

УДК 556.54

Доктор техн. наук
Доктор техн. наук
Кандидат техн. наук

Ж.С. Мустафаев¹
А.Т. Козыкеева¹
А.А. Сагаев²
Е.Н. Алимбаев²

АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В НИЗОВЬЯХ РЕКИ СЫРДАРЬЯ

Ключевые слова: река, бассейн, гидрология, режим, естественный, антропогенный, современный, анализ, оценка, уравнение

На основе анализа информационно-аналитических материалов Главного управления гидрометеорологической службы СССР, РГП «Казгидромет» и «Арало-Сырдарьинской бассейновой инспекции по регулированию использования и охране водных ресурсов» Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан произведена оценка антропогенного изменения стока в низовьях реки Сырдарья по гидрологическим постам, с определением коэффициента усыхания, характеризующегося уменьшением пропускной способности реки под влиянием не только изменения гидрологического режима реки в верховьях, но и хозяйственной деятельности, проведенной в водосборах бассейна реки.

Введение. В настоящее время в бассейне реки Сырдарья сложилась катастрофическая водно-экологическая обстановка, что объясняется, прежде всего, его трансграничным положением, а также приуроченностью нижней части бассейна к засушливым внутриконтинентальным районам, где река почти не принимает притоков. Усугубляет ситуацию то, что именно на этих участках в пределах Казахстана река Сырдарья является основной водной артерией и источником водообеспечения населения и различных отраслей хозяйства, к ее долине тяготеют основ-

¹Казахский Национальный Аграрный Университет, г. Алматы, Казахстан.

²Кызылординский государственный университет имени Коркыт-Ата, г. Кызылорда, Казахстан.

ные ареалы заселенности, а также промышленной и сельскохозяйственной освоенности.

Нерациональная хозяйственная деятельность на водосборе, включая использование водных ресурсов, также оказывает большое влияние на экологическое состояние бассейно-речной системы в низовьях реки Сырдарья [1, 3, 5, 9, 10, 11, 12, 13].

Цель исследования заключалась в том, чтобы на основе анализа информационно-аналитических материалов Главного управления гидрометеорологической службы СССР, РГП «Казгидромет» и «Арало-Сырдарьинской бассейновой инспекции по регулированию использования и охране водных ресурсов» Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан произвести оценку изменения стока в низовьях реки Сырдарья под воздействием хозяйственной деятельности.

Объект исследований. Сырдарья – вторая по водности и первая по длине река Центральной Азии. От истоков Нарына ее длина составляет 3019 км, а площадь бассейна 219 тыс. км². Истоки Сырдарьи лежат в Центральном (Внутреннем) Тянь-Шане. После слияния Нарына с Карадарьей реку называют Сырдарьей. Питание реки ледниковое и снеговое, с преобладанием последнего. Для водного режима характерно весенне-летнее половодье. Наибольший сток приходится на июнь. Основной сток Сырдарьи формируется на территории Кыргызской Республики. Затем Сырдарья пересекает Узбекистан и Таджикистан и впадает в Аральское море на территории Казахстана. Общая длина русла в водосборе реки Сырдарьи 22212 км и площадь бассейна составляет 219 000 км² [1, 7, 10...13].

В водосборе бассейна реки Сырдарья созданы несколько водохранилищ: Токтогульское (19,5 км³, Кыргызстан), Кайраккумское (4,2 км³, Таджикистан), озеро Айдаркуль (41 км³, Узбекистан) и Шардаринское (5,7 км³, Казахстан). С целью урегулирования весенних паводков и сбросов воды с Токтогульской ГЭС Казахстан построил в Южно-Казахстанской области Коксарайское водохранилище (длина плотины 45 км) с объёмом в три миллиарда кубометров, которое впервые было заполнено весной 2010 года [15].

Сырдарья ранее впадала в Аральское море, но, ныне, вследствие катастрофического снижения его уровня и распада моря на две части в 1989 году, река впадает в северную часть моря, так называемое «Малое

море». Воды Сырдарьи в значительной мере разбираются на хозяйственные нужды, в связи с этим нынешний объём стока в устье снизился более чем в 10 раз (с 400 м³/с до 30 м³/с) по сравнению с условно-естественным периодом (до 1960 года) [7].

