

УДК 502.51(282)

Ж. С. МУСТАФАЕВ, доктор техн. наук, профессор

А. Т. КОЗЫКЕЕВА, доктор техн. наук, доцент

Казахский национальный аграрный университет (Республика Казахстан)

З. К. МАЙМЕКОВ, доктор техн. наук, профессор

Кыргызско-Турецкий университет «Манас» (Кыргызская Республика)

К. С. АБДЫВАЛИЕВА, научный сотрудник

Казахский научно-исследовательский институт рисоводства имени Ы. Жакаева

(Республика Казахстан)

Zh. S. MUSTAFAEV, Doctor of Engineering, Professor

A. T. KOZYKEEVA, Doctor of Engineering, Professor, Associate professor

Kazakh National Agrarian University (Republic of Kazakhstan)

Z. K. MAYMEKOV, Doctor of Engineering, Professor

Kyrgyz-Turkish University «Manas» (Kyrgyz Republic)

K. S. ABDYVALIEVA, Researcher

Kazakh Research Institute of Rice named S. Zhakaev (Republic Of Kazakhstan)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ СЫРДАРЬИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF POLLUTANT CONCENTRATIONS OF WATERS IN THE LOWER REACHES OF THE SYRDARYA RIVER UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC ACTIVITIES TRANSFORMATION

На основе систематизации и системного анализа многолетних информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет» по загрязнению воды в низовьях реки Сырдарьи произведена оценка качества воды и ее экологического состояния, которые позволяют определить интенсивность и направленность трансформации загрязняющих веществ в пространственно-временном масштабе в условиях антропогенной деятельности.

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

On the base of systematic and systemic analysis of long-term information and analytical materials of the RSE «Kazgidromet» on the water pollution in the lower reaches of the Syrdarya river assessment of water quality and their ecological status which allow us to determine the intensity and direction of transformation of pollutants in the space-time scale in conditions of anthropogenic activities is conducted.

Key words: analysis, assessment, system, systematization, pollution, water, substance, ecology, condition, anthropogenic, methodology, transformation.

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

Амударьи и Сырдарьи, являющихся основными водными объектами для бассейна Аральского моря в конце XX и в начале XXI века, поскольку непрерывно увеличивается антропогенная нагрузка и темпы использования водных ресурсов в несколько раз превышены возможно допустимого предела природной системы. При очень высоком темпе антропогенного воздействия и чрез-

Концентрации загрязняющих веществ
в речной воде в низовьях реки
Сырдарья в пространственно-временном
масштабе, мг/л

Загрязняющие вещества	Год				
	1985	1990	2000	2005	2010
Кокбулак					
БПК 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
Нефть	0,09	0,100	0,050	0,110	0,097
Шардара					
БПК ₅					1,710
NH ₄	0,120	0,050	0,050	0,050	0,053
NO ₂	0,100	0,040	0,030	0,040	0,032
NO ₃	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 ₄	514,70	526,34	487,47	526,19	845,0
Нефть	0,09	0,080	0,080	0,090	0,052
Кызылорда					
БПК ₅				3,140	2,325
NH ₄	0,090	0,060	0,050	0,070	0,105
NO ₂	0,030	0,030	0,020	0,010	0,010
NO ₃	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	2,50
Zn	2,470	1,740	7,10	3,40	5,20
Na	188,98	126,00	111,92	188,14	603,0
SO ₄	471,73	513,75	525,06	388,19	620,0
Нефть	0,08	0,120	0,120	0,061	0,30
Казалинск					
БПК ₅				3,530	2,606
NH ₄	0,090	0,080	0,050	0,080	0,138
NO ₂	0,020	0,030	0,020	0,020	0,012
NO ₃	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 ₄	650,81	643,33	566,98	398,38	1383,0
Нефть	0,240	0,100	0,030	0,102	0,102

мерной техногенной нагрузки природной системы бассейна Аральского моря произошло изменение качества воды и нарушение существующих биоценозов бассейна реки 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, что 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 реки Сырдарья 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 оценки качества воды и экологического состояния водных объектов в бассейне реки Сырдарья использовались «Ежегодные данные о качестве поверхностных вод» Республики Казахстан РГП «Казгидромет» МОСВР РК [1] и многолетние фондовые и литературные источники по гидрохимическим показателям [2–4], включающим биохимическое потребление кислорода (БПК₅), азот аммонийный (NH₄), азот нитритный (NO₂), азот нитратный (NO₃), хлориды (Cl), сульфаты (SO₄), медь (Cu), цинк (Zn), натрий (Na) и нефтепродукты (табл. 1).

