УДК 556.536

К ОЦЕНКЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ СЫРДАРИИ

Р. И. Гальперин[1], Ж. А. Жанабаева[2]

[1]Д.г.н., профессор кафедры метеорологии и гидрологии факультета географии и природопользования (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан)
[2]Докторант 1-го курса кафедры метеорологии и гидрологии факультета географии и природопользования (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан)

Ключевые слова: максимальные уровни, максимальные расходы воды, пропускная способность сечения реки, расчетный период, водохранилище, экстремальные условия.

Аннотация. Количественная оценка поражающих факторов в нижнем течении Сырдарии встречает немалые трудности в связи со значительной и существенно переменной во времени антропогенной нагрузкой на водный объект. Посредством анализа многолетнего хода максимальных расходов воды и изменения кривых зависимости расходов от уровней воды исследовано изменение пропускной способности сечения Сырдарии в разных створах. На этой основе выбран расчетный период, характеризующий современную гидрологическую ситуацию. Оценены максимальные уровни и расходы воды редкой повторяемости.

Введение. Угроза наводнений в нижнем течении Сырдарии практически ежегодная. Соответственно каждый год выявляются опасные участки, наращиваются защитные дамбы [1]. К примеру, по сведениям из Интернета в Кызылординской области насчитывают 50 наиболее опасных участков со 171 предприятием в их пределах. В 2005 г. здесь в связи с угрозой наводнения была объявлена чрезвычайная ситуация и отселены 25 тыс. человек. Коксарайский контррегулятор несколько снизил опасность, но отнюдь не исключил ее. Так, в 2012 г. был риск переполнения обоих водохранилищ: и Шардаринского, и Коксарайского. Пришлось срочно вести переговоры с узбекской стороной о направлении в Арнасайское понижение сырдариинской воды с расходом 100 м^3/с. А к зиме 2015 г. в преддверии грядущей опасности в Кызылординской области было подготовлено 86 сборных эвакуационных пунктов и 100 приемных (и это при наличии Коксарая!).

Естественно, нужны количественные оценки возможных угроз в самых экстремальных условиях. Однако статистическая оценка гидрологических экстремумов для расчета соответствующих рисков затруднена рядом факторов – и не в последнюю очередь антропогенных. В частности, меняется объем попусков воды по реке в пределы РК. Так, до 1960 г. средний расход воды в районе Шардары составлял 735 м^3/с. С 1961 г. в связи с увеличением заборов воды на сельхознужды выше по течению он уменьшился в среднем до 550 м^3/с, а в 1974–1987 гг. – до всего лишь 272 м^3/с, причем в Аральское море почти ничего не поступало. Затем поступление воды снова увеличилось, и в 1988–2004 гг. средний расход в районе Шардары составил 528 м^3/с. Более того, переход в 1993 г. работы водохранилищ в верхнем течении реки на энергетический режим эксплуатации серьезно нарушил ее естественный гидрологический режим. Так, объем стока зимнего периода составил в среднем около 2/3 годового, тогда как ранее он был менее 50 % от него.

В результате создания водохранилищ и изменения объема стока произошли интенсивные русловые процессы. Так, сброс осветленной воды в нижний бьеф Шардаринского водохранилища с неизбежностью привел к усилению размыва русла на участке непосредственно ниже плотины, а ниже по течению реки уменьшение стока в сравнении с естественным вызвало некоторое заиление русла и снижение его пропускной способности. Ситуация тем более сложная, что высокие уровни воды на значительном протяжении рассматриваемого участка связаны с ледовыми явлениями, в

частности с заторно-зажорными, а кроме того, существенно сказывается и влияние локальных гидротехнических сооружений – дамб обвалования и др.

