

УДК 502.656

Доктор техн. наук Ж.С. Мустафаев<sup>1</sup>  
Доктор техн. наук А.Т. Козыкеева<sup>1</sup>  
К.С. Абдывалиева<sup>2</sup>

### ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДАХ НИЗОВЬЯ РЕКИ СЫРДАРЬИ

**Ключевые слова:** анализ, оценка, система, систематизация, загрязнение, вода, вещества, экология, состояние, антропогенная, природа, методика, трансформация

*На основе систематизации и системного анализа многолетних информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет» по загрязнению воды низовьях реки Сырдарья произведена оценка качества воды и их экологического состояния, которые позволяют определить интенсивность и направленность трансформации загрязняющих вещества в пространственно-временных масштабах в условиях антропогенной деятельности.*

**Актуальность.** 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 Амударья и Сырдарья, являющихся основными водными объектами для бассейна Аральского моря в конце 20 и в начале 21 века, 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 чрезмерную техногенную нагрузку на природную систему бассейна Аральского моря, происходило изменение качества воды и нарушение существующих биоценозов рек Амударья и Сырдарья.

Таким образом, Амударья и Сырдарья находятся под многофакторным антропогенным воздействием, которое распространяется на био-

<sup>1</sup> Казахский национальный аграрный университет, г. Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup> КазНИИ рисоводства им. Ы. Жакаева, г. Кызылорда, Казахстан

тические и абиотические характеристики. Для эффективного управления гидроэкологическим состоянием рек необходимо иметь многолетние информационно-аналитические данные, характеризующие состояние управляемой системы. Эти данные получают при проведении гидрологических, гидрохимических и гидробиологических наблюдений за водными объектами. Также необходимы данные обо всех существенных факторах влияния на состояние системы с использованием методов всесторонней оценки, позволяющей оценить качество воды.

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

**Материалы и методы исследования.** Информационной базой для исследования послужили данные [1] и многолетние фондовые и литературные источники по гидрохимическим показателям [2, 5; 6], включающие данные по биохимическому потреблению кислорода ( $BPK_5$ ), азоту аммонийному ( $NH_4$ ), азоту нитритному ( $NO_2$ ), азоту нитратному ( $NO_3$ ), хлоридам ( $Cl$ ), сульфатам ( $SO_4$ ), меди ( $Cu$ ), цинку ( $Zn$ ), натрию ( $Na$ ) и нефтепродуктам (табл. 1).

Таблица 1

Концентрация загрязняющих веществ в речной воде низовьев р. Сырдарьи в пространственно-временных масштабах, мг/дм<sup>3</sup>

Вещество	Год				
	1985	1990	2000	2005	2010
<i>Кокбулак</i>					
$BPK_5$					1,130
$NH_4$	0,09	0,05	0,040	0,040	0,045
$NO_2$	0,21	0,07	0,050	0,060	0,078
$NO_3$	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
$SO_4$	451,63	462,43	424,31	518,22	941,0
<i>Нефть</i>	0,09	0,100	0,050	0,110	0,097

Вещество	Год				
	1985	1990	2000	2005	2010
<b>Шардара</b>					
<i>БПК<sub>5</sub></i>					1,710
<i>NH<sub>4</sub></i>	0,120	0,050	0,050	0,050	0,053
<i>NO<sub>2</sub></i>	0,100	0,040	0,030	0,040	0,032
<i>NO<sub>3</sub></i>	2,580	2,950	2,420	1,850	9,34
<i>Cl</i>	115,74	84,97	78,08	88,01	156,0
<i>Cu</i>	0,140	3,170	3,040	3,130	2,500
<i>Zn</i>	1,080	2,600	3,370	6,010	6,967
<i>Na</i>	180,34	102,70	96,06	120,14	285,0
<i>SO<sub>4</sub></i>	514,70	526,34	487,47	526,19	845,0
<i>Нефть</i>	0,09	0,080	0,080	0,090	0,052
<b>Кызылорда</b>					
<i>БПК<sub>5</sub></i>				3,140	2,325
<i>NH<sub>4</sub></i>	0,090	0,060	0,050	0,070	0,105
<i>NO<sub>2</sub></i>	0,030	0,030	0,020	0,010	0,010
<i>NO<sub>3</sub></i>	2,180	2,690	2,410	1,060	3,47
<i>Cl</i>	124,82	84,19	85,01	121,80	214,7
<i>Cu</i>	1,100	2,740	3,850	2,80	2,500
<i>Zn</i>	2,470	1,740	7,10	3,40	5,20
<i>Na</i>	188,98	126,00	111,92	188,14	603,0
<i>SO<sub>4</sub></i>	471,73	513,75	525,06	388,19	620,0
<i>Нефть</i>	0,08	0,120	0,120	0,061	0,30
<b>Казалинск</b>					
<i>БПК<sub>5</sub></i>				3,530	2,606
<i>NH<sub>4</sub></i>	0,090	0,080	0,050	0,080	0,138
<i>NO<sub>2</sub></i>	0,020	0,030	0,020	0,020	0,012
<i>NO<sub>3</sub></i>	1,720	2,550	2,150	1,240	5,10
<i>Cl</i>	156,06	92,73	123,37	123,23	298,0
<i>Cu</i>	1,090	0,340	4,08	3,10	7,80
<i>Zn</i>	2,71	0,030	5,47	4,590	8,80
<i>Na</i>	208,08	172,33	147,03	176,95	630,3
<i>SO<sub>4</sub></i>	650,81	643,33	566,98	398,38	1383,0
<i>Нефть</i>	0,240	0,100	0,030	0,102	0,102

