

М. Ж. Бурлибаев¹, Д. М. Бурлибаева², А. М. Рыскельдиева³,
А. Н. Ердесбай³, К. К. Макаш⁴, А. С. Иканова⁴

¹Д.т.н., профессор, заместитель генерального директора по науке
(Казахстанское агентство прикладной экологии, Алматы, Казахстан)

²Доктор PhD, СМС лаборатории гидрохимии и экологической токсикологии
(Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан)

³PhD докторант кафедры метеорологии и гидрологии
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан)

⁴Старший преподаватель кафедры географии, землеустройства и кадастра
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан)

ОБ ИЗМЕНЕНИИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА РЕКИ ЕРТИС НА ПРИГРАНИЧНОЙ С КНР ТЕРРИТОРИИ

Аннотация. Представлена динамика колебаний гидрохимических показателей трансграничной реки Ертис с 2001 по 2016 г. на приграничном участке с Китайской Народной Республикой и определена группа загрязнителей, элементы которой превышают предельно допустимые концентрации.

Ключевые слова: гидрохимия, источники загрязнения, качество воды, комплексный индекс загрязненности вод (КИЗВ), предельно допустимые концентрации, трансграничная река Ертис.

Введение. Специфическим феноменом современной экологической ситуации стало трансграничное загрязнение, распространенное в атмосфере и гидросфере, которое усложняет переговорные процессы в вопросах охраны окружающей среды между сопредельными государствами.

Такая ситуация характерна и для нашей республики, так как главные водотоки являются трансграничными и на протяжении многих лет качественные характеристики поверхностных вод подвергаются колоссальному негативному воздействию в результате хозяйственной деятельности и функционирования промышленных предприятий сопредельных государств.

В этой связи оценка качества поверхностных вод, а также определение степени и характера загрязнения должны проводиться в надлежащем порядке.

Что подразумевается под качеством поверхностных вод? Это состав и свойства поверхностных речных вод, определяющие пригодность для конкретных видов водопользования, обеспечения надлежащего уровня здоровья населения и функционирования естественных экологических систем в пределах гомеостаза [6].

При исследовании качественного изменения вод трансграничных рек немаловажным фактором является изучение формирования химического состава природных вод. Благодаря основополагающим работам Вернадского В. И. (1891–1945), Ферсмана А. Е. (1932–1955), Виноградова А. Н. (1924–1957), Алекина О. А. (1943–1965) и других видных ученых основные пути формирования и главные факторы, определяющие химический состав природных вод, в общих чертах известны [4].

Понимание химического состава воды также необходимо для оценки пригодности ее использования в различных целях. Изменение качества поверхностных вод происходит в результате как взаимодействия воды и природы (выветривания), так и хозяйственной деятельности [7].

К естественным источникам загрязнения водных ресурсов относятся рудные месторождения и рудопроявления, различные геохимические аномалии. В результате их воздействия естественный фон содержания тех или иных химических веществ в воде превышает существующие нормативы как рыбохозяйственных, так и менее жестких – хозяйственно-бытовых ПДК [1].

Общеизвестно, что из антропогенных источников загрязнения в первую очередь выделяют две основные группы объектов – это сельскохозяйственные источники загрязнения – свалки ТБО, животноводческие комплексы, склады минеральных удобрений и др. К промышленным источникам загрязнения относят промышленные и коммунально-бытовые стоки предприятий и населенных пунктов, поверхностные сливы с загрязненных предприятий и селитебных зон, полигонов промыш-ленных отходов.

Объект исследования. Река Ертис – жизненно важная артерия не только Казахстана, но и всего региона. Она является самым крупным притоком Оби, длина реки составляет 4248 км, протекает по территории Китая с названием Кара Ертис (Черный Иртыш, 512 км), Казахстана (1696 км) и России (2040 км). Площадь бассейна равна 1643 тыс. км², в том числе стокоформирующая – 1110 тыс. км². Истоки Ертиса (Кара Ертис) находятся на границе Монголии и Китая, на восточных склонах хр. Монгольский Алтай на высоте 2500 м над уровнем моря в западной части китайской провинции Синьцзянь (Джунгария). На территории Казахстана Кара Ертис впадает в проточное оз. Жайсан. Вытекая из оз. Жайсан под названием Ертис, река течет на северо-запад до границы с РФ. Сток Ертиса в Казахстане регулируется Буктарминским, Усть-Каменогорским, Шульбинским водохранилищами. Ниже г. Ханты-Мансийска река впадает в р. Обь, а затем – в Северный Ледовитый океан [3, 5].