Следует сказать, что и в естественных условиях на большей части казахстанского участка Сырдарии преобладали максимумы уровня воды холодного периода, то есть связанные с ледовыми явлениями. Максимальный уровень воды H_{max} мог отмечаться в любой месяц этого периода – и при отсутствии ледостава на реке, и при его наличии. В работе [2] приведена такая статистика. В 1948–1960 гг. (условно-естественный период) на казахстанском участке Сырдарии ниже Шардары из 86 случаев наводнений 62 произошли зимой. Было зафиксировано 146 заторов льда, и примерно половина из них привела к наводнениям и ущербам. Из проанализированных случаев 60 % заторов льда произошли при вскрытии реки, 34 % – в период ее замерзания и 6 % – в период ледостава. Естественно, переход эксплуатации верхних водохранилищ на энергетический режим только увеличил роль ледовых явлений в формировании годовых максимумов уровня воды в нижнем течении реки. Проблема зимних наводнений обострилась, в том числе и в связи с уменьшением пропускной способности русла реки в период резкого снижения попусков в пределы РК.

Исходные материалы и предыдущие исследования. В связи со сложной динамикой режимных характеристик реки актуальна постановка вопроса о назначении расчетного периода для оценки экстремальных расходов и уровней воды, характеризующих именно современную ситуацию: с современными расходами воды и при современной пропускной способности русла. Конечно, ситуация может опять измениться, но на ближайшие годы такая оценка может быть относительно достоверной.

Результаты аналогичной работы, выполненной ранее, изложены в статье [3]. Тогда изменение пропускной способности русла в разных створах реки и динамика этого процесса оценивались по изменению кривых $Q = f(H)$ – зависимости расходов от уровней воды. Поскольку накопилась новая информация, характеризующая именно современное состояние, целесообразно уточнить эти данные, включая сами расчетные характеристики, что и сделано в настоящей статье.

Коснемся результатов предыдущего исследования. При этом заметим, что пропускную способность русла в лучшей мере характеризуют данные теплого периода, без ледовых явлений. Понятно также, что в холодный период различные ледовые явления – ледоход, затор, зажор по-разному влияют на уровни воды в реке. Тем не менее ряд максимальных уровней можно статистически обрабатывать как единый. Ведь любой гидрологический процесс многофакторный.

Результаты исследования и их обсуждение. Итак, некоторые результаты работы [3].

Пост в нижнем бьефе Шардаринского вдхр. Максимальные уровни воды H_{max} практически всегда приходились на период открытого русла. В течение 1985–2004 гг. пропускная способность сечения почти непрерывно увеличивалась. Тем не менее за расчетный период предложено использовать 1985–2004 гг.

Пост Тюмень-Арык. Зимние кривые заметно выше летних в области малых расходов воды, а в области высоких расходов разница невелика. Так что возможна обработка единого ряда годовых H_{max}. В общем за 20-летний период преобладала тенденция к понижению пропускной способности сечения реки. Но в целом динамика процесса сложная, а наибольшая пропускная способность русла отмечалась в 1994–1997 гг.

Пост г. Казалинск. Почти все годовые максимумы уровня приходятся на холодный период. Появление ледовых форм здесь возможно уже с середины октября, а их исчезновение – уже в середине апреля. Ледовая обстановка в день H_{max} может быть разнообразной, и динамика кривых $Q = f(H)$ не свидетельствует об уменьшении пропускной способности сечения. Но отмечается, что связи уровней и расходов воды очень слабые.

Итак, поскольку в створах наблюдений H_{max} обычно приходятся на один и тот же период года, целесообразна статистическая обработка их значений как единого ряда по каждому створу – без разделения на летние и зимние.

Обратимся к рядам, пополненным наблюдениями до 2013 г.

Сначала о максимальных расходах воды. На рисунке 1 представлен их многолетний ход в створе нижнего бьефа Шардаринского водохранилища. Данные за старые годы весьма отрывочны. Но вполне очевидно, что в первую половину прошлого века максимумы стока были очень высоки. В период пониженных попусков из-за пределов республики в 70–80-х годах они были сравнительно низкими, а в 1990–2000-х годах после увеличения попусков снова несколько повысились. Совершенно очевидно, что ряд неоднороден.