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 используются методы, основанные на использовании комплексных показателей. Это предел допустимых изменений (ПДИ) [8], порог критического действия (ПДВВ) [10], предельно-допустимая концентрация (ПДК) [10], гидрохимический индекс загрязнения (ГЗВ) [10], а также методологическое обеспечение Н.Г. Булгакова [3], В.П. Емельяновой [7], Т.Н. Моисеенко [9], М.Ж. Бурлибаева [4] и В.В. Шабанова [11].

Оценка качества воды и экологического состояния водных объектов в бассейне Сырдарьи оценивается по методу В.В. Шабанова, с помощью коэффициента предельного загрязнения ( $K_{nz}$ ) [11]:

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

где  $i$  – номер загрязняющего воду вещества;  $N$  – количество учитываемых веществ;  $ПДК_i$  – предельно-допустимая концентрации учитываемых веществ;  $C_i$  – фактическая концентрация учитываемых веществ;  $K_{nz}$  – коэффициент, характеризующий качество воды, состояние водного объекта и его водохозяйственное значение. Классификация  $K_{nz}$  приведена в табл. 2.

Таблица 2

Классификация качества воды по показателю  $K_{nz}$ , [11]

Очень чистая	Чистая	Умеренно чистая	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
< -0,80	-0,81...0,00	0,01...1,00	1,1...3,0	3,1...5,0	> 5,1

**Результаты исследования.** Интенсивное использование водных ресурсов Сырдарьи, резкое изменение её гидрохимических параметров, в результате сброса в воду самых разнообразных загрязнителей антропогенного происхождения, способствует разрушению естественных экосистем. Оценка качества воды и экологического состояния водных объектов необходима на территории Кызылординской области, потому что она является зоной маганизирования поверхностного стока бассейна Аральского моря. Оценка качества воды и экологического состояния в низовьях р. Сырдарьи проводилась с интервалом в пять лет. Это необходимо для выявления направленности и интенсивности гидрохимического процесса в экосистемах Кызылординской области, как среды обитания человека (табл. 3).

Таблица 3

Оценка загрязненности воды в низовье р. Сырдарьи по коэффициенту предельной загрязненности