Материалы и методы. Использованы многолетние статистические данные гидрохимических наблюдений Национальной мониторинговой службы РГП «Казгидромет» МЭГПР РК.

Для наблюдения динамики изменения концентраций загрязняющих веществ в водах р. Ертис взяты данные за 2001–2016 гг. Изменение гидрохимических характеристик поверхностного стока р. Ертис на приграничном участке с Китайской Народной Республикой (р. Кара Ертис – с. Боран) определено с помощью расчетов комплексного индекса загрязненности вод (КИЗВ), который базируется на гидрохимических режимных данных.

Комплексный индекс загрязненности вод – это основная методика исследований в этой работе. Авторами методической разработки (Комплексная оценка качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям, 2007) являются Бурлибаев М. Ж. и др.

Ниже представлены основные группы элементов, по которым производится расчет КИЗВ [2]:

- 1) главные ионы (Ca, Mg, сумма Na+K, SO₄, Cl и др.);
- 2) биогенные элементы (NH₄, NO₂, NO₃, P_{общ}, фосфаты, Si и др.);
- 3) тяжелые металлы (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr₃, Mn, Hg, Hg₂, Ni, Co, Sn, Bi, Mo, Fe₂, Fe₃ и др.);
- 4) ядовитые вещества (CN, SCN, F, H₂S, AS и др.);
- 5) органические вещества (нефтепродукты, смолы, углеводы, жиры, фенолы, СПАВ);
- 6) хлороорганические вещества (ДДТ, ДДД, ДДЭ, ГХЦГ и др.).

КИЗВ для каждой из групп определяется по следующей формуле:

$$\text{КИЗВ}_j = (\sum_{i=1}^n C_i / \text{ПДК}_i) / n,$$

где КИЗВ_j – индекс загрязненности вод j-й группы; C_i – i-я концентрация элемента j-й группы, мг/дм³; ПДК_i – i-я предельно допустимая концентрация для элемента C_i, мг/дм³; n – количество ингредиентов j-й группы, участвующих в определении КИЗВ.

Классификация водных объектов по степени загрязнения по результатам вычисления КИЗВ, по концентрации растворенного кислорода и показателю БПК₅ производится в соответствии с таблицей 1 [2].

Таблица 1 – Классификация водных объектов по степени загрязнения [2]

Степень загрязнения	Оценочные показатели загрязнения водных объектов		
	по КИЗВ	по растворенному кислороду, мг/л	по БПК ₅ , мг/л
Нормативно чистая	До 1,0	4,0	3,0
Умеренного уровня загрязнения	1,0–3,0	3,0	6,0
Высокого уровня загрязнения	3,0–10,0	2,0	8,0
Чрезвычайно высокого уровня загрязнения	Выше 10,0	1,0	Выше 8,0

Обсуждение результатов. Согласно расчетам и анализу полученных материалов вода в створе р. Кара Ертис – с. Боран с 2001 по 2016 г. не являлась нормативно чистой, за исключением 2008 г. (рисунок 1). Качество воды здесь варьирует от класса «умеренный уровень загрязнения» до «высокий уровень загрязнения». Наблюдается тенденция снижения показателя КИЗВ в этом створе. Группы элементов, превышающие значения нормативов ПДК_{рх}: тяжелые металлы, органические вещества, биогенные элементы.

