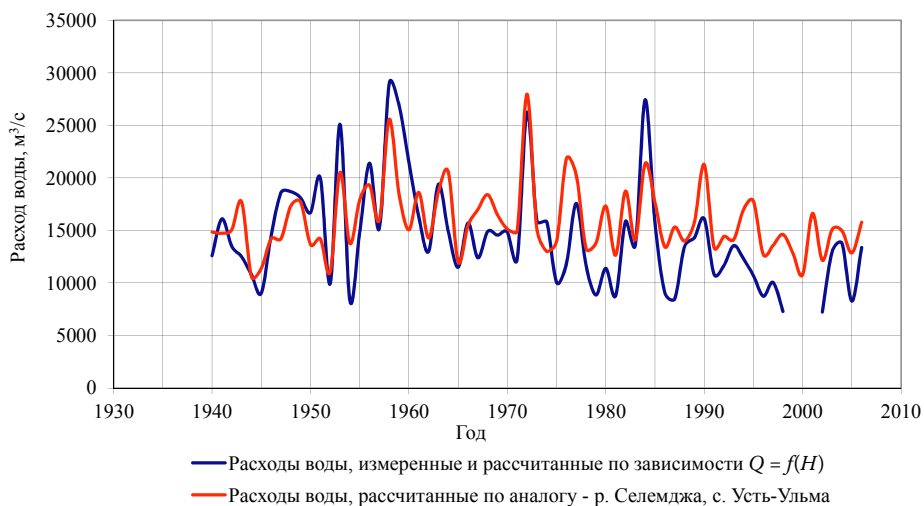
**Рис. 6.** Изменение во времени нарастающей суммы максимальных расходов воды р. Амур (створ – г. Комсомольск-на-Амуре).

Для подтверждения факта уменьшения максимальных расходов в р. Зее ниже водохранилища Зейской ГЭС использован метод восстановления максимальных значений стока Зеи у г. Белогорье и Амура у с. Гродеково по реке-аналогу. В качестве реки-аналога взята р. Селемджа, практически не подверженная изменениям водного режима. Коэффициенты корреляции максимальных расходов воды этих пар рек до 1975 г. – 0,80 и 0,73 соответственно.

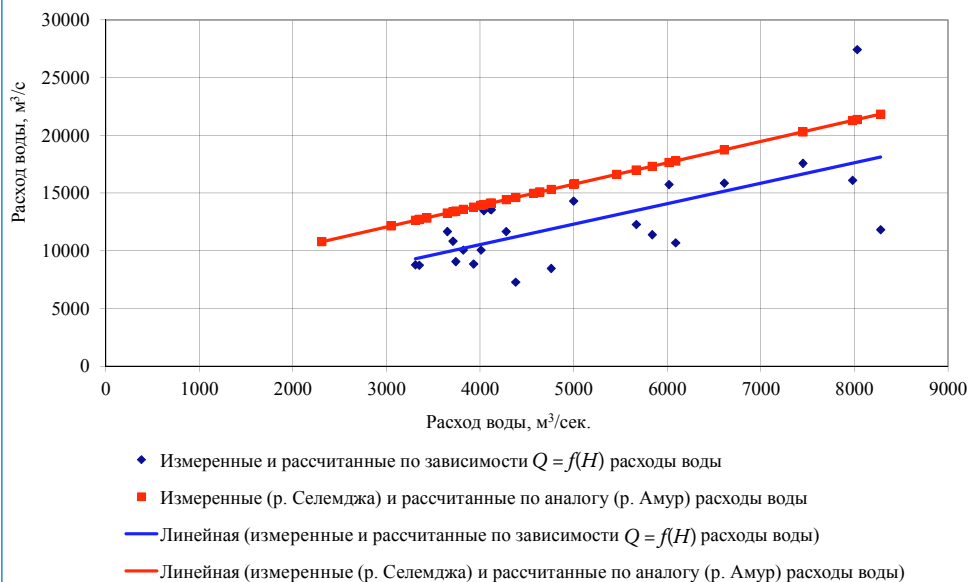
Оценка возможного изменения стока рек Зеи и Амура (в указанных выше пунктах наблюдений) осуществлялась путем сравнения рядов наблюдаемых максимальных расходов (в т. ч. восстановленных по зависимости  $Q = f(H)$  – р. Амур) и расходов, рассчитанных за период после 1975 г. по зависимостям:  $Q_{\text{макс}} (\text{р. Зейя} - \text{пос. Белогорье}) = f(Q_{\text{макс}} (\text{р. Селемджа} - \text{с. Усть-Ульма}))$ ;  $Q_{\text{макс}} (\text{р. Амур} - \text{с. Гродеково}) = f(Q_{\text{макс}} (\text{р. Селемджа} - \text{с. Усть-Ульма}))$ .