В теоретическом и методологическом отношении основываемся на современных представлениях о географической науке, о системно-формирующей 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 используется методы, основанные на использовании комплексных показателей, т. е. определения пределов допустимых изменений (ПДИ) [5], 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 качество воды и экологическое состояние водных объектов в бассейне реки Сырдарьи оценивается по методике В. В. Шабанова, с помощью 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 вещества, загрязняющего воду; N – количество учитываемых веществ; $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация учитываемых веществ; C_i – фактическая концентрация учитываемых веществ; $K_{пз}$ – коэффициент предельной загрязненности, характеризующий качество воды, состояние водного объекта рек и его водохозяйственное значение, которые оцениваются в соответствии с классификацией, приведенной в табл. 2.

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

Результаты исследования

Интенсивное использование водных ресурсов реки Сырдарьи резко изменило их качественные гидрохимические параметры в результате сброса в воду разнообразных загрязнителей антропогенного происхождения, что способствует разрушению естественных экосистем. Это вызвало необходимость оценки качества воды и экологического состояния водных объектов на территории Кызылординской области, являющейся одной из зон маганизирования поверхностного стока бассейна Аральского моря. Оценка качества воды и экологического состояния водных объектов в низовьях реки Сырдарьи проводилось в пространственно-временном масштабе с интервалом пять лет для выявления направленности и интенсивности гидрохимического процесса в экосистемах Кызылординской области как среды обитания человека (табл. 3).

Таким образом, оценка качества воды в низовьях реки Сырдарьи, проведенная в пространственно-временном масштабе, начиная с границы Республики Узбекистан (гидрологический пост Кокбулак) до устья реки (гидрологический пост Казалинск), позволила определить направленность и интенсивность их загрязнения главными ионами (Cl , Na , SO_4), биогенными элементами (NH_4 , NO_2 , NO_3) и тяжелыми металлами (Cu , Zn). Как видно из табл. 3, вода в низовьях реки Сырдарьи в основном загрязнена тяжелыми металлами (Cu , Zn), сульфатами (SO_4) и нефтепродуктами, что необходимо учитывать при разработке при-

родоохранных мероприятий в низовьях реки Сырдарьи. При этом следует отметить, что коэффициент предельной загрязненности $K_{пз}$ в низовьях реки Сырдарьи во временном масштабе от гидрологического поста Кокбулак до Казалинска увеличивается и по степени загрязненности в основном относится к загрязненным (рис. 1), где загрязненность воды представлена в виде трофического статуса Е. С. Шеннона.

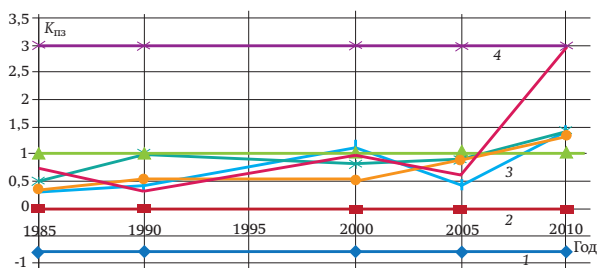


Рис. 1. Изменение качества воды по коэффициенту предельной загрязненности в низовьях реки Сырдарьи в пространственно-временном масштабе: 1 – очень чистая (олиготрофные); 2 – чистая (мезотрофные); 3 – умеренно загрязненная (мезоэвтрофные); 4 – загрязненная (эвтрофные); \times – Кокбулак; \circ – Шардаря; $+$ – Кызылорда; \square – Казалинск

Как видно из рис. 1, оценка качества воды по коэффициенту загрязненности проводилась в многолетнем разрезе (1985–2010 годы) и пространственном масштабе. Она позволила получить характеристики качества воды в разные годы и различных гидрологических постах, расположенных вдоль низовьях реки Сырдарьи (рис. 2, табл. 4).