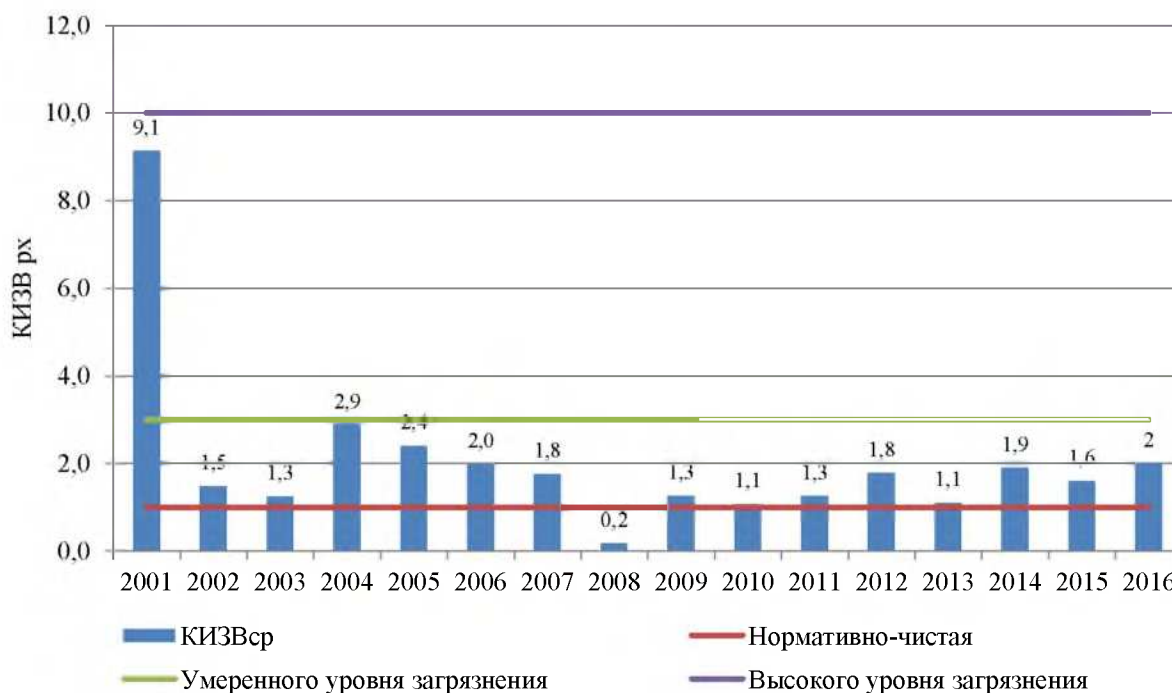


Рисунок 1 – Значения КИЗВ_{рх} в створе р. Кара Ертис за 2001–2016 гг.

Если рассматривать загрязненность воды по группам, то такие группы, как главные ионы, биогенные элементы и ядовитые вещества в период исследований (2001–2016 гг.), согласно классификации водных объектов по степени загрязнения [2] относились к классу «нормативно-чистые», видимые колебания их концентраций не наблюдались. Лишь в 2004 г. из группы биогенных элементов азот нитритный (NO_2) превысил норматив ПДК_{рх} в 3,4 раза и был зафиксирован на уровне «высокого загрязнения».

В целом присутствие биогенных элементов до определенных концентраций необходимо для водного растительного сообщества в качестве фактора обеспечения процесса фотосинтеза [1]. Сегодня в результате антропогенного воздействия биогенные элементы в водных объектах присутствуют в повышенных концентрациях, однако в створе р. Кара Ертис – с. Боран за расчетный период они были в пределах нормы, кроме 2004 г. Повышенная концентрация элементов биогенной группы наблюдается в весенне-летний период. Здесь необходимо отметить, что нитриты достигают наибольшей концентрации в летнее время и это связано с активностью фитопланктона [1], а развитие активности возможно из-за резкого снижения скорости течения в результате различных антропогенных нагрузок.

Значения комплексного индекса загрязненности вод по группам в разрезе 16 лет представлены в таблице 2.

Тяжелые металлы являются основными загрязнителями поверхностного стока р. Ертис по всему течению водотока. Полученные величины свидетельствуют о том, что почти за весь исследуемый период (2001–2016 гг.) качество воды р. Кара Ертис в створе с. Боран по степени загрязнения находится в пределах «умеренного уровня загрязнения», кроме 2008 г., когда было зафиксировано

Таблица 2 – Значения комплексного индекса загрязненности вод (КИЗВ)
по гидрохимическим показателям в створе р. Кара-Ертис – с. Боран, в черте села за 2001–2016 гг.