Вещество	ПДК, мг/л	Год				
		1985	1990	2000	2005	2010
<b>Кокбулак</b>						
<i>БПК<sub>5</sub></i>	3					-0,623
<i>NH<sub>4</sub></i>	0,5	-0,820	-0,900	-0,920	-0,920	-0,910
<i>NO<sub>2</sub></i>	0,08	1,625	-0,125	-0,375	-0,250	-0,025
<i>NO<sub>3</sub></i>	9,1	-0,650	-0,524	-0,599	-0,707	-0,060
<i>Cl</i>	300,0	-0,722	-0,608	-0,103	-0,738	-0,550
<i>Cu</i>	1,0	-0,150	5,010	1,480	2,350	1,250
<i>Zn</i>	1,0	1,250	1,840	5,560	4,210	4,683
<i>Na</i>	120,0	0,661	0,349	-0,581	-0,042	1,792
<i>SO<sub>4</sub></i>	100,0	3,519	3,624	3,243	4,182	8,410
<i>Нефть</i>	0,10	-0,100	0,000	-0,500	0,100	-0,030
<i>K<sub>пз</sub></i>		0,512	0,963	0,800	0,909	1,394
<b>Шардара</b>						
<i>БПК<sub>5</sub></i>	3					-0,430
<i>NH<sub>4</sub></i>	0,5	-0,760	-0,900	-0,900	-0,900	-0,894
<i>NO<sub>2</sub></i>	0,08	0,250	-0,500	-0,625	-0,500	-0,600
<i>NO<sub>3</sub></i>	9,1	-0,716	-0,576	-0,731	-0,796	-0,026
<i>Cl</i>	300,0	-0,614	-0,716	-0,740	-0,707	-0,480
<i>Cu</i>	1,0	0,400	2,170	2,040	2,130	1,500
<i>Zn</i>	1,0	0,080	1,600	2,370	5,010	5,967
<i>Na</i>	120,0	0,503	-0,144	-0,199	0,001	1,375
<i>SO<sub>4</sub></i>	100,0	4,147	4,263	3,875	4,262	7,450
<i>Нефть</i>	0,10	-0,100	-0,200	-0,200	-0,100	-0,480
<i>K<sub>пз</sub></i>		0,354	0,555	0,543	0,933	1,338
<b>Кызылорда</b>						
<i>БПК<sub>5</sub></i>	3				0,047	-0,225
<i>NH<sub>4</sub></i>	0,5	-0,820	-0,880	-0,900	-0,860	-0,790
<i>NO<sub>2</sub></i>	0,08	-0,625	-0,625	-0,750	-0,875	-0,875
<i>NO<sub>3</sub></i>	9,1	-0,760	-0,704	-0,735	-0,884	-0,618
<i>Cl</i>	300,0	-0,584	-0,719	-0,716	-0,594	-0,284
<i>Cu</i>	1,0	0,100	1,740	2,850	1,800	1,500
<i>Zn</i>	1,0	1,470	0,740	6,100	2,400	4,200
<i>Na</i>	120,0	0,575	0,050	-0,067	0,568	4,038

Вещество	ПДК, мг/л	Год				
		1985	1990	2000	2005	2010
$SO_4$	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
$K_{нз}$		0,319	0,415	1,137	0,409	1,415
<b>Казалинск</b>						
$BPK_5$	3				0,177	-0,131
$NH_4$	0,5	-0,820	-0,840	-0,900	-0,840	-0,724
$NO_2$	0,08	-0,750	-0,625	-0,725	-0,725	-0,850
$NO_3$	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
$SO_4$	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
$K_{нз}$		0,731	0,311	0,974	0,633	2,955

Исследования качества воды в низовье р. Сырдарьи, начиная с границы Республики Узбекистан (ГП Кокбулак) до устья реки (ГП Казалинск) позволили определить направленность и интенсивность загрязнения главными ионами ( $Cl$ ,  $Na$ ,  $SO_4$ ), биогенными элементами ( $NH_4$ ,  $NO_2$ ,  $NO_3$ ) и тяжелыми металлами ( $Cu$ ,  $Zn$ ). Как видно из данных табл. 3 вода в низовье Сырдарьи в основном загрязнена тяжелыми металлами ( $Cu$ ,  $Zn$ ), сульфатами ( $SO_4$ ) и нефтепродуктами. Это необходимо учитывать при разработке природоохранных мероприятий в исследуемом районе.

Следует отметить, что  $K_{нз}$  увеличивается от ГП Кокбулак до ГП Казалинск и по величине относится к категории загрязненных вод.

Для оценки экологического состояния водной экосистемы использованы зависимости индекс Шеннона ( $H$ ) и коэффициента предельной загрязненности В.В. Шабанова ( $K_{нз}$ ), которые имеют следующей вид:

$$K_{нз} = -7,17 \cdot \ln \cdot H + 6,104, R^2 = 0,921;$$

$$H = 2,2882 \cdot \exp(-0,128 \cdot K_{нз}), R^2 = 0,921.$$

На основе уравнения связи индекса Шеннона ( $H$ ) и коэффициента предельной загрязненности ( $K_{нз}$ ) определены их количественные значе-

ния по гидрологическими постами расположенным в низовье р. Сырдарьи во временном масштабе (табл. 4).

Таблица 4

Сравнительная оценка экологического состояния водной экосистемы по индексу Шеннона ( $H$ ) и коэффициенту предельной загрязненности ( $K_{пз}$ )

Пост	Показатель	Год				
		1985	1990	2000	2005	2015
Кокбулак	$K_{пз}$	0,512	0,963	0,800	0,909	1,394
	$H$	1,935	2,023	2,065	2,036	1,914
Шардара	$K_{пз}$	0,354	0,555	0,543	0,933	1,338
	$H$	2,187	2,099	2,135	2,031	1,928
Кызылорда	$K_{пз}$	0,319	0,415	1,137	0,409	1,415
	$H$	2,197	2,170	1,978	2,172	1,909
Казалинск	$K_{пз}$	0,731	0,311	0,974	0,633	2,955
	$H$	2,034	2,199	2,020	2,110	1,568

Представленные в табл. 4 значения, позволили получить характеристику качества воды (рис. 1, табл. 5).