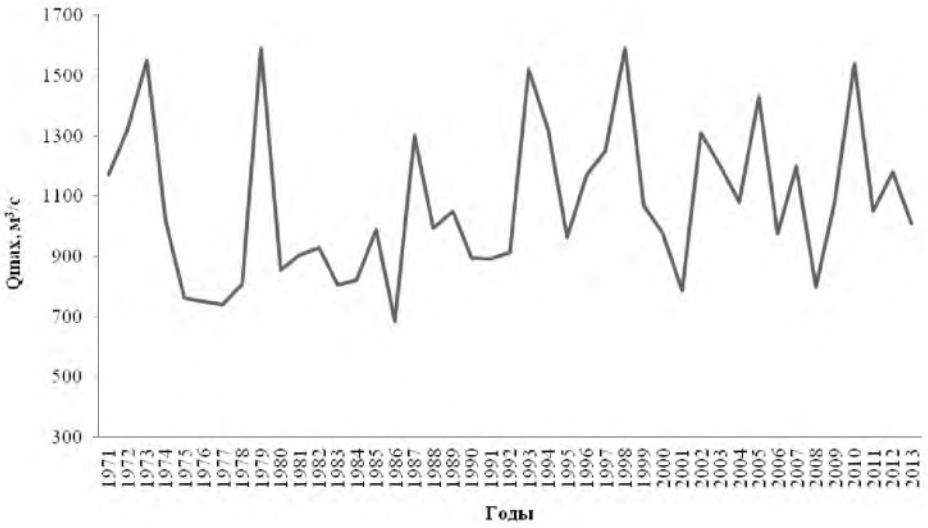

Рисунок 1 – Ход максимальных расходов воды р. Сырдарии в створе нижний бьеф Шардаринского водохранилища

Несколько иная картина, к примеру, по пункту Тюмень-Арык (рисунок 2). Здесь также максимумы 40–50-х годов и даже 60-х были весьма велики, затем произошло резкое падение их значений, но в 1990–2000-х годах они, как и в нижнем бьефе Шардаринского водохранилища, снова возросли, хотя остались значительно ниже, чем в первом периоде. По нижерасположенным постам ход Q_{max} может быть несколько иным. В целом логично заключить, что современную ситуацию характеризует период с 1989 г. – с момента увеличения притока воды по реке в пределы РК.

Рисунок 2 – Ход максимальных расходов воды р. Сырдарии в створе ст. Тюмень-Арык

В основу аналогичных выводов в отношении уровней воды положен анализ динамики связей расходов и уровней воды. При этом для общих выводов, как отмечалось, предпочтение отдавалось кривым теплого периода.

В таблицах 1 и 2 приведены координаты связи среднемесячных расходов воды и среднемесячных уровней воды (над "0 поста") для теплого и холодного периодов. При этом практически во все годы годовой максимум уровня отмечался при свободном ото льда русле.

Не вызывает сомнений общее увеличение пропускной способности сечения реки, что, конечно же, связано с размывом русла осветленным потоком сбросной воды. Но при относительно низком уровне воды – 200 см над "0 поста" – с 1999 г. ситуация практически стабильна, хотя в отдельные годы (2002, 2012) налицо резкие временные изменения связи. Высокие же расходы воды в течение рассматриваемого периода сечение реки теперь стало пропускать при уровнях примерно на 1 м ниже, чем в начале периода. Но при этом отсутствие значительных изменений фиксируется уже с 1996 г. Что касается связей для холодного периода, то здесь можно бы даже заключить об уменьшении пропускной способности сечения в последние годы. Но это, видимо, связано с особенностями ледовых явлений.

