

УДК 502.656 (282.255.439)

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ  
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ СЫРДАРЬИ**

*Ж.С. Мустафаев, Н.И. Иванова, К.С. Абдывалиева*

На основе систематизации и системного анализа многолетних информационно-аналитических материалов РГП "Казгидромет" по загрязнению воды низовьев Сырдарьи произведена оценка качества воды и экологического состояния природной среды, которые позволяют определить интенсивность и направленность трансформации загрязняющих вещества в пространственно-временных масштабах в условиях антропогенной деятельности.

*Ключевые слова:* анализ; оценка; система; систематизация; загрязнения; вещества; экология; методика; трансформация.

---

**GEO-ECOLOGICAL EVALUATION OF TRANSFORMATION  
OF CONCENTRATION OF POLLUTANTS IN THE LOWS OF THE SYRDARYA RIVER**

*Zh.S. Mustafayev, N.I. Ivanova, K.S. Abdyvalieva*

On the basis of ordering and system analysis of long-term information and analytical materials RSE "Kazhydromet" Pollution of water downstream of the Syrdarya evaluated water quality and environmental conditions that allow us to determine the intensity and direction of the transformation of pollutants in the space-time scale in terms of human activities.

*Keywords:* analysis; evaluation system; systematization; dirt; water; material; ecology; state; anthropogenic nature; methods; transformation.

Рациональное использование и охрана водных ресурсов от загрязнения и истощения в бассейне Аральского моря были и остаются одной из важнейших гидроэкологических проблем в системе природопользования и обустройства речных бассейнов. Все более актуальной становится проблема загрязнения водных ресурсов Амударьи и Сырдарьи, являющихся основными водными объектами для бассейна Аральского моря в конце XX и в начале XXI вв., поскольку непрерывно увеличивается антропогенная нагрузка, и темпы использования водных ресурсов в несколько раз превышают возможно-допустимые пределы природной системы. При очень высоком темпе антропогенного воздействия и чрезмерной техногенной нагрузке в природной системе бассейна Аральского моря происходили изменения качества воды и нарушения существующих биоценозов бассейна рек Амударья и Сырдарья.

Таким образом, реки бассейна Аральского моря Амударья и Сырдарья находятся под многофакторным антропогенным воздействием, которое

воздействует на биотические и абиотические их характеристики. Для эффективного управления их гидроэкологическим состоянием необходимо иметь многолетние информационно-аналитические данные, характеризующие состояние управляемой системы, которые получают при проведении гидрологических, гидрохимических и гидробиологических наблюдений за водными объектами, а также данные обо всех существенных факторах влияния на это состояние с использованием методов всесторонней оценки состояния природных систем, позволяющих оценить качество воды.

Цель исследования – провести оценку экологического состояния нижнего течения Сырдарьи на основе многолетних наблюдений с помощью гидрохимических и гидробиологических показателей, а также определение индекса Шеннона для выявления факторов, негативно влияющих на экологическое состояние орошаемых массивов.

**Материалы и методы исследования.** Информационной базой для оценки качества воды и экологического состояния водных объектов

Таблица 1 – Концентрации загрязняющих веществ в речной воде низовьев Сырдарьи в пространственно-временном масштабе

