

**Д.М. Бурлибаева¹, М.Ж. Бурлибаев², А.М. Рыскельдиева³ ,
Р.К. Кайдарова², К. Опп⁴, Н.А. Амиргалиев¹**

¹Институт географии и водной безопасности, Казахстан, г. Алматы

²Казахстанское агентство прикладной экологии, Казахстан, г. Алматы

³Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

⁴Университет Филиппса, Германия, г. Марбург

Корреспондентский автор - Рыскельдиева А.М.

e-mail: aiganris_81@mail.ru

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ГРУППЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ЕРТИС НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

В последние годы под влиянием хозяйственной деятельности бассейн трансграничной реки Ертис в большой степени подвергается загрязнению, особенно в верхней части. Казахская часть бассейна является одним из высокоразвитых промышленных регионов Казахстана, где сконцентрированы крупные предприятия черной, цветной металлургии и других отраслей, которые негативно воздействуют на качество воды.

В данной статье представлена динамика колебаний концентраций тяжелых металлов трансграничной реки Ертис в период 2000-2016 гг. Для анализа динамики колебаний загрязнителей группы тяжелых металлов были взяты следующие гидрохимические створы: 1) р. Кара Ертис – с. Боран, в черте села; 2) р. Ертис – г. Усть-Каменогорск, 22,2 км ниже города; 3) р. Ертис – с. Предгорное, 1 км ниже впадения р. Красноярка; 4) р. Ертис – г. Семей, 0,8 км ниже сб. Горводоканала; 5) р. Ертис – г. Аксу, 0,8 км ниже сброса ГРЭС; 6) р. Ертис – г. Павлодар, 0,5 км ниже сб. Упр. Горводоканал; 7) р. Ертис – с. Прииртышское, в створе водпоста. По результатам исследований качество воды исследуемого объекта за выбранный период соответствует «умеренному уровню загрязнения», в отдельных случаях качество воды водотока попадает в класс высокого уровня загрязнения. Основными загрязняющими элементами, превышающими нормативы ПДК_{рв} являются медь, железо общее, железо²⁺, цинк, марганец. Наибольшие превышения зафиксированы по концентрациям меди, цинка и железа общего.

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

D. M. Burlibaeva¹, M. Zh. Burlibaev², A. M. Ryskeldieva³,
R. K. Kaidarova², Ch. Opp⁴, N.A. Amirgaliev¹

¹The Institute of Geography and Water Security, Kazakhstan, Almaty

²Kazakhstan Agency for applied ecology, Kazakhstan, Almaty

³Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

⁴Philipps-University, Germany, Marburg

Correspondent author - A.M. Ryskeldieva

e-mail: aiganris_81@mail.ru

Dynamics of concentrations changes of heavy metal group pollutants in surface water of the transboundary Ertis River on the territory of the Republic of Kazakhstan

In recent years, under the influence of economic activity, the basin of the transboundary Ertis River has been polluted, especially in the upper part. The Kazakhstan part of the basin is one of the highly developed industrial regions of Kazakhstan, where large enterprises of ferrous and non-ferrous metallurgy and other industries are concentrated, that negatively affect on water quality.

This article presents the dynamics of fluctuations of the concentrations of heavy metals in the transboundary Ertis River in the period of 2000-2016 years. The data of the following hydroposts was selected for the analysis of fluctuation of the heavy metals group pollutants: 1) the Kara Ertis River – Boran village,

within the village; 2) the Ertis River – Ust-Kamenogorsk city, 22.2 km below the city; 3) the Ertis River – Predgornoye village, 1 km below the inflow of the r Krasnoyarka River; 4) the Ertis River – Semey city, 0.8 km below the discharge of Gorvodokanal; 5) the Ertis River – Aksu city, 0.8 km below the SDPS; 6) the Ertis River – Pavlodar city, 0.5 km below discharge of Gorvodokanal; 7) the Ertis River – Priirtishskoye village, in the alignment of staff gage. According to the research results, the water quality of the studied object for the selected period corresponds to a “moderate level of pollution”, in some cases, the water quality of the watercourse falls into the class of high pollution level. The main polluting elements exceeding the MPCr standards are copper, total iron, iron²⁺, zinc, manganese. The largest excess was recorded in the concentrations of copper, zinc and total iron.