Год	Главные ионы	Биогенные элементы	Тяжелые металлы	Ядовитые вещества	Органические вещества
2001	0,2	0,2	2,3	0,0	16
2002	0,1	0,2	1,7	0,0	1,3
2003	0,2	0,4	1,5	0,0	1,0
2004	0,1	3,4	2,4	0,0	2,8
2005	0,1	0,4	3,3	0,0	1,6
2006	0,1	0,4	2,0	0,1	0,7
2007	0,2	0,4	1,8	0,0	0,5
2008	0,1	0,1	0,3	0,0	0,2
2009	0,1	0,0	1,3	0,2	0,4
2010	0,1	0,3	1,1	0,2	0,4
2011	0,1	0,2	1,3	0,0	0,5
2012	0,1	0,1	1,8	0,0	0,3
2013	0,1	0,1	1,1	0,0	0,4
2014	0,1	0,4	1,9	0,3	0,3
2015	0,1	0,0	1,6	0,3	0,3
2016	0,1	0,2	2,0	0,3	0,3

Таблица 3 – Значения индекса загрязненности вод (ИЗВ) отдельных элементов
в створе р. Кара-Ертис – с. Боран, в черте села в 2001–2016 гг.

Годы	Тяжелые металлы, ПДК _{рх}				Органические вещества, ПДК _{рх}
	железо общее	железо ⁺²	медь	цинк	Нефтепродукты
2001	1,5	н/ч	3,0	н/ч	16,0
2002	н/ч	н/ч	1,6	н/ч	1,3
2003	н/ч	н/ч	1,5	н/ч	н/ч
2004	2,7	8,0	3,7	н/ч	2,7
2005	н/ч	н/ч	3,5	н/ч	1,5
2006	1,3	2	2,3	2,2	н/ч
2007	н/ч	н/ч	1,9	1,6	н/ч
2008	н/ч	н/ч	н/ч	н/ч	н/ч
2009	н/ч	н/ч	1,2	н/ч	н/ч
2010	н/ч	н/ч	1,0	н/ч	н/ч
2011	н/ч	н/ч	1,2	н/ч	н/ч
2012	н/ч	н/ч	1,7	н/ч	н/ч
2013	1,0	н/ч	2,2	н/ч	н/ч
2014	н/ч	н/ч	н/ч	н/ч	н/ч
2015	н/ч	н/ч	н/ч	н/ч	н/ч
2016	н/ч	н/ч	н/ч	н/ч	н/ч

Примечание. н/ч – нормативно-чистая.

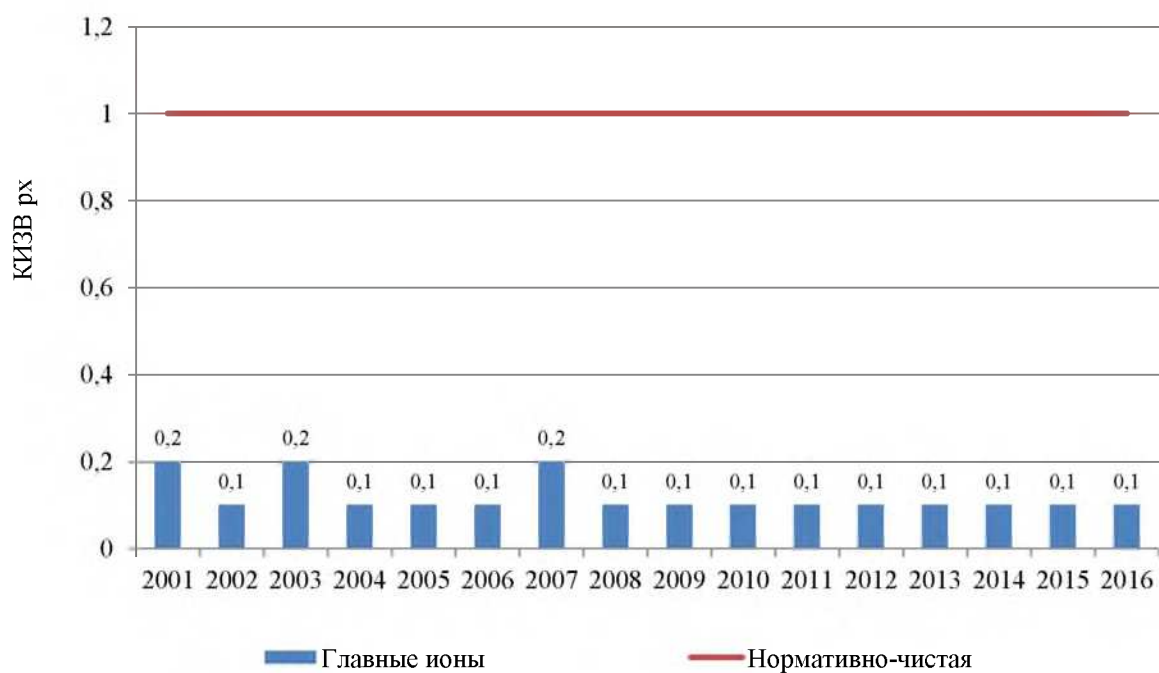


Рисунок 2 – Динамика изменения КИЗВ_{рх} главных ионов за 2001–2016 гг.
в створе р. Ертис – с. Боран