Таблица 1 – Координаты кривых Q = f(H) в створе поста р. Сырдария – нижний бьеф Шардаринского водохранилища в разные годы в теплый период

H, см	1985–1988	1989	1990	1991–1992	1993–1995	1996–1998	2002	2003–2004	2005	2006–2009	2010–2011	2012	2013
25					90,0			145		140	170		210
50	25,0				135	150		200		190	210	390	260
75	55,0				170	190		245		240	270	440	310
100	90,0			120	215	230		300		300	325	500	370
125	135			175	265	295		370		383	385	580	440
150	190		200	240	315	365	400	450	450	458	460	655	515
175	250	250	280	325	370	440	475	530	525	532	530	750	595
200	310	310	365	400	445	535	555	620	600	622	610	850	670
225	380	380	455	495	530	635	660	705	680	718	715	955	775
250	465	465	550	585	630	750	770	805	770	788	825		
275	555	555	650	700	755	885	870	925	870	895	925		
300	640	655	750	805	875	1020	980	1045		1005	1030		
325	725	770		935	990	1150		1180		1118	1145		
350	815	880			1110	1290		1340		1200	1245		
375	910	980			1245	1425		1490			1390		
400	1000	1085			1370	1600		1600			1530		
425	1110	1200			1480								
450	1215				1600								
475	1335												

Таблица 2 – Координаты кривых Q = f(H) в створе поста р. Сырдария – нижний бьеф Шардаринского водохранилища в разные годы в холодный период

H, см	1985–1988	1989–1990	1991–1993	1994–1992	1993–1995	1996–1997	2000–2001	2002	2003–2004	2005	2006–2008	2009	2010–2011	2012–2013
100	75	100		210										
125	105	138		252	270	283	337					150		
150	163	200	250	307	345	372	410	390	478		450	200		
175	213	257	318	373	425	462	492	478	537		530	250		
200	268	322	400	450	522	560	590	570	620	640	608	315		
225	338	400	487	550	633	663		663	717	680	675	385		
250	425	485	588	663	820	810			805	775	778	450		490
275	523	613	713						900		860	535	535	560
300											960	625	620	660
325												715	715	755
350													815	900
375													925	1010
400														1150

Общий вывод: для получения статистических характеристик максимальных уровней в данном створе, отражающих современную ситуацию, целесообразно ограничение расчетного периода. В итоге выбран период 1996–2013 гг.

Аналогичные данные по створу ст. Тюмень-Арык для теплого периода представлены в таблице 3. Картина в общем сложная, но при высоких уровнях воды четко выраженной тенденции не прослеживается. В итоге принято решение: статистические характеристики максимальных уровней воды оценивать по ряду с 1989 г. – с начала периода относительно высоких расходов воды в реке.

По створу г. Казалинск также не прослеживается четкой временной тенденции (таблица 4). Вывод аналогичный: статистические характеристики максимальных уровней воды оценивать по ряду с 1989 г. – с начала периода относительно высоких расходов воды в реке.

Итак, признано целесообразным статистические характеристики максимальных расходов воды во всех створах определять за период 1989–2013 гг., максимальных уровней воды по створу нижний бьеф Шардаринского водохранилища – за 1996–2013 гг., по остальным створам – также за период 1989–2013 гг.

Таблица 3 – Координаты кривых Q = f(H) теплого периода года в створе поста р. Сырдария – ж.д. ст. Тюмень–Арык в разные годы

H, см	1985–1989	1990–1993	1994–1997	1998	1999	2000–2001	2002–20003	2004	2005–2010	2011–2013
200						90				
225	35		125			110				
250	70		155			130				
275	108		190			158			120	210
300	150	132	225			190			155	270
325	190	175	265		345	225			195	348
350	235	215	310		387	268	345	240	210	420
400	338	305	408	415	480	367	410	330	313	570
450	450	425	525	480	590	475	540	440	425	678
500	585	560	675	558	707		675	515	563	
525	655	650	780	595	762		745	567	631	
550	740	750	885	638	825		810	620	698	
575	815	835	975	685	885		895	675	782	

Таблица 4 – Координаты кривых Q = f(H) теплого периода года в створе поста р. Сырдария – г. Казалинск в разные годы