Key words: the transboundary Ertis River, water quality, hydrochemistry, heavy metals, complex water pollution index (CWPI), maximum permissible concentrations.

Д.М. Бүрлібаева¹, М.Ж. Бүрлібаев², А.М. Рыскелдиева³,
Р.Қ. Қайдарова⁴, К. Опп⁵, Н.Ә. Әмірғалиев⁶

^{1,6}География және су қауіпсіздігі институты, Қазақстан, Алматы қ.

^{2,4}Қазақстан Қолданбалы Экология Агенттігі Қазақстан, Алматы қ.

³Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

⁵Филиппс Университеті, Германия, Марбург қ.

Корреспонденттік автор – А.М. Рыскелдиева

e-mail: aiganris_81@mail.ru

Қазақстан Республикасының аумағында Ертіс трансшекаралық өзенінің жер үсті суларындағы ауыр металдар тобының ластаушы заттары шоғырлануының өзгеру динамикасы

Соңғы жылдары көбінесе шаруашылық қызметінің әсерінен Ертіс трансшекаралық өзенінің су алабы ластануға ұшырауда, әсіресе жоғарғы бөлігінде. Бассейннің қазақстандық бөлігі жоғары дамыған өнеркәсіптік өңірлерінің бірі болып табылады. Онда шоғырланған қара және түсті металлургия кәсіпорындары су сапасына кері әсерін тигізуде.

Бұл мақалада 2000–2016 жж. шекарааралық Ертіс өзенінің ауыр металдар концентрациясының ауытқу динамикасы көрсетілген. Ауыр металдар тобының ластаушы заттарының ауытқу динамикасын талдау үшін келесі гидрохимиялық бекеттер алынды: 1) Қара Ертіс өз. – Боран а., ауыл шегінде; 2) Ертіс өз. – Өскемен қ., қаладан 22,2 км төмен; 3) Ертіс өз. – Предгорное а., Красноярка өз. құйылған сағасынан 1 км төмен; 4) Ертіс өз. – Семей қ., Қаласуқаналы – 0,8 км төмен; 5) Ертіс өз. – Ақсу қ., МАЭС–тен 0,8 км төмен; 6) Ертіс өз. – Павлодар қ., Қаласуқаналы Басқ. төмен 0,5 км; 7) Ертіс өз. – Прииртышское а., су бекетінде. Зерттеу нәтижелері бойынша, таңдалған кезеңде және зерттеліп отырған нысана су сапасы ластанудың орташа деңгейін көрсетсе, кейбір жағдайларда ағын судың сапасы жоғарғы деңгейге жеткен. Балық шаруашылығы мөлшері шектеулі шама стандарттарынан асатын негізгі ластаушы элементтер мыс, темір, темір 2+, мырыш, марганец болып табылады.

Түйін сөздер: Ертіс трансшекаралық өзені, судың сапасы, гидрохимия, ауыр металдар, судың ластануының кешенді индексі (СЛКИ), мөлшері шектеулі шама.

Введение

На повестке дня Организации Объединенных Наций на период до 2030 года стоит вопрос об улучшении качества воды за счет снижения загрязнения, устранения сброса и минимизации выбросов опасных химических веществ и материалов, вдвое сократить долю неочищенных сточных вод и существенно увеличить рециркуляцию и безопасное повторное использование во всем мире. Загрязнение тяжелыми металлами считается одной из наиболее выраженных проблем, угрожающих качеству воды. Промышленная деятельность, сброс городских сточных вод, неустойчивые методы ведения сельского

хозяйства и транспортная деятельность приводят к загрязнению экосистем тяжелыми металлами» (*Withanachchi et al., 2018*). Загрязнение этих уникальных источников многочисленными антропогенными химическими веществами и загрязнителями может не только ухудшить эти экосистемы, но и поставить под угрозу здоровье населения (*Ustaoğlu and Tepe, 2019*).