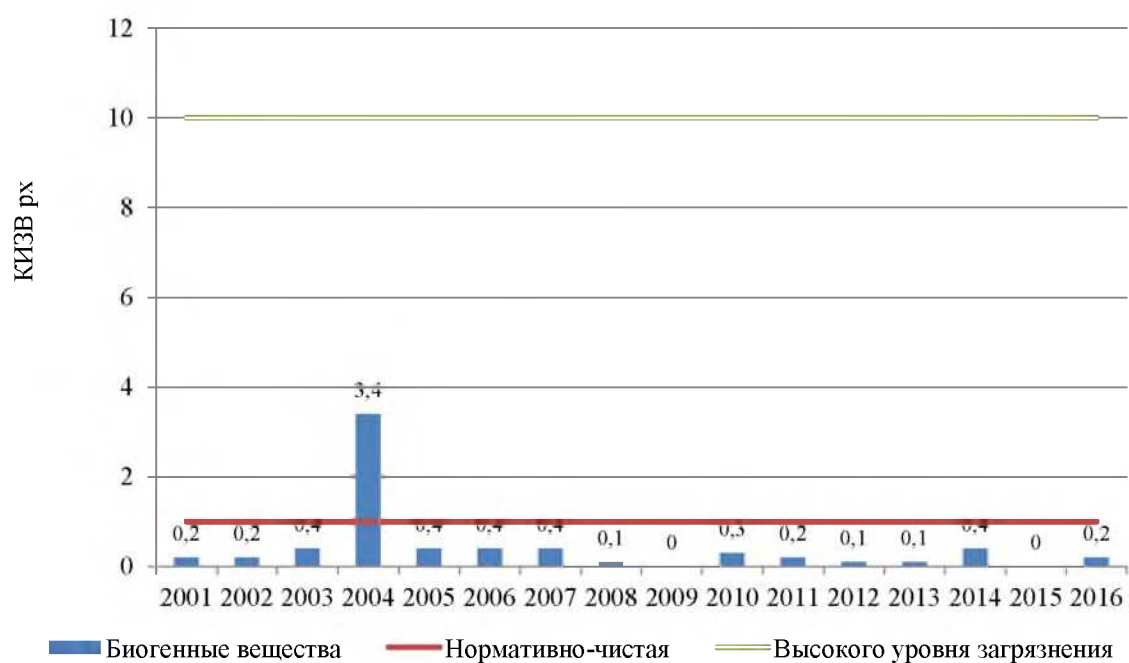


Рисунок 3 – Динамика изменения КИЗВ_{рх} группы биогенных элементов за 2001–2016 гг.
в створе р. Ертис – с. Боран