Сравнение полученных в результате расчетов и наблюдений данных проводили по графикам (рис. 7–9), отражающим динамику максимальных расходов за весь рассматриваемый период. Так, на рис. 7 и 8 показано, что с 1975 г. начинается уменьшение (относительно рассчитанных по аналогу) максимальных расходов воды рек Зея и Амур. После 1975 г. практически параллельно сдвинулись вниз (относительно расчетных) тренды, характеризующие зависимости измеренных расходов воды, т. е. при сохранении общей тенденции происходит снижение величин максимальных расходов воды в Амуре (рис. 9).





**Рис. 8.** Динамика максимальных в году расходов воды р. Амур – с. Гродеково (измеренные и рассчитанные по реке-аналогу).



**Рис. 9.** Зависимости между максимальными в году расходами воды р. Селемджа (с. Усть-Ульма) и р. Амур (с. Гродеково).

Таким образом, результаты качественной оценки изменений максимальных характеристик водного режима позволили выявить следующее:

- на участке Амура между створами с. Черняево – с. Кумара изменение максимальных в году расходов не прослеживается;
- на участке от с. Гродеково до г. Комсомольска-на-Амуре имеет место трансформирование максимальных расходов воды, начиная с 1975 г.

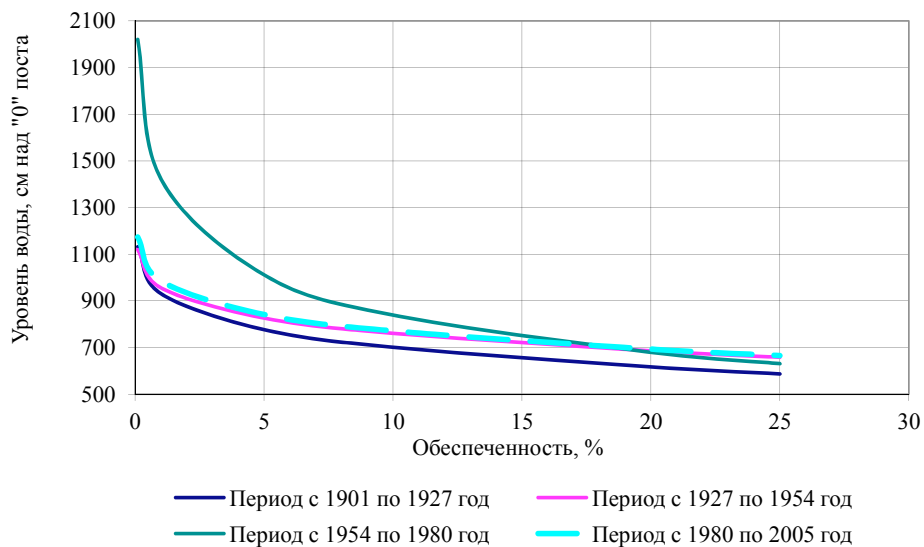
Кроме этого, следует отметить, что на рассматриваемом участке наблюдается некоторое снижение объемов годового стока. Возможно, это связано с потерями воды с Зейского водохранилища на испарение.

Кроме качественной оценки трансформации характеристик максимального стока проведено определение количественных показателей изменений максимальных расходов воды по длине Амура. Для этого были установлены периоды полных циклов изменения водности реки и величины максимальных расходов воды различной обеспеченности. Цикличность оценивали по разностной интегральной кривой годового стока [3] рассматриваемого водотока в створе у г. Хабаровска. Численные значения максимальных расходов воды определяли графоаналитическим методом. Всего было выделено четыре цикла (1901–1927 гг., 1927–1954, 1954–1980, 1980–2005 гг.), для каждого из которых проведен расчет максимального стока различной обеспеченности.