В последние годы под влиянием хозяйственной деятельности бассейн трансграничной реки Ертіс в большой степени подвергается загрязнению, особенно в верхней части бассейна. Казахстанская часть бассейна реки Ертіс является одним из высокоразвитых промышленных регионов Казахстана. Индустриальная зона пред-

ставлена такими крупными предприятиями, как ОАО «Казцинк», АО «Усть-Каменогорский титано-магниевого комбинат», «Иртышский химико-металлургический завод», «Иртышский Медный завод», АО «Алюминий Казахстана», АО «Испат-Кармет», АО «Казахмыс», АО «Ульбинский металлургический завод», АО «Химпром» и др., промышленные стоки которых являются основными источниками загрязнения реки Ертис.

В Восточном регионе река Ертис считается загрязненной и умеренно загрязненной. Основными загрязнителями являются тяжелые металлы. Как уже известно, ионы тяжелых металлов поступают различными путями в речные водотоки – выбросы в атмосферу и перенос воздушными потоками с последующим выпадением на поверхность (почва, растительность, вода), хранение твердых и бытовых промышленных отходов (вынос с поверхностным и подземным стоком), сбросы в водоемы неочищенных и недоочищенных промышленных вод (Воробьев и др., 2019). Содержание загрязняющих веществ, главным образом, связано с малой мощностью и устаревшими очистными сооружениями (недостаточная полная очистка производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод), не исключены случаи отсутствия очистных сооружений. Также способствуют загрязнению так называемые «исторические источники загрязнения» – старые хвостохранилища, отвалы, шламонакопители, отработанные рудники, которые давно нуждаются в рекультивации и обезвреживании. Например, в Уланском районе вблизи реки Ертис расположены хвостохранилища бывшего Белогорского комбината (Белогорский участок с запасами полевых шпатов), также в Усть-Каменогорске после закрытия крупного конденсаторного завода в грунте остался слой совола – вещества, относящегося к стойким органическим загрязнителям первого класса опасности. Эти источники могут подмываться подземными водами, а затем посредством гидравлической связи поступать в реку Ертис. Немаловажный «вклад» в загрязнение реки Ертис вносится и ее притоками. Реки Брекса, Тихая, Ульби, Глубочанка, Красноярка оцениваются высоким уровнем загрязнения. В частности, на качество воды реки Ульби в г. Риддер оказывает свое негативное воздействие исторический отвал, созданный много лет назад из вскрышных пород Тишинского карьера (Тишинское месторождение полиметаллических руд), из которого происходит частичное вымывание руды. Следует отметить тот факт, что многие отвалы расположены на берегах реки Ертис и ее притоков. Такие источники загрязнения являют-

ся не единичным случаем, следовательно, разрабатываемые месторождения полезных ископаемых служат источниками прямого загрязнения.

Исходя из вышеизложенного на сегодняшний день, качественный мониторинг и оценка качества воды являются важнейшей задачей для решения проблемы устойчивости поверхностных вод, особенно рек, поскольку они имеют жизненно важное значение для человека (*Ustaoglu and Tere, 2019*).

Целью данной работы является анализ динамики изменения концентраций ионов тяжелых металлов в реке Ертис именно в многолетнем разрезе, Национальный оператор мониторинга поверхностных водных объектов – РГП «Казгидромет» МЭГПР РК – предоставляет годовые обзоры, однако в литературе очень скудная информация о многолетних гидрохимических характеристиках поверхностных водотоков Казахстана. Тяжелые металлы представляют наибольший интерес, поскольку высокое их содержание в воде оказывает токсическое действие.