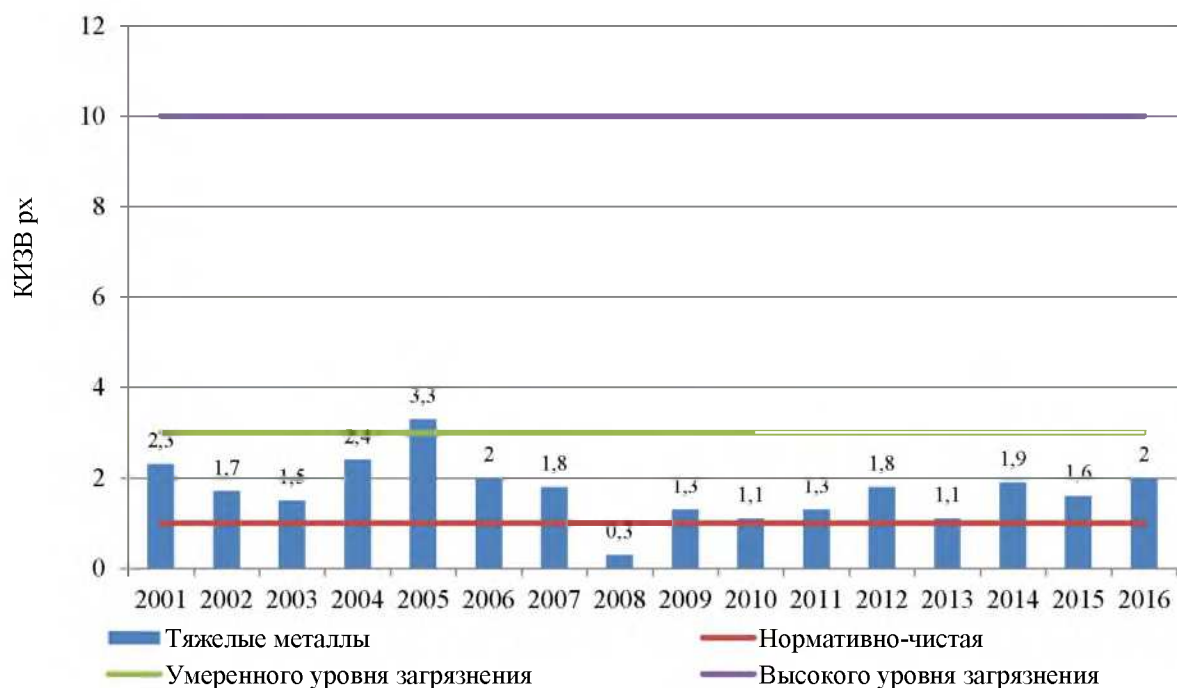


Рисунок 4 – Динамика изменения КИЗВ_{рх} группы тяжелых металлов за 2001–2016 гг. в створе р. Ертис – с. Боран

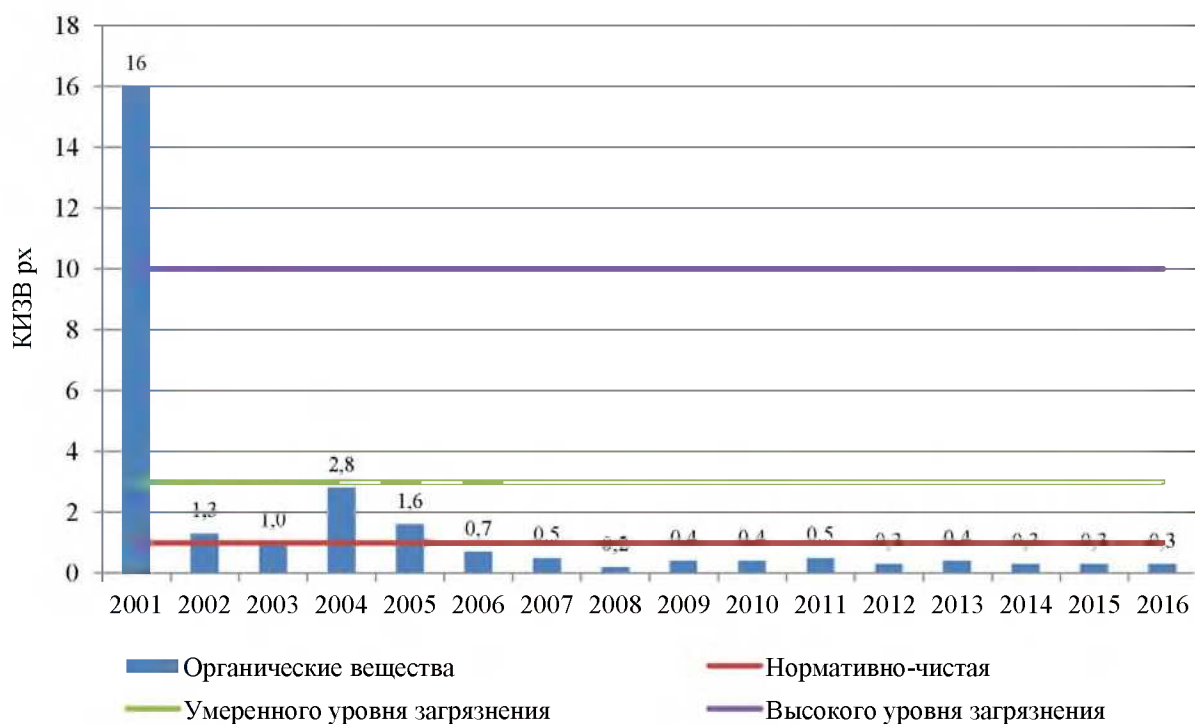


Рисунок 5 – Динамика изменения КИЗВ_{рх} группы органических веществ за 2001–2016 гг. в створе р. Ертис – с. Боран