Материалы и методы исследования. Изучение многолетних гидрологических данных относительно гидрологических постов реки Сырдарьи, расположенных ниже Шардаринского водохранилища, проводилось по материалам Главного управления гидрометеорологической службы СССР, РГП «Казгидромет» и «Арало-Сырдарьинской бассейновой инспекции по регулированию использования и охране водных ресурсов» Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан [8, 14...17].

Гидрологическая изученность реки Сырдарьи в пределах нижнего течения сравнительно-удовлетворительная, так как наибольшую длительность наблюдений имеют гидрологические посты «Шардара», «Томенарык», «Кызылорда», «Казалинск» и верховьях реки Нарын гидрологический пост «Нарын» с 1911 по 2015 годы. При этом, постоянные наблюдения с 1911 года до настоящего время имеют гидрологические посты «Нарын» и «Шардара», которые могут служить как реки-аналоги при восстановлении среднегодового расхода реки по гидрологическим постам «Томенарык», «Кызылорда» и «Казалинск», то есть гидрологический пост «Нарын» расположен в зоне формирования стока реки Сырдарьи, а гидрологический пост «Казалинск», как замыкающий створ в зоне магазинирования стока.

Таким образом, в результате статистического анализа информационно-аналитических материалов Главного управления гидрометеорологической службы СССР, РГП «Казгидромет» и «Арало-Сырдарьинской бассейновой инспекции по регулированию использования и охране водных ресурсов» Комитет по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, для восстановления стока по гидрологическим постам по методу гидрологической аналогии получены уравнения регрессии с высоким коэффициентом корреляции (таблица 1).

Оценка влияния хозяйственной деятельности на формирование стока в водосборах бассейна реки сопряжена с большими трудностями, так как сложность их состоит в том, что влияние антропогенных факто-

ров приходится оценивать на фоне естественных колебаний стока и природных стокообразующих факторов.

Таблица 1

Сведения о реконструкции рядов среднегодового расхода воды
р. Сырдарья

Река пункт	Река аналоги, гидрологический пост	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Естественный режим			
Томенарык	Шардара	$Y=0,9742X$	$R=0,90$
Кызылорда	Шардара	$Y=0,8251X$	$R=0,87$
Антропогенный режим			
Томенарык	Шардара	$Y=0,7844X$	$R=0,93$
Современный режим			
Томенарык	Шардара	$Y=0,7655X$	$R=0,97$
Кызылорда	Шардара	$Y=0,5869X$	$R=0,93$
Казалинск	Шардара	$Y=0,4451X$	$R=0,89$

Результаты исследования. На основе использования уравнений регрессии, полученных при восстановлении среднегодовых расходов воды реки Сырдарья по гидропостам «Томенарык», «Кызылорда» и «Казалинск» методом гидрологической аналогии в годы отсутствия наблюдения, что позволило представить многолетний ход среднегодовых расходов воды в створах реки Сырдарья по гидрологическим постам Нарын, «Шардара», «Томенарык», «Кызылорда» и «Казалинск» (рис. 1...5).

Как показано на рисунках 1...5, многолетний и современный период имеет тенденцию к увеличению, которая наблюдается на гидрологических постах Нарын и Шардара, а на постах Томенарык, Кызылорда и Казалинск, расположенных ниже Шардаринского водохранилища, наоборот, наблюдается постоянное уменьшение среднегодового расхода воды. При этом, следует отметить, что в многолетнем колебании среднегодового расхода воды на гидрологическом посту Нарын, расположенного выше Токтогульского водохранилища и на гидрологическом посту Шардара, расположенного ниже Шардаринского водохранилища, за период наблюдений имеет место слабая положительная тенденция, которая особо не повлияла на общее направление изменения среднегодового расхода воды за многолетний период.

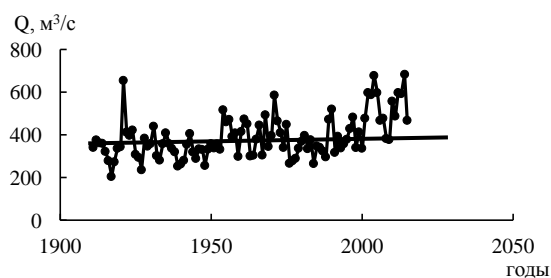


Рис. 1. Многолетний ход среднегодового расхода воды р. Сырдарья – г. Нарын.