Объект исследования

Река Ертис (Иртыш) – самый крупный, левый приток Оби. Длина реки составляет 4248 км, протекает по территориям трех государств: Китай (618 км), Казахстан (1589 км) и Россия (2041 км). Общая площадь бассейна составляет 1,65 млн. км². В бассейне реки Ертис насчитывается более 230 тыс. рек, из которых 23 реки имеют длину более 500 км (Экологические риски в трансграничном бассейне реки Иртыш, 2014). Водоток берет начало на западных склонах Монгольского Алтая, на высоте 2500 м, где называется «Черный Иртыш» («Кара Ертис»). Из Китая под названием «Черный Иртыш» река пересекает границу с Казахстаном, проходит через Жайсанскую котловину, впадает в проточное озеро Жайсан. Вытекая из озера Жайсан, река Ертис течет в северо-западном направлении по Западно-Сибирской равнине, и в районе Ханты-Мансийска (Россия) Ертис впадает в Обь.

Казахстанская часть бассейна расположена в пределах Восточно-Казахстанской, Северо-Казахстанской, Павлодарской, Костанайской, Карагандинской и Акмолинской областей. На территории Казахстана река зарегулирована каскадом водохранилищ: Буктарминским, Усть-Каменогорским, Шульбинским. Река Ертис используется для водоснабжения городов Усть-Каменогорска и Павлодара. Помимо промышленности, воды используются также для орошения, также водоток питает канал им. К. Сатпаева.

Методика исследования

На территории Республики Казахстан мониторинг поверхностных вод ведется Национальной мониторинговой службой РГП «Казгидромет» МЭГПР РК. Первые гидрохимические исследования на водотоках начаты в 1934 г., но до 1968 г. гидрохимические исследования ограничивались определением только минерализации. Лишь в 1968 г. исследования начали проводиться по 89 параметрам (Бурлибаев и другие, 2014).

На сегодняшний день существует немало методических разработок отечественных авторов по комплексной оценке качества поверхностных вод. Они, в свою очередь, подразделяются на две группы. К первой относятся методы, которые позволяют оценивать качество воды по совокупности гидрохимических, гидрофизических, гидробиологических, микробиологических показателей, а вторая группа включает методы, связанные с расчетом комплексных индексов загрязненности воды (Гагарина, 2005). Методы второй группы (Никаноров, 1984; Емельянова и Лобченко, 2002; Бурлибаев и др., 2007), нынче нашли свое применение, поскольку комплексная оценка в последние годы привлекает все большее внимание не только международного научного сообщества, но и местных, национальных и региональных заинтересованных сторон в политике и управлении.

По мнению исследователей (Гагарина, 2005), при разработке комплексных показателей качества воды необходимо исходить из гидрологического режима, природно-климатических, почвенных условий водосбора, а также вида водопользования.

Комплексные показатели качества вод востребованы во всем мире. Например, в публикациях (Sing et al., 2013a; Frumin and Fetisova, 2017; Tiwari et al., 2017; Withanachchi et al., 2018; Ustaoglu and Tepe, 2019) оценка качества вод рек осуществляется на основе нескольких индексов. Withanachchi S.C. и другие (2018) считают, что показатели качества, как интегрированная мера нескольких отдельных качественных характеристик, помогают отражать наиболее полный обзор состояния качества окружающей среды. Кроме того, эти показатели используются для оценки наличия и интенсивности антропогенного осаждения загрязняющих веществ на поверхности почвы, а в последующем – поверхностных водах. Наиболее известные и часто применяемые методики использовались для определения за-

грязнения тяжелых металлов, чаще всего, в донных отложениях: индекс геоаккумуляции (I_{geo}), разработанный Мюллером (1969), коэффициент обогащения (EF), индекс нагрузки загрязнения (PLI), коэффициент загрязнения (CF), индекс металла (MI), индекс потенциального экологического риска (PERI), который впервые был использован Хакансоном (1980), химический индекс и классификация качества воды, индекс качества воды (WQI) и др. Индекс качества воды (WQI) является широко известным и предлагает самую простую стабильную, воспроизводимую единицу измерения (Sing et al., 2013a).