Загрязняющее вещество, мг/л	Год				
	1985	1990	2000	2005	2010
Кокбулак					
БПК <sub>5</sub>					1,130
NH <sub>4</sub>	0,09	0,05	0,040	0,040	0,045
NO <sub>2</sub>	0,21	0,07	0,050	0,060	0,078
NO <sub>3</sub>	3,19	4,33	3,650	2,660	8,55
Cl	83,44	117,70	268,960	78,520	135,0
Cu	0,85	6,01	3,480	3,530	2,250
Zn	2,25	3,84	6,560	5,210	5,683
Na	199,35	161,91	50,220	114,93	335,0
SO <sub>4</sub>	451,63	462,43	424,31	518,22	941,0
Нефть	0,09	0,100	0,050	0,110	0,097
Шардара					
БПК <sub>5</sub>					1,710
NH <sub>4</sub>	0,120	0,050	0,050	0,050	0,053
NO <sub>2</sub>	0,100	0,040	0,030	0,040	0,032
NO <sub>3</sub>	2,580	2,950	2,420	1,850	9,34
Cl	115,74	84,97	78,08	88,01	156,0
Cu	0,140	3,170	3,040	3,130	2,500
Zn	1,080	2,600	3,370	6,010	6,967
Na	180,34	102,70	96,06	120,14	285,0
SO <sub>4</sub>	514,70	526,34	487,47	526,19	845,0
Нефть	0,09	0,080	0,080	0,090	0,052
Кызылорда					
БПК <sub>5</sub>				3,140	2,325
NH <sub>4</sub>	0,090	0,060	0,050	0,070	0,105
NO <sub>2</sub>	0,030	0,030	0,020	0,010	0,010
NO <sub>3</sub>	2,180	2,690	2,410	1,060	3,47
Cl	124,82	84,19	85,01	121,80	214,7
Cu	1,100	2,740	3,850	2,80	2,500
Zn	2,470	1,740	7,10	3,40	5,20
Na	188,98	126,00	111,92	188,14	603,0
SO <sub>4</sub>	471,73	513,75	525,06	388,19	620,0
Нефть	0,08	0,120	0,120	0,061	0,30
Казалинск					
БПК <sub>5</sub>				3,530	2,606
NH <sub>4</sub>	0,090	0,080	0,050	0,080	0,138
NO <sub>2</sub>	0,020	0,030	0,020	0,020	0,012
NO <sub>3</sub>	1,720	2,550	2,150	1,240	5,10
Cl	156,06	92,73	123,37	123,23	298,0
Cu	1,090	0,340	4,08	3,10	7,80
Zn	2,71	0,030	5,47	4,590	8,80
Na	208,08	172,33	147,03	176,95	630,3
SO <sub>4</sub>	650,81	643,33	566,98	398,38	1383,0
Нефть	0,240	0,100	0,030	0,102	0,102

в бассейне р. Сырдарья послужили “Ежегодные данные о качества поверхностных вод Республики Казахстан” РГП “Казгидромет” МОСВР РК [1], а также исследования многолетних фондовых и литературных источников по гидрохимическим показателям [2–5], включающих биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), азота аммонийного (NH<sub>4</sub>), азота нитритного (NO<sub>2</sub>), азота нитратного (NO<sub>3</sub>), хлоридов (Cl), сульфатов (SO<sub>4</sub>), меди (Cu), цинка (Zn), натрия (Na) и нефтепродуктов (таблица 1).

В теоретическом и методологическом отношении исследования основываются на современных представлениях о системоформирующей роли речного стока, структуре и функциях водосборов, определяющих условия жизни людей и функционирование экологических систем.

Для оценки качества водных ресурсов и экологического состояния водных экосистем в практике водного хозяйства широко применяются методы, основанные на использовании комплексных показателей, т. е. определение пределов допустимых изменений (ПДИ) [6], порога критического действия (ПДВВ) [6], предельно допустимой концентрации (ПДК) [6], гидрохимического индекса загрязнения (ГЗВ) [6], а также методологического обеспечения Н.Г. Булгакова [7], В.П. Емельяновой [8], Т.Н. Моисеенко [9], М.Ж. Бурлибаева [10] и В.В. Шабанова [11].

При этом для оценки качества воды и экологического состояния водных объектов в бассейне Сырдарья используется методика В.В. Шабанова для определения коэффициента предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) [11]:

$$K_{пз} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{ПДК_i} - 1,$$

где  $i$  – номер загрязняющего воду вещества;  $N$  – количество учитываемых веществ;  $ПДК_i$  – предельно допустимая концентрации учитываемых веществ;  $C_i$  – фактическая концентрация учитываемых веществ;  $K_{пз}$  – коэффициент предельной загрязненности, характеризующий качество воды, состояние водного объекта и его водохозяйственное значение, которые оцениваются в соответствии с классификацией, приведенной в таблице 2.