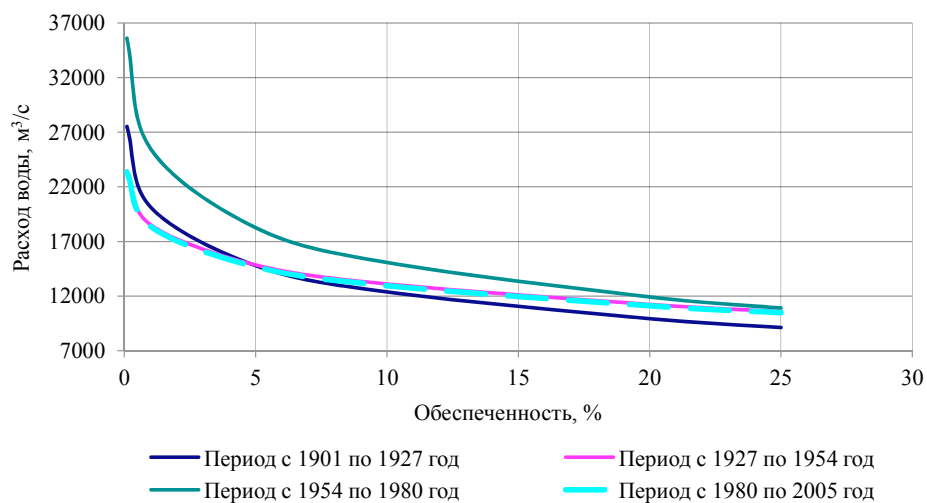
В основе последующей оценки лежит предположение о том, что каждому водному циклу Амура соответствуют свои максимальные характеристики водного режима. Возможность существования данной гипотезы для исследуемого водотока подтверждается, например, тем, что коэффициент корреляции между величинами годового стока и максимальными в году расходами воды р. Амур в створе у г. Хабаровска равен 0,84, что указывает на тесную связь между этими характеристиками. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о возможности проведения оценки изменения экстремальных (максимальных) характеристик водного режима различной обеспеченности путем сравнения их значений, полученных для сходных циклов изменения водности, соответствующих нарушенному и ненарушенному периодам стока.

Циклы изменения водности, соответствующие нарушенному и ненарушенному периодам стока, с близкими по величине экстремальными характеристиками водного режима определяли графическим способом путем построения кривых обеспеченности максимальных уровней и расходов воды (рис. 10–12). Зависимости, построенные для створов, расположенных у сел Черняево и Кумара, показывают, что циклам с наиболее близкими по величине характеристиками максимального стока отвечают периоды с 1927 по 1954 гг. (ненарушенный период) и 1980–2005 гг. (нарушенный период).



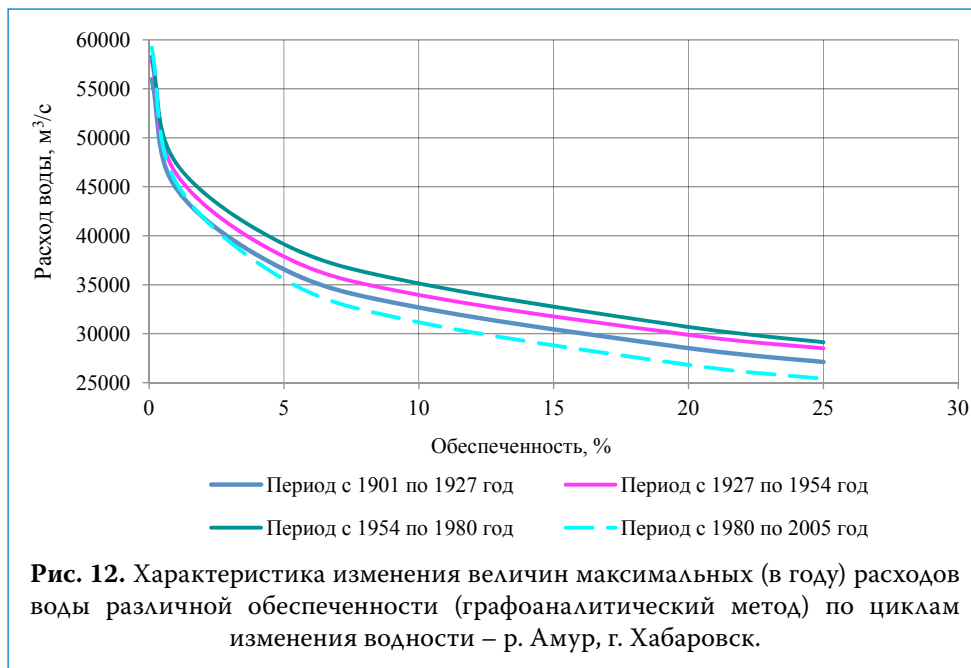


**Рис. 10.** Характеристика изменения величин максимальных (в году) уровней воды различной обеспеченности (графоаналитический метод) по циклам изменения водности – р. Амур, с. Черняево.



**Рис. 11.** Характеристика изменения величин максимальных (в году) расходов воды различной обеспеченности (графоаналитический метод) по циклам изменения водности – р. Амур, с. Кумара.

На рис. 12 представлены аналогичные зависимости, построенные для створа, расположенного у г. Хабаровска. Их сопоставление за периоды 1927–1954 гг. и 1980–2005 гг. указывает на изменение в меньшую сторону величин максимальных расходов воды для рассматриваемого створа. При этом, чем реже повторяемость этих характеристик, тем меньше выражена тенденция их снижения по сравнению с соответствующими характеристиками, определенными для периода ненарушенного стока. Подобный результат был получен и для створа у с. Гродеково.