Основная методика исследований в данной работе – методика определения комплексного индекса загрязненности вод (КИЗВ) (Бурлибаев и др., 2007). Национальная мониторинговая служба РГП «Казгидромет» МЭГПР РК также оценивает качество поверхностных вод Республики по данной методике начиная с 2013 г. Главное отличие методики КИЗВ от методики ИЗВ (Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1988) состоит в том, что в расчет берутся только те загрязняющие вещества, которые превышают свои показатели ПДК. Еще одной особенностью методики КИЗВ является то, что все загрязняющие элементы поделены на следующие группы:

- главные ионы (Ca, Mg, Na+K, SO_4 , Cl);
- биогенные элементы (NH_4 , NO_2 , NO_3 , $P_{общ}$, фосфаты, Si и др.);
- тяжелые металлы (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Mn, Hg, Ni, Co, Sn, Bi, Mo, Fe и др.);
- ядовитые вещества (CN, SCN, F, H_2S , AS, нитробензол и др.);
- органические вещества (нефтепродукты, смолы, углеводы, жиры, фенолы, СПАВ и др.);
- хлорорганические пестициды (ДДТ, ДДД, ДДЭ, ГХЦГ, дикофол и др.).

Определение КИЗВ для каждой из групп производится по следующей формуле:

$$КИЗВ_j = (\sum_{i=1}^n C_i / ПДК_i) / n, \quad (1)$$

где $КИЗВ_j$ – индекс загрязненности вод j-ой группы;

C_i – i-ая концентрация элемента j-ой группы, мг/дм³;

$ПДК_i$ – i-ая предельно допустимая концентрация для элемента C_i , мг/дм³;

n – количество ингредиентов j-ой группы, участвующих в определении КИЗВ.

Для вычисления индекса загрязненности вод (ИЗВ) для каждого элемента будет использована

кратность превышения конкретной концентрации над ПДК для этого же элемента, т.е.:

$$ИЗВ_i = C_i / ПДК_i, \quad (2)$$

где $ИЗВ_i$ – индивидуальный ИЗВ для конкретного элемента;

C_i – i -ая концентрация элемента, мг/дм³;
 $ПДК_i$ – i -ая предельно допустимая концентрация для элемента C_i , мг/дм³.

Для группы тяжелых металлов формула (1) приобретает следующий вид:

$$КИЗВ_{т.м.} = (ИЗВ_{Cu} + ИЗВ_{Ni} + ИЗВ_{Pb} + ИЗВ_{Zn} + ИЗВ_{Mn} + ИЗВ_{Hg} + ИЗВ_{Cd} + +ИЗВ_{Mo} + ИЗВ_{Bi} + ИЗВ_{Sn} + ИЗВ_{Cr^3} + ИЗВ_{Cr^6} + ИЗВ_{Fe^2} + ИЗВ_{Fe^3})/n, \quad (3)$$

где $КИЗВ_{т.м.}$ – средневзвешенный комплексный индекс загрязненности вод по группе тяжелых металлов;

$ИЗВ_{Cu}$ – индекс загрязненности вод по меди;

$ИЗВ_{Ni}$ – индекс загрязненности вод по никелю;

$ИЗВ_{Pb}$ – индекс загрязненности вод по свинцу;

$ИЗВ_{Zn}$ – индекс загрязненности вод по цинку;

$ИЗВ_{Mn}$ – индекс загрязненности вод по марганцу;

$ИЗВ_{Hg}$ – индекс загрязненности вод по ртути;

$ИЗВ_{Cd}$ – индекс загрязненности вод по кадмию;

$ИЗВ_{Mo}$ – индекс загрязненности вод по молибдену;

$ИЗВ_{Bi}$ – индекс загрязненности вод по висмуту;

$ИЗВ_{Sn}$ – индекс загрязненности вод по олову;

$ИЗВ_{Cr^3}$ – индекс загрязненности вод по трехвалентному хрому;

$ИЗВ_{Cr^6}$ – индекс загрязненности вод по шестивалентному хрому;

$ИЗВ_{Fe^2}$ – индекс загрязненности вод по двухвалентному железу;

$ИЗВ_{Fe^3}$ – индекс загрязненности вод по трехвалентному железу;

n – количество элементов, участвующих в определении $КИЗВ$ группы тяжелых металлов.