**Результаты исследования.** Интенсивное использование водных ресурсов Сырдарья, резкое изменение их качественных гидрохимических параметров в результате сброса в воду самых разнообразных загрязнителей антропогенного происхождения, способствует разрушению естественных экосистем, что привело к необходимости оценки качества воды и экологического состояния водных объектов на территориях Кызылординской обла-

сти, являющейся одной из зон magazинирования поверхностного стока в бассейне рек Аральского моря. Оценка качества воды и экологического состояния водных объектов в низовьях Сырдарьи проводили в пространственно-временных масштабах с интервалом пять лет для выявления направленности и интенсивности гидрохимического процесса в экосистемах Кызылординской области как среды обитания человека (таблица 3).

Таким образом, оценка качества воды в низовьях Сырдарьи, проведенная в пространственно-временных масштабах, начиная с границы Республики Узбекистан (гидрологический пост Кокбулак), до устья реки (гидрологический пост Казалинск), позволила определить направленность и интенсивность ее загрязнения, главными ионами (Cl, Na, SO<sub>4</sub>), биогенными элементами (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>) и тяжелыми металлами (Cu, Zn). Как видно из данных таблицы 3, вода в низовьях реки в основном загрязнена тяжелыми металлами (Cu, Zn), сульфатами (SO<sub>4</sub>) и нефтепродуктами, что необходимо учитывать при разработке природоохранных мероприятий на этих территориях. При этом следует отметить, что коэффициент предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) в низовьях Сырдарьи во временном масштабе от гидрологического поста Кокбулак до гидрологического поста Казалинск увеличивается. По степени загрязненности воды, в основном, относятся к загрязненным (рисунок 1). Загрязненность воды представлена трофическим статусом Е.С. Шеннона [12].

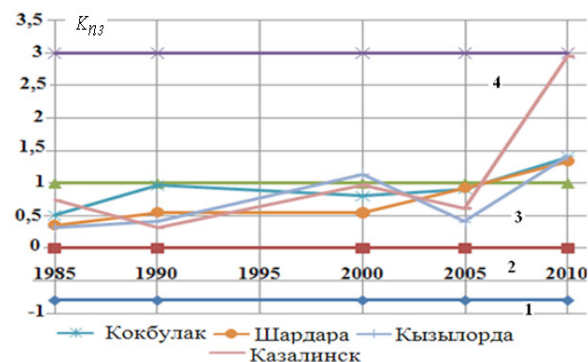


Рисунок 1 – Изменения качества воды по коэффициенту предельной загрязненности в низовьях реки Сырдарьи в пространственно-временных масштабах: 1 – очень чистая (олиготрофная); 2 – чистая (мезотрофная); 3 – умеренно-загрязненная (мезозвтрофная); 4 – загрязненная (эвтрофная)

Как видно на рисунке 1, оценка качества воды по коэффициенту загрязненности проводилась в многолетнем разрезе (1985–2010 гг.) и пространственных масштабах, которые позволили получить

Таблица 2 – Классификация качества воды по показателю коэффициента предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) [11]

Очень чистая	Чистая	Умеренно чистая	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
<-0,80	-0,80–0,0	0,0–1,0	1,0–3,0	3,0–5,0	>5,0

Таблица 3 – Оценка загрязненности воды в низовьях Сырдарьи в пространственно-временных масштабах по коэффициенту предельной загрязненности