Зависимости, построенные для створа у г. Комсомольска-на-Амуре, показали, что максимальные расходы 10–25 % обеспеченности, рассчитанные для нарушенного периода, сближаются с подобными расходами, рассчитанными для ненарушенного периода, а расходы более низкой обеспеченности (нарушенный период) становятся больше. Видимое влияние Зейского водохранилища на данную характеристику стока (по сравнению с ненарушенным периодом) здесь практически прекращается.

Для количественной оценки изменения исследуемой характеристики водного режима р. Амур расчетные значения максимальных расходов воды (ненарушенный и нарушенный период) сведены в табл. 4. Результаты анализа этих данных показывают, что на участке исследуемого водотока, расположенном выше устья р. Зеи, расхождения между значениями расходов

воды различной повторяемости, рассчитанными для сходных периодов с нарушенным и ненарушенным режимом стока, невелики. Ниже по течению (створы с. Гродеково и г. Хабаровск) расхождения достаточно велики и для интервала, ограниченного расходами 5–25 % обеспеченности составляют от 6,1 до 25,8 %. При этом наблюдается направленность к снижению значений характеристик, рассчитанных за период с нарушенным режимом стока. Максимальные уровни и расходы воды обеспеченностью 0,1–1,0 % менее подвержены изменениям. Причем, тенденция к снижению величин этих характеристик 0,1 % обеспеченности практически отсутствует, а для характеристик 1,0 % обеспеченности понижение значений минимально. У г. Комсомольска-на-Амуре тенденции к снижению расчетных обеспеченных максимальных расходов воды либо прекращаются, либо снижаются.

**Таблица 4.** Показатели изменения величин максимальных расходов воды различной обеспеченности для сходных циклов изменения водности

Период, год	Обеспеченность, %					
	0,1	1	5	10	20	25
Расход воды в створе с. Кумара						
1927 – 1954	23 440	18 534	14 857	13 112	11 238	10 587
1980 – 2005	23 346	18 378	14 682	12 948	11 112	10 480
$\Delta Q$	94	156	175	164	126	107
%	<b>0,4</b>	<b>0,84</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,0</b>
Расход воды в створе с. Гродеково						
1927 – 1954	41 187	32 993	26 827	23 886	20 707	19 597
1980 – 2002	42 516	30 868	22 640	19 071	15 635	14 537
$\Delta Q$	-1329	2125	4187	4815	5072	5060
%	<b>-3,2</b>	<b>6,4</b>	<b>15,6</b>	<b>20,1</b>	<b>24,5</b>	<b>25,8</b>
Расход воды в створе г. Хабаровск						
1927 – 1954	57 827	46 342	37 873	33 956	29 884	28 500
1980 – 2005	59 220	45 452	35 561	31 169	26 819	25 394
$\Delta Q$	-1393	890	2312	2787	3065	3106
%	<b>-2,4</b>	<b>1,9</b>	<b>6,1</b>	<b>8,2</b>	<b>10,3</b>	<b>10,9</b>

### ВЫВОДЫ

Полученные в ходе проведенного исследования результаты позволили сделать следующие основные выводы. Зейское водохранилище является одним из основных факторов, влияющих на изменение максимальных в году расходов р. Амур в сторону понижения величины этой характери-

стики. Видимое снижение максимальных расходов под влиянием Зейского гидроузла наблюдается на участке между устьем р. Зея и створом у г. Хабаровска. Наибольшее влияние водохранилища проявляется в отношении экстремальных значений стока 5–25 % обеспеченности. Максимальные расходы воды обеспеченностью 0,1–1,0 % практически не подвержены видимому снижению.

Для решения поставленной задачи впервые оценка влияния данного водохранилища на экстремальные (максимальные) характеристики водного режима проводилась путем сравнения их значений различной обеспеченности, полученных для сходных циклов изменения водности, соответствующих нарушенному и ненарушенному периодам стока. Данный методологический подход дает возможность оценки не только качественных, но и количественных характеристик влияния гидроузла на экстремальные характеристики стока.

Предложенный метод может быть применен при комплексной оценке влияния регулирования стока водохранилищами на водный режим рек, поможет расширить представление о степени их возможных воздействий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеиздат. 1989. 335 с.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. М.: Наука, 1981. 721 с.
3. Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 432 с.

#### Сведения об авторе:

Белевцов Алексей Александрович, заведующий отделом мониторинга водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал (ДальНИИВХ), Россия, 690014, г. Владивосток, а/я 153; e-mail: iwfv@vlad.ru