При классификации водных объектов по степени загрязненности по групповым индексам загрязненности вод в обязательном порядке приводятся данные о насыщении водного объекта растворенным кислородом и расходе биохимического потребления кислорода на окисление органических веществ.

Классификация водных объектов по степени загрязнения по результатам вычисления $КИЗВ$, по концентрации растворенного кислорода и по показателю $БПК_5$ производится в соответствии с таблицей 1 (Бурлибаев и др., 2007).

Таблица 1 – Классификация водных объектов по степени загрязнения по результатам вычисления $КИЗВ$, по концентрации растворенного кислорода и по показателю $БПК_5$

Степень загрязнения	Оценочные показатели загрязнения водных объектов		
	$КИЗВ$	растворенный O_2 , мг/дм ³	$БПК_5$, мг O_2 /дм ³
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

Национальная мониторинговая служба в своих отчетах публикует значения $КИЗВ$, т.е. индекс, рассчитанный по всем группам загрязнителей. В данной работе авторами представлен

расчет $КИЗВ_{т.м.}$ – комплексного индекса загрязненности вод группы тяжелых металлов, т.к. данная группа загрязнителей является приоритетной для бассейна реки Ертыс.

Результаты

Для анализа динамики изменений концентраций загрязняющих веществ группы тяжелых металлов р. Ертис были использованы ежегодные мониторинговые данные РГП «Казгидромет» МЭГПР РК за 2000-2016 гг. (Ежегодные данные о качестве поверхностных вод РК, 2000-2016 гг.). Для анализа многолетних колебаний концентраций веществ группы тяжелых металлов был изучен гидрохимический состав следующих створов:

- р. Кара Ертис – с. Боран, в черте села;
- р. Ертис – г. Усть-Каменогорск, 22,2 км ниже города;

- р. Ертис – с. Предгорное, 1 км ниже впадения р. Красноярка;
- р. Ертис – г. Семей, 0,8 км ниже сб. Горводоканала;
- р. Ертис – г. Аксу, 0,8 км ниже сброса ГРЭС;
- р. Ертис – г. Павлодар, 0,5 км ниже сб. Упр. Горводоканал;
- р. Ертис – с. Прииртышское, в створе водпоста.

Полученные в ходе исследования значения комплексного индекса загрязненности вод (КИЗВ) группы тяжелых металлов для вышеперечисленных створов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения комплексного индекса загрязненности вод (КИЗВ) группы тяжелых металлов для р. Ертис

Год	Створ						
	с. Боран, в черте села	г. Усть-Каменогорск, 22,2 км ниже города	с. Предгорное, 1 км ниже впадения р. Красноярка	г. Семей, 0,8 км ниже сб. Горводоканала	г. Аксу, 0,8 км ниже сброса ГРЭС	г. Павлодар, 0,5 км ниже сб. Упр. Горводоканал	с. Прииртышское, в створе водпоста
1	2	3	4	5	6	7	8
2000	н/д	2,45	3,52	1,02	2,40	2,00	н/д
2001	2,28	2,97	4,47	2,63	2,05	3,20	н/д
2002	1,67	2,19	3,90	1,83	1,94	1,95	н/д
2003	1,50	1,89	2,57	2,01	1,80	3,29	н/д
2004	2,39	1,51	2,95	1,88	2,03	1,98	1,91
2005	3,25	1,77	3,45	1,66	3,23	2,48	2,62
2006	1,77	1,40	2,30	1,80	2,11	1,81	1,89
2007	1,77	3,05	2,25	1,69	1,92	2,37	2,06
2008	н/ч	1,73	3,54	1,25	1,44	1,59	1,21
2009	1,26	2,20	2,20	1,51	1,91	1,70	1,59
2010	1,08	2,30	2,37	2,08	1,47	2,03	1,70
2011	1,26	2,85	2,69	1,35	1,52	1,38	1,37
2012	н/д	1,47	2,41	1,88	1,61	1,70	1,47
2013	н/д	2,66	3,85	2,02	2,40	1,84	1,82
2014	1,94	1,48	2,42	1,61	2,38	1,73	1,74
2015	1,61	1,63	2,73	1,63	1,59	1,74	1,68
2016	1,99	2,34	3,38	1,65	1,63	1,65	1,58

Примечание: «н/ч» – нормативно чистая; «н/д» – нет данных.