Загрязняющее вещество, мг/л	Предельно допустимая концентрация, мг/л	Год				
		1985	1990	2000	2005	2010
Кокбулак						
БПК <sub>5</sub>	3,0					-0,623
NH <sub>4</sub>	0,5	-0,820	-0,900	-0,920	-0,920	-0,910
NO <sub>2</sub>	0,08	1,625	-0,125	-0,375	-0,250	-0,025
NO <sub>3</sub>	9,1	-0,650	-0,524	-0,599	-0,707	-0,060
Cl	300,0	-0,722	-0,608	-0,103	-0,738	-0,550
Cu	1,0	-0,150	5,010	1,480	2,350	1,250
Zn	1,0	1,250	1,840	5,560	4,210	4,683
Na	120,0	0,661	0,349	-0,581	-0,042	1,792
SO <sub>4</sub>	100,0	3,519	3,624	3,243	4,182	8,410
Нефть	0,10	-0,100	0,000	-0,500	0,100	-0,030
K <sub>пз</sub>		0,512	0,963	0,800	0,909	1,394
Шардара						
БПК <sub>5</sub>	3,0					-0,430
NH <sub>4</sub>	0,5	-0,760	-0,900	-0,900	-0,900	-0,894
NO <sub>2</sub>	0,08	0,250	-0,500	-0,625	-0,500	-0,600
NO <sub>3</sub>	9,1	-0,716	-0,576	-0,731	-0,796	-0,026
Cl	300,0	-0,614	-0,716	-0,740	-0,707	-0,480
Cu	1,0	0,400	2,170	2,040	2,130	1,500
Zn	1,0	0,080	1,600	2,370	5,010	5,967
Na	120,0	0,503	-0,144	-0,199	0,001	1,375
SO <sub>4</sub>	100,0	4,147	4,263	3,875	4,262	7,450
Нефть	0,10	-0,100	-0,200	-0,200	-0,100	-0,480
K <sub>пз</sub>		0,354	0,555	0,543	0,933	1,338
Кызылорда						
БПК <sub>5</sub>	3,0				0,047	-0,0225
NH <sub>4</sub>	0,5	-0,820	-0,880	-0,900	-0,860	-0,790
NO <sub>2</sub>	0,08	-0,625	-0,625	-0,750	-0,875	-0,875
NO <sub>3</sub>	9,1	-0,760	-0,704	-0,735	-0,884	-0,618
Cl	300,0	-0,584	-0,719	-0,716	-0,594	-0,284
Cu	1,0	0,100	1,740	2,850	1,800	1,500
Zn	1,0	1,470	0,740	6,100	2,400	4,200
Na	120,0	0,575	0,050	-0,067	0,568	4,038
SO <sub>4</sub>	100,0	3,717	4,137	4,251	2,882	5,200
Нефть	0,10	-0,200	0,200	0,200	-0,390	2,000
K <sub>пз</sub>		0,319	0,415	1,137	0,409	1,415
Казалинск						
БПК <sub>5</sub>	3,0				0,177	-0,131
NH <sub>4</sub>	0,5	-0,820	-0,840	-0,900	-0,840	-0,724
NO <sub>2</sub>	0,08	-0,750	-0,625	-0,725	-0,725	-0,850
NO <sub>3</sub>	9,1	-0,811	0,719	-0,764	-0,864	-0,439
Cl	300,0	-0,480	-0,691	-0,589	-0,589	-0,007
Cu	1,0	0,090	-0,660	3,080	2,100	6,800
Zn	1,0	1,710	-0,970	4,470	3,590	7,800
Na	120,0	0,734	0,436	0,225	0,474	4,250
SO <sub>4</sub>	100,0	5,508	5,433	4,669	2,984	12,830
Нефть	0,10	1,400	0,000	-0,700	0,020	0,020
K <sub>пз</sub>		0,731	0,311	0,974	0,633	2,955

Таблица 4 – Зависимости коэффициента предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) в расчетной обеспеченности ( $P$ ) для различных гидрологических постов в низовьях Сырдарьи

Гидрологический пост	Уравнение связи	Квадрат коэффициента корреляции (детерминации)
Кокбулак	$K_{пз} = 0,459 \cdot \exp(0,012 \cdot P)$	$R^2 = 0,915$
Шардара	$K_{пз} = 0,255 \cdot \exp(0,019 \cdot P)$	$R^2 = 0,955$
Кызылорда	$K_{пз} = 0,175 \cdot \exp(0,026 \cdot P)$	$R^2 = 0,853$
Казалинск	$K_{пз} = 0,185 \cdot \exp(0,030 \cdot P)$	$R^2 = 0,905$

характеристики качества воды для лет разной обеспеченности и различных гидрологических постов, расположенных вдоль в низовьях реки (рисунок 2 и таблица 4).

Как видно из данных таблицы 4, зависимость коэффициента предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) в расчетной обеспеченности ( $P$ ) была аппроксимирована функцией, представляющей собой экспоненту.