сокращение концентраций тяжелых металлов в 1,5 раза по сравнению с 2007 г. Уменьшение концентрации элементов группы тяжелых металлов, возможно, связано со снижением сбросов сточных вод в реку. Элементы, превышающие нормативы предельно допустимых концентраций по рыбо-хозяйственным критериям: железо общее, железо²⁺, медь, цинк (таблица 3). Высокие значения ИЗВ по рыбохозяйственным критериям зафиксированы для железа²⁺ – 8,0 и меди – 3,7. Если сравнивать средние значения КИЗВ группы тяжелых металлов начала и конца расчетного периода, то можно отметить незначительное понижение концентрации элементов группы тяжелых металлов.

Динамику колебаний по основным гидрохимическим показателям в створе р. Кара Ертіс – с. Боран можно увидеть на рисунках 2–5.

Из группы органических веществ норматив ПДК превышают только нефтепродукты. Самые высокие значения ИЗВ зафиксированы в 2001 г. – воды относились к «чрезвычайно высокому уровню загрязнения». В 2002, 2004, 2005 гг. качество вод соответствовало «умеренному уровню загрязнения», а в последующие годы концентрации элементов группы органических веществ находились в пределах уровня «нормативно-чистой» воды. В целом по концентрации нефтепродуктов в речных водах наблюдается тенденция понижения (см. таблицу 3).

Выводы. Проанализирована динамика изменения концентраций загрязняющих веществ в створе на р. Кара Ертіс – с. Боран за 16-летний период, выявлены приоритетные группы загрязняющих веществ.

За весь период исследований качество поверхностных вод в створе р. Кара Ертіс на приграничном участке с Китайской Народной Республикой по средним показателям КИЗВ_{рх} варьировало от «высокого уровня загрязнения» до «умеренного уровня загрязнения», приоритетные группы загрязняющих веществ – тяжелые металлы и органические вещества.

Качество поверхностных вод Верхнего Ертіса формируется в значительной степени под влиянием загрязняющих веществ, поступающих в реку из Синьцзян-Уйгурского автономного района (Китай). Установлено, что поверхностные воды р. Кара Ертіс, поступающие с территории КНР, характеризуются повышенным содержанием тяжелых металлов и нефтепродуктов. Выявление причин подобного трансграничного загрязнения осложняется отсутствием открытой информации о хозяйственной деятельности в СУАР КНР. Известно, что воды трансграничной р. Кара Ертіс транспортируются на Джунгарскую равнину (р. Кара Ертіс – г. Карамай; р. Кара Ертіс – г. Урумчи). Доступная информация об освоении упомянутой территории, а также о деятельности промышленных предприятий отсутствует.

Для улучшения экологического состояния трансграничной реки Ертіс необходимы совместные слаженные действия сопредельных государств. Межгосударственные комиссии должны прийти к единому пониманию концепции «Экологического стока», которая затрагивает как количественные, так и качественные характеристики, а также выдвигает экосистему на место главного водопотребителя воды в бассейне.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бурлибаев М.Ж., Амиргалиев Н.А., Шенбергер И.В., Скольский В.А., Бурлибаева Д.М., Уваров Д.В., Смирнова Д.А., Ефименко А.В., Милоков Д.Ю. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана. – Алматы: Издательство "Каганат", 2014. – Т. 1. – 744 с.
- [2] Комплексная оценка качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Бурлибаев М.Ж. и другие. – Алматы: Издательство "Тылым", 2007. – 96 с.
- [3] Пальгов Н.Н. Реки Казахстана. – Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1959. – 100 с.
- [4] Сибиркина А.Р. Техногенное загрязнение тяжелыми металлами водосборной площади бассейна Иртыша в пределах территории Республики Казахстан: дис. ... канд. хим. наук. – Семипалатинск, 1999. – 107 с.
- [5] Фролова Н.Л., Воробьевский И.Б. Гидроэкологические ограничения водопользования в бассейне Иртыша // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2011. – № 6.
- [6] Чемагин А.А. Современное экологическое состояние реки Иртыш в нижнем течении: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Тюмень, 2015. – 16 с.
- [7] Todd D. Ground water hydrology, 2nd edn. Wiley. – New York, 1980. – 535 p.