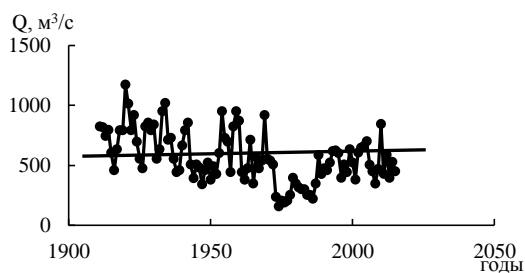


Рис. 2. Многолетний ход среднегодового расхода воды р. Сырдарья – г.п. Шардара (ниже Шардаринского водохранилища).

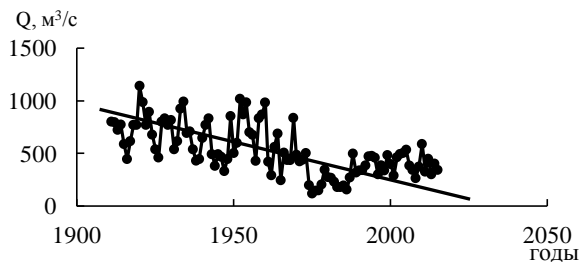


Рис. 3. Многолетний ход среднегодового расхода воды р. Сырдарья – г.п. Томенарык.

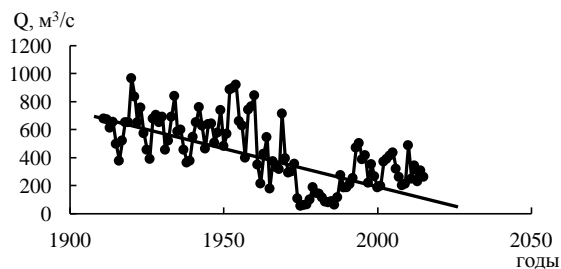


Рис. 4. Многолетний ход среднегодового расхода воды р. Сырдарья – г. Кызылорда.

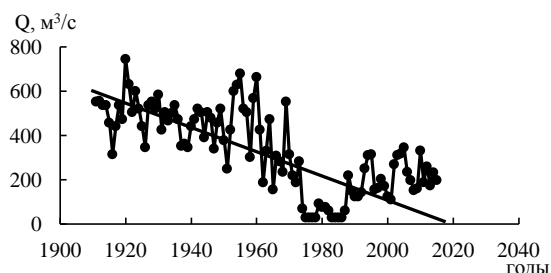


Рис. 5. Многолетний ход среднегодового расхода р. Сырдарья – г. Казалинск.

Таким образом, анализ данных наблюдений за среднегодовыми расходами воды в низовьях реки Сырдарья показал, что начиная с 1970-х годов среднегодовые расходы начали существенно меняться под влиянием антропогенных факторов и хозяйственной деятельности. На рисунке 6 приведены разностно-интегральные кривые стока по гидрологическим постам Нарын, Шардара, Томенарык, Кызылорда и Казалинск, а также линия тренда, начинающаяся от переломного периода, после которого сток начал уменьшаться (за 1970...2015 гг.) [2].

Таким образом, репрезентативный период определялся по разностным интегральным кривым среднегодового расхода воды в гидрологических постах, расположенных в бассейне реки Сырдарья.

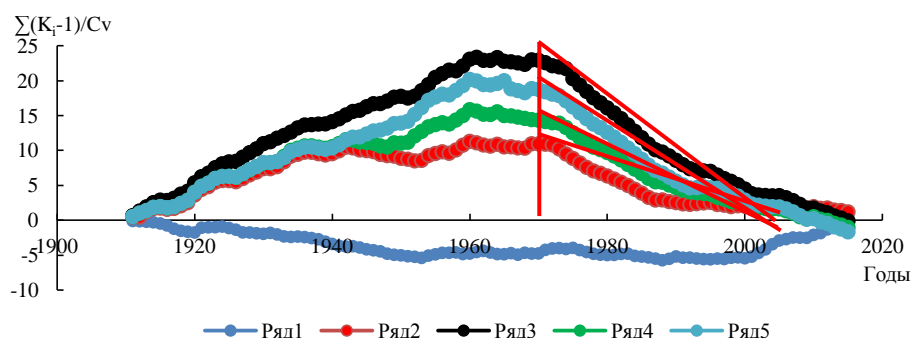


Рис. 6. Совмещенные разностно-интегральные кривые стока р. Сырдарья в гидрологических постах (1- г. Нарын; 2- ниже Шардаринского водохранилища (Шардара); 3- Томенарык; 4- г. Кызылорда; 5- г. Казалинск).