Для оценки экологического состояния водной экосистемы в низовьях Сырдарьи использованы зависимости индекса Шеннона ( $H$ ) коэффициента предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) В.В. Шабанова, которые имеют следующей вид:  $H = -7,17 \cdot \ln \cdot K_{пз} + 6,104$ .

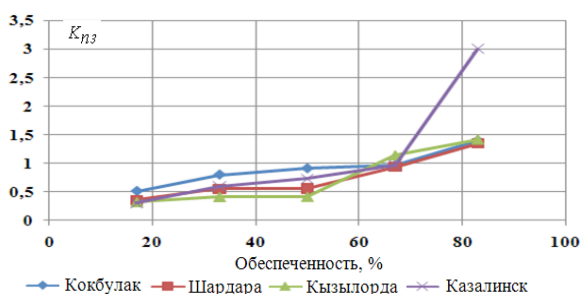


Рисунок 2 – Кривая обеспеченности коэффициента предельной загрязненности ( $K_{пз}$ )

Таким образом, на основе систематизации и системного анализа, а также прогнозных расчетов по определению коэффициента предельной загрязненности и индекса Шеннона, проведена оценка качества воды и экологического состояния водной экосистемы в низовьях Сырдарьи в пространственно-временном масштабе. Качество воды по всех рассматриваемых гидрологических постах оценивается на уровне “умеренно-загрязненная” (мезоэвтрофная) и “загрязненная” (эвтрофная).

Обсуждение. Система оценки качества воды и экологического состояния водной экосистемы в низовьях Сырдарьи с использованием коэффициент предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) и индекса Шеннона ( $H$ ) позволила определить степень,

интенсивность, направленность и характер загрязнения водных объектов в пространственно-временных масштабах и получить зависимости коэффициента предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) индекса Шеннона ( $H$ ) в расчетной обеспеченности ( $P$ ), которые позволяют разработать систему мероприятий по рациональному природопользованию и предотвращению возможных чрезвычайных ситуаций на основе количественной характеристики процессов естественного самоочищения природных систем.

#### Литература

1. Аналитический отчет: Качество воды в бассейнах рек Амударья и Сырдарья. Ташкент: РЭЦ ЦА. 2011. 31 с.
2. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана / М.Ж. Бурлибаев [и др.]. Алматы: Канагат, 2014. Т. 1. 742 с.
3. Биогенные вещества в основных водотоках Казахстана / М.Ж. Бурлибаев. Алматы: Канагат, 2003. 723 с.
4. Мустафаев К.Ж. Водный след производства Республики Казахстан / К.Ж. Мустафаев, Н.И. Иванова // Вестник КPCУ. 2015. Т. 15. № 5. С. 185–188.
5. Современное состояние загрязнения основных водотоков Казахстана ионами тяжелых металлов / С.К. Базарбаев. Алматы: Канагат, 2002. 196 с.
6. Методика пределов допустимых изменений на Байкале – участке Всемирного наследия ЮНЕСКО / А.Д. Калихман. Иркутск: Оттиск, 1999.
7. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. М.: Минздрав СССР. 1988. 74 с.
8. Булгаков Н.Г. Экологически допустимые уровни абиотических факторов в водоемах России и сопредельных стран. Зависимость от географических и климатических особенностей / Н.Г. Булгаков // Водные ресурсы, 2004. № 2. Т. 31. С. 193–198.
9. Емельянова В.П. Способ обобщения показателей для оценки качества поверхностных вод / В.П. Емельянова, Г.Н. Данилова, И.Д. Родзиллер

- // Гидрохимические материалы. 1980. Т. 77. С. 88–96.
10. *Моисеенко Т.И.* Методические подходы к нормированию антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики (на примере Кольского севера) / Т.И. Моисеенко // Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов Кольского севера. Апатиты: Кольский научный центр, 1995. С. 7–23.
  11. *Шабанов В.В.* Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем / В.В. Шабанов, В.Н. Маркин. М.: МГУП, 2009. 154 с.
  12. Научные основы нормирования экологического стока рек Казахстана / М.Ж. Бурлибаев [и др.]. Алматы, 2014. 408 с.