H, см	1985–1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2006–2007	2008–2010	2011–2012	2013
150										20,0		
175	11,0						10,0			37,5		
200	21,0						18,0			55,0		
225	34,0						29,0	13,0		72,5		
250	40,0	31,0	30,0			57,0	45,0	24,0	45,0	95,0		
275	63,0	50,0	45,0			68,0	64,0	37,0	67,5	118		
300	80,0	61,0	63,0	61,0		85,0	83,0	53,0	92,5	138		
325	97,0	50,0	86,0	82,0		103	102	71,0	128	158	35,0	75,0
350	119	71,0	110	104		120	119	91,0	153	178	55,0	95,0
375	142	98,0	135	126	172	137	140	111	195	203	77,5	120
400	170		162	150	201	156	159	134	223	230	100	140
425	205		189		229	175	180	157	263	248	143	165
450	242		219		259	194	203	178	300	278	140	185
475	250		250		295	213		200	345	308	160	215
500	320		290		339	231		221	390	338	188	245
525						254			433	365	215	275
550									488	395	245	320
575									625		273	360
600											308	425
625											350	525
650											383	
675											435	

Для оценки максимальных расходов и уровней воды редкой повторяемости построены кривые обеспеченности этих характеристик по перечисленным створам за расчетный период до 2013 г. В отношении максимальных расходов и уровней воды данного участка реки Сырдария (как, впрочем, и для многих других рек) характерна ситуация, когда нижняя часть ранжированного ряда подчиняется одному закону распределения, а верхняя – другому. Иногда это положительная асимметричность распределения для низких Q_{max} и отрицательная или нулевая для высоких. В таких случаях целесообразно применение усеченных кривых распределения. Предлагается использование графоаналитического метода Г. А. Алексеева применительно лишь к части распределения, когда используются значения двух опорных ординат, снятых с эмпирической кривой, а коэффициент асимметрии назначается методом подбора [4]. Результаты расчетов даны в таблицах 5 и 6. На рисунке 3 представлено сравнение двух вариантов кривой обеспеченности максимальных уровней воды реки Сырдария в створе г. Казалинск. Первая кривая характеризует полное распределение при использовании для ее построения параметров, рассчитанных по полному ряду по стандартной методике.

Таблица 5 – Расчетные характеристики максимальных расходов воды р. Сырдария

Створ	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км^2	Кривая распределения	Cs	P, %			
					1	3	5	10
Р. Сырдария – нижний бьеф Шардаринского вдхр.	1633	174000	Усеченное	0	1810	1665	1590	1480
Р. Сырдария – ж.д. ст. Тюмень–Арык	966	219000	»	0	1340	1240	1180	1100
Р. Сырдария – г. Казалинск	181	–	Полное	0,42	935	836	785	710

Таблица 6 – Расчетные характеристики максимальных уровней воды р. Сырдария (над "0 поста")

Створ	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км^2	Кривая распределения	Cs	P, %			
					1	3	5	10
Р. Сырдария – нижний бьеф Шардаринского вдхр.	1633	174000	Усеченное	0	969	932	913	888
Р. Сырдария – ж.д. ст. Тюмень-Арык	966	219000	Полное	0,87	876	816	787	744
Р. Сырдария – г. Казалинск	181	–	Усеченное	-0,2	812	780	763	737