**Концентрации загрязняющих веществ
в речной воде в низовьях реки Сырдарья в пространственно-временном масштабе, мг/л**

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

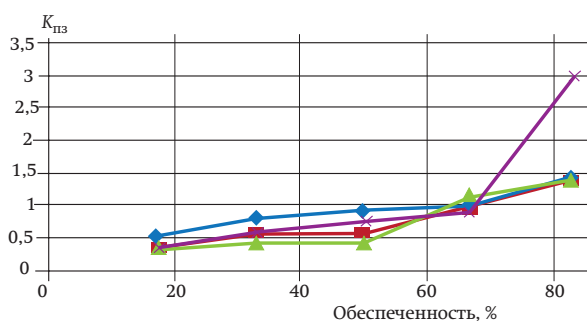


Рис. 2. Кривая обеспеченности коэффициента предельной загрязненности $K_{пз}$:
 — Кокбулак; — Шардара;
 — Кызылорда; — Казалинск

Таблица 4

Зависимость коэффициента предельной загрязненности $K_{пз}$ в расчетной обеспеченности P для различных гидрологических постов в низовьях реки Сырдарья

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

При этом, как видно из табл. 4, зависимости коэффициента предельной загрязненности $K_{пз}$ в расчетной обеспеченности P были аппроксимированы функцией, представляющей собой экспоненты.

Для оценки экологического состояния водной экосистемы в низовьях реки Сырдарья использована зависимость индекса Шеннона от коэффициента предельной загрязненности $K_{пз}$ В. В. Шабанова, которая имеет следующий вид:

$$H = -7,17 \cdot \ln \cdot K_{пз} + 6,104.$$

На основе уравнения связи, характеризующей зависимость индекса Шеннона от коэффициента предельной загрязненности, определены их количественные значения по гидрологическим постам, расположенным в низовьях реки Сырдарья во временном масштабе (табл. 5).

На основе данных табл. 5 построена кривая зависимости индекса Шеннона в расчетной обеспеченности и по ней получена кривая связи в пространственном масштабе, т. е. по гидрологическим постам, расположенным в низовьях реки Сырдарья (табл. 6).

Таблица 5

Сравнительная оценка экологического состояния водной экосистемы в низовьях реки Сырдарья по индексу Шеннона и коэффициенту предельной загрязненности

Год	Гидрологические посты							
	Кокбулак		Шардара		Кызылорда		Казалинск	
	$K_{пз}$	H	$K_{пз}$	H	$K_{пз}$	H	$K_{пз}$	H
1985	1,394	1,935	1,338	1,974	1,415	1,931	2,995	1,597
1990	0,963	2,036	0,933	2,045	1,137	1,995	0,974	2,036
2000	0,909	2,051	0,555	2,140	0,415	2,177	0,731	2,096
2005	0,800	2,078	0,543	2,143	0,409	2,178	0,603	2,128
2010	0,512	2,150	0,354	2,193	0,319	2,206	0,311	2,184

Таблица 6

Зависимости индекса Шеннона в расчетной обеспеченности для различных гидрологических постов в низовьях реки Сырдарья

Гидрологические посты	Уравнение связи	Квадрат коэффициента корреляции (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, систематизация и системный анализ, а также прогнозный расчет по определению коэффициента предельной

загрязненности и индекса Шеннона позволили производить оценку качества воды и экологического состояния водной экосистемы в низовьях реки Сырдарья в пространственно-временном масштабе, т. е. качество воды для всех рассматриваемых гидрологических постов оценивается на уровне «умеренно загрязненная (мезоэвтрофные)» и «загрязненная (эвтрофные)».

Обсуждение

Система оценки качества воды и экологического состояния водной экосистемы в низовьях реки Сырдарья с использованием коэффициента предельной загрязненности