В качестве расчетного периода выбраны данные с 1911 по 2015 годы. Их можно разделить на три периода [7]: – условно естественный (1911...1970 гг.); – период устойчивого водопотребления – ирригационный

режим работы Токтогульской ГЭС (1976...1992 гг.); –период устойчивого водопотребления – энергетический режим работы Токтогульской ГЭС (1993...2015 гг.). Разделение периода устойчивого водопотребления на два связано с тем, что начиная с 1993 года, режим Токтогульского водохранилища изменился, то есть ранее оно работало в ирригационном режиме, сбросы из него проводились в основном в осенне-летний период, и составляли около 75 % от общего стока. В середине 90-х годов прошлого столетия режим работы Токтогульского водохранилища резко изменился, то есть для выработки необходимой для Кыргызстана электроэнергии основные попуски воды осуществлялись в зимние месяцы, в течение которых сбрасывалось около 60 % общего объема стока, что привело к некоторому увеличению среднегодового расхода воды в низовьях реки Сырдарья [7, 2, 4, 6].

Уравнения линии тренда (рисунок 6) имеют следующий вид:

- для г.п. Шардара (ниже Шардаринского водохранилища):
 $Y = -0,4796 \cdot X + 955,43$;
- для гидрологического поста Томенарык: $Y = -0,5000 \cdot X + 1010,46$;
- для г. п. Кызылорда: $Y = -0,3359 \cdot X + 675,73$;
- для г. п. Казалинск: $Y = -0,4463 \cdot X + 897,62$.

Сложившаяся гидрологическая ситуация в низовьях реки Сырдарья требует сбалансированного использования водных ресурсов. Это вызывает необходимость оценки воздействия антропогенных факторов на сток и гидрологический режим реки. Вопрос оценки направленности и величины речного стока под влиянием изменения климата и хозяйственной деятельности человека приобретает исключительно важное практическое и научно-методическое значение, т.к. его решение позволит учесть характер и степень изменения водных ресурсов, природных условий и комплексного обустройства водосбора речных бассейнов [7].

Таким образом, приведенная динамика изменения расходов воды в низовьях реки Сырдарья в гидрологических постах Шардара, Томенарык, Кызылорда и Казалинск в период наблюдений с 1911 по 2015 годов показала, что по мере зарегулирования стока в верховьях водохранилищными гидроузлами с 1955 по 1980 годы (Кайраккумское (1956 г.), Шардаринское (1965 г.), Шарвакское (1970 г.), Токтогульское (1975 г.) и Андижанское (1978 г.) с общей полезной емкостью 33,1 км³), начался процесс усыхания, который коренным образом изменил все гидравлические и геоморфологические условия протекания воды, показатели потока и русла.

Динамика усыхания реки выражается коэффициентом, учитывающим отношение расходов, оставленных в русле реки для сохранения его гидроэкологического равновесия между смежными гидропостами [15]:

$$\eta = Q_{noc} / Q_{np}, \quad (1)$$

где η – коэффициент усыхания реки; Q_{np} – расход верхнего гидропоста; Q_{noc} – расход нижнего гидропоста.

Изменение коэффициента усыхания реки между смежными гидрологическими постами ниже Шардаринского водохранилища относительно гидрологического поста Шардара приведено в таблице 2.

Анализ показателя коэффициента усыхания в низовьях реки Сырдарья ниже Шардаринского водохранилища за рассматриваемый период с интервалами 10 лет, показал, что между гидрологическими постами Томенарык, Кызылорда и Казалинск в неблагоприятных условиях находились участки ниже Кызылординского гидроузла, где коэффициент усыхания в период антропогенной деятельности (ирригационный режим работы Токтогульской ГЭС 1976...1992 гг.) составлял ниже 0,56.