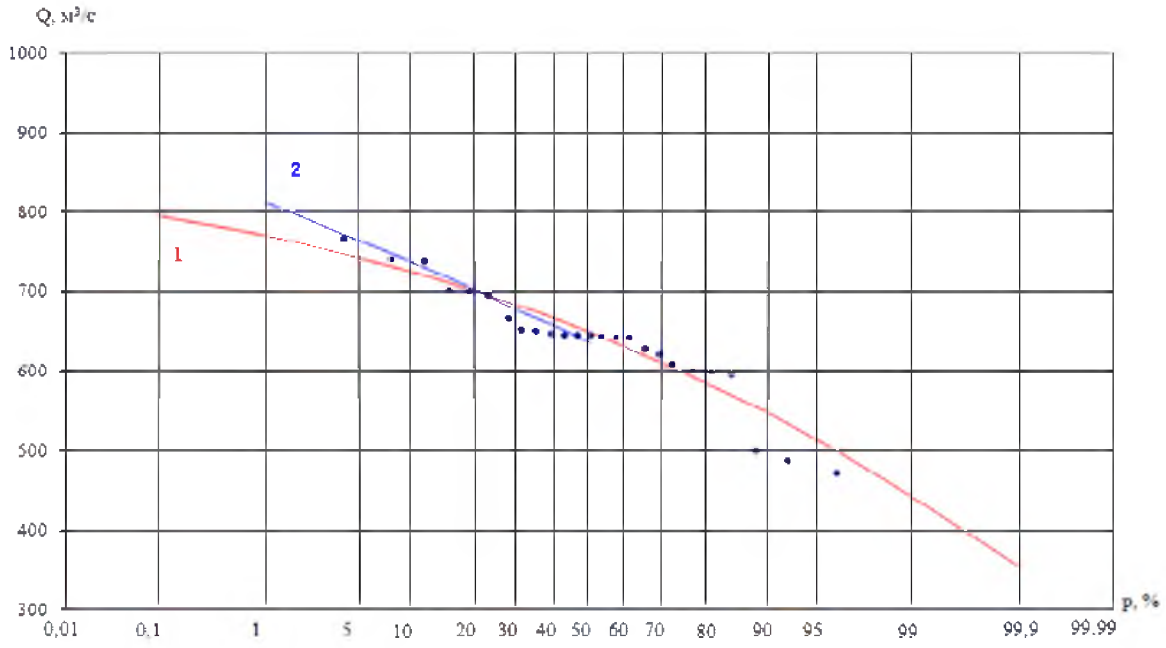

Рисунок 3 – Кривые обеспеченности максимальных уровней воды (над "0 поста") в створе р.Сырдария – г.Казалинск за 1989–2013 гг.: *1* – полное распределение; 2 – усеченное

При общем, казалось бы, неплохом соответствии кривой эмпирическим точкам все три самых низких значения уровня оказались ниже нее, а все три самых высоких – выше. Вторая кривая характеризует усеченное распределение только для относительно высоких уровней, при C_s = –0,20. По первой кривой $H_{1\%}$ равно 770 см, по второй – 812 см. Использование полного распределения занизило бы расчетный уровень почти на 0,5 м.

Угроза наводнений в нижнем течении Сырдарии практически ежегодная, и Коксарайский контррегулятор эту опасность не исключил. Актуален вопрос о количественной оценке основных

поражающих факторов наводнений. Гидрологическая ситуация здесь очень изменчива во времени, в том числе в связи с изменением пропускной способности сечений реки, и адекватная оценка этих количественных характеристик должна отражать именно сегодняшнюю ситуацию.

Анализ многолетнего хода максимальных расходов воды, а также временной изменчивости кривых Q = f(H) позволил сделать вывод о целесообразности назначения расчетного периода для максимальных расходов и уровней воды 1989–2013 гг., и лишь для максимальных уровней в створе нижний бьеф Шардаринского водохранилища, где пропускная способность сечения реки особенно изменчива, – 1996–2013 гг.

На этой основе рассчитаны характеристики Q_{max} и H_{max} редкой повторяемости в трех створах. По данным института «Казгидпроводхоз», в частности, по створу нижний бьеф Шардаринского водохранилища максимальный расход воды повторяемостью раз в 100 лет может несколько превосходить 1800 м^3/с (что близко к проектному значению максимального сброса с плотины), по створу ж.д.ст. Тюмень-Арык – 1300 м^3/с, в створе г. Казалинск – 900 м^3/с.

При этом в виду неоднородности рядов в некоторых случаях использовано усеченное распределение в варианте, разработанном в КазНУ.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Шонбаева Г.А., Шегенбаев А.Т. Анализ процессов размыва и заиления русла низовья реки Сырдарья // Вестник КазНТУ. – 2014. – № 3. – С. 35-39.