и индекса Шеннона позволяет определить степень, интенсивность, направленность и характер загрязнения водных объектов в пространственно-временном масштабе, что позволило получить зависимость коэффициента предельной загрязненности и индекса Шеннона в расчетной обеспеченности, которая дает возможность разработать систему мероприятий по рациональному природопользованию и предотвращению возможных чрезвычайных ситуаций на основе количественной характеристики процессов естественного самоочищения природных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качество воды в бассейнах рек Амударья и Сырдарья // Аналитический отчет РЭЦ ЦА. – Ташкент, 2011. – 31 с.
2. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана / М. Ж. Бурлибаев [и др.]. – Алматы : Канагат, 2014. – Том 1. – 742 с.
3. Биогенные вещества в основных водотоках Казахстана / М. Ж. Бурлибаев [и др.]. – Алматы : Канагат, 2003. – 723 с.
4. Современное состояние загрязнения основных водотоков Казахстана ионами тяжелых металлов / М. Ж. Бурлибаев [и др.]. – Алматы : Канагат, 2002. – 196 с.
5. Методика «пределов допустимых изменений» на Байкале – участке Всемирного наследия ЮНЕСКО / А. Д. Калихман [и др.]. – Иркутск : Оттиск, 1999.
6. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. – М. : Минздрав СССР, 1988. – 74 с.
7. 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.
8. 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.
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. Шабанов В. В., Маркин В. Н. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем. – М. : МГУП, 2009. – 154 с.
11. Научные основы нормирования экологического стока рек Казахстана / М. Ж. Бурлибаев [и др.]. – Алматы, 2014. – 408 с.

REFERENCES

1. Kachestvo vody v basseynakh rek Amudar'ya i Syrda'ya // Analiticheskiy otchet RETs TsA. – Tashkent, 2011. – 31 p.
2. Problemy zagryazneniya osnovnykh transgranichnykh rek Kazakhstana / M. Zh. Burlibaev [i dr.]. – Almaty : Kanagat, 2014. – Tom 1. – 742 p.
3. Biogennye veschestva v osnovnykh vododtokakh Kazakhstana / M. Zh. Burlibaev [i dr.]. – Almaty : Kanagat, 2003. – 723 p.
4. Sovremennoe sosotoyanie zagryazneniya osnovnykh vododtokov Kazakhstana ionami tyazhelykh metallov / M. Zh. Burlibaev [i dr.]. – Almaty : Kanagat, 2002. – 196 p.
5. Metodika «predelov dopustimyykh izmeneniy» na Baykale – uchastke Vsemirnogo naslediya YuNESKO / A. D. Kalikhman [i dr.]. – Irkutsk : Ottisk, 1999.
6. Sanitarnye pravila i normy okhrany poverkhnostnykh vod ot zagryazneniya. – M. : Minzdrav SSSR, 1988. – 74 p.
7. Bulgakov N. G. Ekologicheski dopustimye urovni abioticheskikh faktorov v vodoemakh Rossii i sopredel'nykh stran. Zavisimost' ot geograficheskikh i klimaticheskikh osobennostey // Vodnye resursy. – 2004. – № 2. – Tom 31. – pp. 193–198.
8. Emel'yanova V. P., Danilova G. N., Rodziller I. D. Sposob obobscheniya pokazateley dlya otsenki

pokazateley kachestva poverkhnostnykh vod // *Gidrokhimicheskie materialy*. – 1980. – Т. 77. – pp. 88–96.

9. **Moiseenko T. I.** Metodicheskie podkhody k normirovaniyu antropogennykh nagruzok na vodoemy Subarktiki (na primere Kol'skogo severa) // *Problemy khimicheskogo i biologicheskogo monitoring ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh ob'ektov Kol'skogo severa*. – Appatity : Kol'skiy nauchnyy tsentr, 1995. – pp. 7–23.

10. **Shabanov V. V., Markin V. N.** Metod otsenki kachestva vod i sostoyaniya vodnykh ekosistem. – М. : MGUP, 2009. – 154 p.

11. Nauchnye osnovy normirovaniya ekologicheskogo stoka rek Kazakhstana Научные основы нормирования экологического стока рек Казахстана / М. Zh. Burlibaev [i dr.]. – Almaty, 2014. – 408 p.

Материал поступил в редакцию 31.08.16.

Мустафаев Жумахан Сулейменович, доктор техн. наук, профессор

кафедры «Водные ресурсы и мелиорация»

Тел. 8-701-746-58-09

E-mail: z-mustafa @rambler.ru

Козыкеева Алия Тобажановна, доктор техн. наук, доцент

Тел. 8-707-796-76-11

E-mail: aliya.kt@yandex.ru

Маймеков З. К., доктор техн. наук, профессор

Абдывалиева К. С., научный сотрудник