Таблица 2

Изменение коэффициента усыхания в разные периоды антропогенных воздействий ниже Шардаринского водохранилища

Гидрологический пост	Показатели	Расходы воды р. Сырдарья по периодам, м ³ /с										
		1911...1920	1921...1930	1931...1940	1941...1950	1951...1960	1961...1970	1971...1980	1981...1990	1991...2000	2001...2010	2011...2015
Шардара	Q_{np}	764	777	673	525	699	542	304	349	533	562	479
Томенарык	Q_{noc}	744	757	655	559	798	493	282	266	406	436	367
	η	0,97	0,97	0,97	1,07	1,14	0,91	0,93	0,76	0,76	0,82	0,76
Кызылорда	Q_{noc}	631	738	546	611	733	387	170	137	329	332	281
	η	0,82	0,95	0,81	1,16	1,05	0,71	0,56	0,39	0,62	0,59	0,59
Казалинск	Q_{noc}	517	526	444	459	517	329	107	83,4	199	246	213
	η	0,68	0,68	0,66	0,88	0,74	0,61	0,35	0,24	0,37	0,44	0,44
Томенарык	Q_{np}	744,	757	655	559	798	493	282	266	406	436	367
Кызылорда	Q_{noc}	631	738	546	611	733	387	170	137	329	332	281
	η	0,85	0,97	0,83	1,09	0,92	0,78	0,60	0,51	0,81	0,76	0,77
Казалинск	Q_{noc}	517	526	444	459	517	329	107	83,4	199	246	213
	η	0,69	0,70	0,68	0,82	0,65	0,67	0,38	0,31	0,49	0,56	0,58
Кызылорда	Q_{noc}	631	738	546	611	733	387	170	137	329	332	281
Казалинск	Q_{noc}	517	526	444	459	517	329	107	83,4	199	246	213
	η	0,82	0,71	0,81	0,75	0,70	0,85	0,63	0,60	0,60	0,74	0,76

Таким образом, анализ многолетнего хода среднегодового расхода воды и разностные интегральные кривые по гидрологическим постам, расположенным ниже Шардаринского, показывают, что в низовьях Сырдарьи происходит интенсивный процесс усыхания реки.

Вывод. Для принятия целесообразного решения при использовании водных ресурсов исследуемого бассейна необходимо изменить современные принципы в сфере природопользования. Традиционные методы необходимо поменять на новые, базирующиеся на свойствах и законах природной среды, обеспечивающие экологическую устойчивость водной экосистемы в пространственно-временном масштабе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурлибаев М.Ж., Достай Ж.Д., Турсунов А.А. Арало-Сырдарьинский бассейн: гидрологические проблемы, вопросы вододеления. – Алматы: Дау-ир, 2001. – 180 с.
2. Бурлибаев М.Ж., Фащевский Б.В., Опп К., Бурлибаева Д.М., Кайдарова Р.К., Вагапова А.Р. Научные основы нормирования экологического стока рек Казахстана. – Алматы: Издательство «Канагат», 2014. – 408 с.
3. Взаимосвязь водных и энергетических ресурсов в Центральной Азии. Улучшение регионального сотрудничества в бассейне Сырдарьи. Регион Европы и Центральной Азии, Всемирный Банк, 2004. – 62 с.
4. Взаимосвязь водных и энергетических ресурсов в Центральной Азии: Улучшение регионального сотрудничества в бассейне Сырдарьи. – Вашингтон, Округ Колумбия, 2004. – 65 с.
5. Водно-энергетические ресурсы Центральной Азии: проблемы использования и освоение (отраслевой обзор). – Евразийский банк развития, 2008. – 44 с.
6. Водные ресурсы и адаптационные интервенции в Центральной и Западной Азии. – 2012. – 12 с.
7. Водные ресурсы Казахстан: оценка, прогноз, управление. Том IX. Внутренние и окраинные водоемы Казахстан (Арал, Балкаш, Каспий). Книга 1. – Алматы, 2012. – 456 с.
8. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Казахская ССР. Том 14. Вып. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 268 с.
9. Ибатуллин С.Р. Водные ресурсы Центральной Азии: современное состояние, проблемы и перспективы использования. – Алматы, 2013. – 144 с.

10. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т. Бассейн Аральского моря: прошлое, настоящее и будущее – Тараз, 2012. – 318 с.
11. Мустафаев Ж.С., Пулатов К., Козыкеева А.Т., Мустафаева Л.Ж. Пути улучшения природно-экологической ситуации в бассейне Аральского моря (Аналитический обзор). – Тараз, 1997. – 70 с.
12. Мустафаев Ж.С., Пулатов К., Козыкеева А.Т., Мустафаева Л.Ж. Экологическая оценка природных систем в зонах бассейна Аральского моря (Аналитический обзор). – Тараз, 1997. – 80 с.
13. Мустафаева Л.Ж., Сейдуалиев М.А. Эколого-экономическая эффективность использования водных и земельных ресурсов (на примере реки Сырдарья) (Аналитический обзор). – Тараз, 2003. – 80 с.
14. Оценка водных ресурсов и руслового баланса реки Сырдарья в пределах Казахстана. – Ташкент-Алматы, 2011. – 52 с.
15. Разработка комплекса неотложных и перспективных мероприятий по увеличению пропускной способности русла реки Сырдарья ниже Шардаринского водохранилища до впадения в Малый Арал с учетом ухудшения гидрологического режима и возросших антропогенных нагрузок: отчет НИР (заключительный). – Тараз, 2005. – 148 с.
16. Ресурсы поверхностных вод СССР. Средняя Азия. Бассейн реки Сырдарья. Том 14. Вып. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 256 с.
17. Ресурсы поверхностных вод. Основные гидрологические характеристики. Средняя Азия. Бассейн реки Сырдарья. Том 14. Вып. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 320 с.

Поступила 17.05.2019

Техника ғылым. докторы	Ж.С. Мустафаев
Техника ғылым. докторы	А.Т. Козыкеева
Техника ғылым. кандидаты	А.А. Сагаев
	Е.Н. Алимбаев

СЫРДАРЬЯ ӨЗЕНІНІҢ ТӨМЕНГІ АЛАБЫНДАҒЫ СУ АҒЫНЫНЫҢ ТЕХНОГЕНДІК ӨЗГЕРУІ

Түйін сөздер: өзен, алабы, гидрология, тәртібі, табиғи, техногендік, замандық, талдау, бағалау, тендеу.

ССРО-ның гидрометеорологиялық қызметінің бас басқармасының, «Қазгидромет» РМК-нің, Республика Қазақстанның ауылшаруашылық министрлігінің Су ресурстар

комитетінің «Арал-Сырдарья алабтық су ресурстарын падалану және қорғау инспекциясының» ақпараттық-талдау мәліметтерін талдаудың негізінде, Сырдарья өзенінің төменгі саласына орналасқан гидрологиялық бекеттер бойынша су ағынының өзгеруін, тек қана өзеннің жоғарғы жағындағы гидрологиялық тәртібтің өзгеруінің әсерінен, өзеннің су өткізу қаблетін төмендеуі, өзеннің сужинау алабындағы шаруашылық қызметтің әсерін сипаттайтын кебіу көрсеткіш анықтау арқылы, техногендік тұрғыда бағалау жүргізілген.

ZH.S. Mustafayev, A.T. Kozykeev, A.A. Sagaev, E.N. Alimbaev

ANTHROPOGENIC CHANGES IN DRAIN IN LOWERS OF THE SYRDARYA RIVER

Keywords: river, basin, hydrology, regime, natural, anthropogenic, modern, analysis, assessment, equation.

Based on the analysis of information and analytical materials of the Main Administration of the USSR Hydrometeorological Service, RGP «Kazgidromet» and the «Aral-Syrdarya Basin Inspectorate for Regulation of Use and Protection of Water Resources», the Committee on Water Resources of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan has estimated the anthropogenic flow change in the lower reaches of the Syrdarya River on hydrological posts, with the determination of the coefficient of desiccation, characterized by a decrease in the carrying capacity of the river under the influence of not only changes in the hydrological regime of the river in the upper reaches, but also economic activities carried out in the catchments of the river basin.