REFERENCES

- [1] Burlibaev M.Zh., Amirgaliev N.A., Schenberger I.V., Skolsky V.A., Burlibayeva D.M., Uvarov D.V., Smirnova D.A., Efimenko A.V., Milyukov D.Yu. Problems of pollution of the main transboundary rivers of Kazakhstan. Almaty: Kaganat Publishing House, 2014. Vol. 1. 744 p.
- [2] Comprehensive assessment of surface water quality based on hydrochemical parameters / Burlibaev M. Zh. and others. Almaty: Gylm Publishing House, 2007. 96 p.
- [3] Palgov N.N. Rivers of Kazakhstan. Alma-Ata: Academy of Sciences Kazakh Union of Socialist Republics Publishing house, 1959. 100 p.
- [4] Sibirskina A.R. Technogenic pollution by heavy metals of the catchment area of the Irtysh basin within the territory of the Republic of Kazakhstan: Thesis ... candidate of chemical sciences. Semipalatinsk, 1999. 107 p.
- [5] Frolova N.L., Vorobyevsky I.B. Hydroecological restrictions of water use in the Irtysh basin // Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography. 2011. N 6. P. 34–42.
- [6] Chemagen A.A. The Modern ecological state of the Irtysh river in the lower reaches: Author's abstract dissertation ... candidate of biological sciences. Tyumen, 2015. 16 p.
- [7] Todd D. Ground water hydrology, 2nd edn. Wiley. New York, 1980. 535 p.

**М. Ж. Бурлибаев¹, Д. М. Бурлибаева², А. М. Рыскельдиева³,
А. Н. Ердесбай³, К. К. Макаш⁴, А. С. Иканова⁵**

¹Т.ғ.д., профессор, бас директордың ғылыми жұмыс жөніндегі орынбасары
(Қазақстан қолданбалы экология агенттігі, Алматы, Қазақстан)

²Доктор PhD, гидрохимия және экологиялық токсикология лабораториясының
аға ғылыми қызметкері (География институты, Алматы, Қазақстан)

³Метеорология және гидрология кафедрасының PhD докторанты
(Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан)

⁴География, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының аға оқытушысы
(Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан)

ҚЫТАЙ ХАЛЫҚ РЕСПУБЛИКАСЫМЕН ШЕКАРА МАҢЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ЕРТІС ӨЗЕНІНІҢ ЖЕР ҮСТІ АҒЫСЫНЫҢ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ БОЙЫНША СУ САПАСЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ ТУРАЛЫ

Аннотация. 2001–2016 жылдар аралығында Қытай Халық Республикасымен шекара маңы аумағындағы Ертіс трансшекаралық өзенінің гидрохимиялық көрсеткіштерінің тербеліс серпіні берілген және рұқсат етілген шекті шоғырлануларынан асатын ластаушылар тобы анықталды.

Түйін сөздер: гидрохимия, ластану көздері, су сапасы, судың ластануының кешенді индексі (СЛКИ), рұқсат етілген шекті шоғырланулары, Ертіс трансшекаралық өзені.

M. Zh. Burlibaev¹, D. M. Burlibaeva², A. M. Ryskeldieva³, A. N. Erdesbai³, K. K. Makash⁴, A. S. Ikanova⁴

¹Doctor of technical Sciences, Full Professor, Deputy General Director for research
(Kazakhstan agency for applied ecology, Almaty, Kazakhstan)

²PhD, senior researcher at the laboratory of hydrochemistry and environmental toxicology
(Institute of geography, Almaty, Kazakhstan)

³PhD student of the Department of meteorology and hydrology
(Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan)

⁴Senior lecturer at the Department of geography, land management and cadastre
(Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan)

ABOUT WATER QUALITY CHANGES ACCORDING TO HYDROCHEMICAL INDICATORS OF SURFACE FLOW OF THE ERTIS RIVER ON THE BORDER TERRITORY WITH PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

Abstract. This article presents the dynamics of hydrochemical indicators fluctuations in the transboundary Ertis river in the context of 2001–2016 on the border territory with PRC, and identifies a group of pollutants exceeding the maximum permissible concentrations.

Keywords: hydrochemic, sources of pollution, water quality, complex water pollution index (CIP), maximum permissible concentrations, cross-border Ertis river.