[2] Каракузиева Т.Ж. Проблема наводнений современного периода в низовье реки Сырдарьи // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки: материалы XIX Международной студенческой научно-практической конференции. – № 5(19). URL: http://sibac.info/archive/nature/5(19).pdf (дата обращения: 27.04.2016)

[3] Гальперин Р.И., Белгожаева А.А. Максимальные уровни воды в нижнем течении Сырдарьи // Гидрометеорология и экология. – 2006. – № 4. – С. 41-52.

[4] Гальперин Р.И., Авезова А. К методике оценки экстремальных гидрологических характеристик // Вопросы географии и геоэкологии. – 2009. – № 3-4. – С. 26-33.

REFERENCES

[1] Shonbaeva G.A., Shegenbaev A.T. Analysis of the processes of erosion and silting of the riverbed downstream the Syrdarya River // Herald of KazNTU. 2014. Vol. 3. P. 35-39 (in Russian).

[2] Karakuzieva T.Zh. The problem of flooding of the modern period in the lower reaches of the Syrdarya River // Scientific community of students of XXI century. Natural Sciences: Proceedings XIX International Student Scientific-practical Conference. N 5(19). URL: http://sibac.info/archive/nature/5(19).pdf (reference date: 27/04/2016) (in Russian).

[3] Galperin R.I., Belgozhaeva A.A. Maximum water levels in the lower reaches of the Syrdarya River // Hydrometeorology and ecology. 2006. N 4. P. 41-52 (in Russian).

[4] Galperin R.I., Avezova A. To the method of assessment extreme hydrological characteristics // Questions of Geography and Geoecology. 2009. N 3-4. P. 26-33 (in Russian).

СЫРДАРИЯНЫҢ ТӨМЕНГІ АҒЫСЫНДА ТӨТЕНШЕ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН БАҒАЛАУ

Р. И. Гальперин[1], Ж. А. Жанабаева[2]

[1]Г.ғ.д., география және табиғатты пайдалану факультеті, метеорология және гидрология кафедрасының профессоры (әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан)

[2] География және табиғатты пайдалану факультеті, метеорология және гидрология кафедрасының докторанты (әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан)

Түйін сөздер: ең жоғары су деңгейі, ең жоғары су өтімдері, өзен қимасының су өткізу қабілеті, есептік кезең, су қойма, төтенше жағдайлар.

Аннотация. Су нысанына түсетін уақыт бойынша айтарлықтай және елеулі айнымалы антропогендік жүктемеге байланысты үлкен байланысты Сырдарияның төменгі ағысында су тасудың зақымдауыш факторларын сандық бағалауда қиындықтар туындайды. Ең жоғары су өтімдерінің көпжылдық жүрісін және су деңгейі мен су өтімдерінің байланыс қисықтарының өзгерістерін талдау арқылы әртүрлі тұстамадағы Сырдария өзені қимасының су өткізу қабілеті зерттелген. Осының негізінде қазіргі заманғы гидрологиялық жағдайын сипттайтын есептік кезең таңдалды. Сирек қайталанатын ең жоғары су деңгейлері мен су өтімдері бағаланған.

TO THE ASSESSMENT OF EXTREME HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE LOWER REACHES OF THE SYRDARYA RIVER

R. I. Galperin[1], Zh. A. Zhanabaeva[2]

[1]Doctor of Geographic Sciences, Professor of Meteorology and Hydrology Department, Faculty of Geography and Environmental Sciences (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan)
[2]PhD student of Meteorology and Hydrology Department, Faculty of Geography and Environmental Sciences (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan)

Keywords: maximum water levels, the maximum water discharges, bandwidth-section of the river, the calculation period, the reservoir, the extreme conditions.

Abstract. Quantitative estimation of the damaging factors in the lower reaches of the Syrdarya encounters considerable difficulties due to significant and essentially variable in time anthropogenic impact on the water object. Through the analysis of long-term variation of maximum water runoff and changing curves of water discharges from the water levels change bandwidth aptitude of capacity of the Syrdarya sections in different posts was studied. On this basis, the calculation period that characterizes modern hydrological situation were selected. Estimated maximum water levels and water discharged of repeatability.