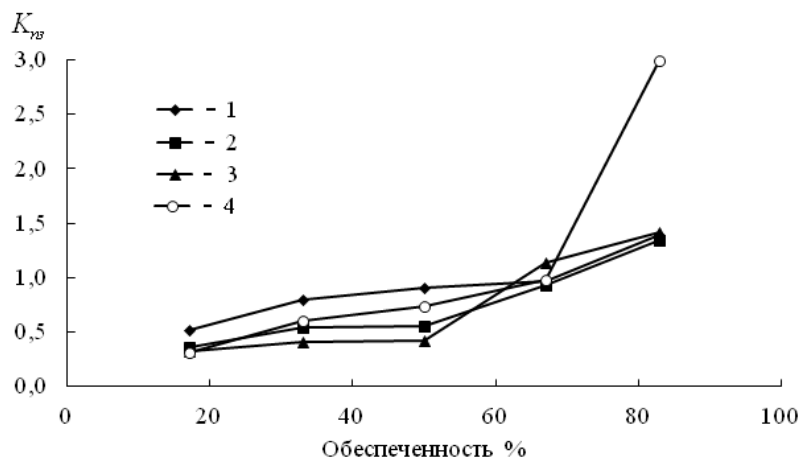


Рис. 1. Кривая обеспеченности коэффициента предельной загрязненности. 1 – Кокбулак, 2 – Шардара, 3 – Кызылорда, 4 – Казалинск.

Зависимость коэффициента предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) в расчетной обеспеченности ( $P$ ) были аппроксимированы функцией, представляющей собой экспоненты (табл. 5).

На основе данных табл. 4 построены кривые зависимости индекса Шеннона ( $H$ ) в расчетной обеспеченности ( $P$ ) и по ним получена кривая связи (табл. 6, рис. 2).

Таблица 5

Зависимость коэффициента предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) в расчетной обеспеченности ( $P$ ) для различных гидрологических постов

Пост	Уравнение связи	Коэффициент 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	$K_{пз} = 0,185 \cdot \exp(0,030 \cdot P)$	$R^2 = 0,905$

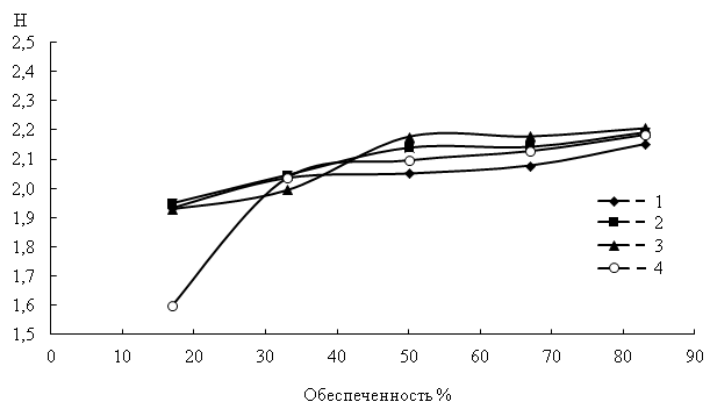


Рис. 2. Кривая обеспеченности индекса Шеннона ( $H$ ). 1 – Кокбулак, 2 – Шардара, 3 – Кызылорда, 4 – Казалинск.

Таблица 6

Зависимость индекса Шеннона ( $H$ ) в расчетной обеспеченности ( $P$ ) для различных гидрологических постов в низовье р. Сырдарьи

Пост	Уравнение связи	Коэффициент детерминации
Кокбулак	$H = 0,119 \cdot \ln(P) + 1,599$	$R^2 = 0,930$
Шардара	$H = 0,153 \cdot \ln(P) + 1,513$	$R^2 = 0,975$
Кызылорда	$H = 0,190 \cdot \ln(P) + 1,380$	$R^2 = 0,909$
Казалинск	$H = 0,351 \cdot \ln(P) + 0,681$	$R^2 = 0,878$

Таким образом, на основе системного анализа и прогнозных расчетов по определению коэффициента предельной загрязненности и индекса Шеннона оценено качество воды и экологическое состояние водной экосистемы в низовье р. Сырдарьи, т.е. качество воды оценивается как «умеренно-загрязненное (мезоэвтрофные)» и «загрязненное (эвтрофные)».



**Обсуждение.** Оценено качество воды и экологического состояния водной экосистемы в низовье р. Сырдарья, что позволило определить степень, интенсивность, направленность и характер загрязнения водных объектов в пространственно-временном масштабе. Получена зависимость коэффициента предельной загрязненности ( $K_{nz}$ ) и индекса Шеннона ( $H$ ) в расчетной обеспеченности ( $P$ ). Подобные исследования дают возможность разработать систему мероприятий по рациональному природопользованию и предотвращению возможных чрезвычайных ситуаций, на основе количественных характеристик процессов естественного самоочищения природных систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитический отчет «Качество воды в бассейнах рек Амударья и Сырдарья». – Ташкент: (РЭЦ ЦА), 2011. – 31 с.
2. Базарбаев С.К., Бурлибаев М.Ж., Кудеков Т.К., Муртазин Е.Ж. Современное состояние загрязнения основных водотоков Казахстана ионами тяжелых металлов. – Алматы: Канагат, 2002. – 196 с.
3. Булгаков Н.Г. Экологически допустимые уровни абиотических факторов в водоемах России и сопредельных стран. Зависимость от географических и климатических особенностей // Водные ресурсы. – 2004. – №2. – Том 31. – С. 193-198.
4. Бурлибаев М.Ж., Фащевский Б.В., Опп К., Бурлибаева Д.Ж., Кайдарова Р.К., Вагапова А.Р. Научные основы нормирования экологического стока рек Казахстана. – Алматы: 2014. – 408 с.
5. Бурлибаев М.Ж., Амиргалиев Н.А., Шенбергер И.В., Сокальский В.А., Бурлибаева Д.М., Уваров Д.В., Симернова Д.А., Ефимонко А.В., Миллюков Д.Ю. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана. – Алматы: Канагат, 2014. – Том 1. – 742 с.
6. Бурлибаев М.Ж., Муртазин Е.Ж., Искаков Н.А., Кудеков Т.К., Базарбаев С.К. Биогенные вещества в основных водотоках Казахстана. – Алматы: Канагат, 2003. – 723 с.
7. Емельянова В.П., Данилова Г.Н., Родзиллер И.Д. Способ обобщения показателей для оценки качества поверхностных вод // Гидрохимические материалы. – 1980. – Т. 77. – С. 88-96.
8. Калихман А.Д., Педерсен А.Д., Савенкова Т.П., Сукнев А.Я. Методика «пределов допустимых изменений» на Байкале – участке Всемирного наследия ЮНЕСКО. – Иркутск: Оттиск, 1999.

9. Моисеенко Т.И. Методические подходы к нормированию антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики (на примере Кольского севера) / Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов Кольского севера. – Апатиты: Кольский научный центр, 1995. – С. 7-23.
10. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. – М.: Минздрав СССР. – 1988. – 74 с.
11. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем. – М: МГУП, 2009. – 154 с.

Поступила 8.02.2017

Техн. ғылымд. докторы	Ж.С. Мұстафаев
Техн. ғылымд. докторы	Ә.Т. Қозыкеева
	К.С. Абдывалиева

### **СЫРДАРЬЯ ӨЗЕНІНІҢ ТӨМЕНГІ САЛАСЫНДАҒЫ СУЫНДАҒЫ ЗАСТАУШЫ ЗАТТАРДЫҢ ҚОЙЫРТПАҒЫНЫҢ ТАСЫМАЛДАУ ДӘРЕЖЕСІН ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТҮРҒЫДА БАҒАЛАУ**

**Түйін сөздер:** талдау, бағалау, жүйе, жүйелеу, ластану, су, заттар, экология, жағдай, техногендік, табиғат, әдістеме, трансформация

*«Қазгидромет» ұжымының көп жылдық Сырдарья өзенінің төменгі саласының ластануы туралы ақпараттық-талдамалық мәліметтерін жүйелеу және жүйелік талдаудың негізінде, оның суының сапасын және экологиялық жағдайын бағалауды жүргізудің нәтижесінде, табиғи-техногендік жағдайдағы ластаушы заттардың кеңістік-уақыт масштабындағы тасымалдау бағыты және қарқыны анықталған.*

Mustafayev ZH.S., Kozykееva A.T., Abdiyvaliyeva K.S.

### **GEO-ECOLOGICAL ASSESSMENT TRANSFORMATION CONCENTRATION OF POLLUTANTS IN THE LOWER REACHES SYRDARIA WATERS**

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

*On the basis of ordering and system analysis of long-term information and analytical materials RSE «Kazhydromet» Pollution of water downstream of the Syr Darya 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.*