р. Кара Ертис – с. Боран, в черте села. Данные о гидрохимическом режиме в створе имеются за период 2001-2011, 2014-2016 гг. Диапазон колебаний КИЗВ_{т.м.} (комплексного индекса загрязненности вод группы тяжелых металлов) для данного створа составил 1,08 (2010 г.) – 3,25 (2005 г.). Основными загрязняющими веществами данного створа являются медь, железо общее, цинк, марганец, ртуть.

Диапазон изменений концентраций меди в данном створе за период исследований составил 1,08 ПДК_{рх} (2010 г.) – 3,77 ПДК_{рх} (2004 г.), следует отметить, что превышения норматива ПДК_{рх} для данного элемента фиксировалось ежегодно, за исключением 2008-2009 г. Концентрация железа общего в данном створе находилась в пределах 1,02 ПДК_{рх} (2004 г.) – 1,55 ПДК_{рх} (2001 г.), превышения ПДК_{рх} фиксировались не ежегодно, а только в 2001, 2004, 2006, 2009 гг. Пределы колебаний концентраций цинка в данном створе составили 1,61 ПДК_{рх} (2007 г.) – 2,23 ПДК_{рх}

(2006 г.). Концентрации марганца в данном створе за период исследований находились в пределах 1,17 ПДК_{рх} (2006 г.) – 2,22 ПДК_{рх} (2014 г.). Превышение норматива ПДК_{рх} для ртути было зафиксировано единожды в 2003 г. и составило 1,50 ПДК_{рх}.

Интересно отметить тот факт, что по данным РГП «Казгидромет» МЭГПР РК, в 2008 г. речные воды в данном створе классифицируются классом «нормативно чистые», т.е. ни один из химических элементов группы тяжелых металлов не превышал значения ПДК_{рх} в среднегодовом разрезе.

В целом за период 2001-2016 гг. качество вод по группе тяжелых металлов в данном створе соответствовало умеренному уровню загрязнения, лишь в 2005 г. показатель КИЗВ_{т.м.} был в пределах высокого уровня загрязнения, концентрация меди в данном году составила 3,25 ПДК_{рх}. Графически результаты расчетов для данного створа представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Динамика изменений КИЗВ_{т.м.} в створе р. Кара Ертис – с. Боран за период 2000-2016 гг.

р. Ертис – г. Усть-Каменогорск, 22,2 км ниже города. Диапазон колебаний показателя КИЗВ_{т.м.} для створа г. Усть-Каменогорска составил 1,40 (2006 г.) – 3,05 (2007 г.). Основными загрязняющими веществами для выбранного створа являются: медь, цинк, железо общее, железо (2+), ртуть, марганец.

Диапазон колебаний концентраций меди в данном створе составил 1,20 ПДК_{рх} (2008 г.) – 4,13 ПДК_{рх} (2001 г.), превышения норматива ПДК_{рх} данного элемента фиксировались ежегодно. Концентрации ионов цинка за период исследований были в пределах 1,06 ПДК_{рх} (2012 г.) – 2,83 ПДК_{рх} (2013 г.), превышения

норматива ПДК_{рх} по данному элементу фиксировались ежегодно, за исключением 2006-2011 гг., когда превышений норматива ПДК_{рх} в среднегодовом разрезе не наблюдалось. Пределы колебаний железа общего в данном створе составили 1,08 ПДК_{рх} (2012 г.) – 5,22 ПДК_{рх} (2007 г.), с 2002 г. превышения норматива ПДК_{рх} данного химического элемента фиксировались ежегодно. Превышения норматива ПДК_{рх} для двухвалентного железа в створе г. Усть-Каменогорск за период 2000-2016 гг. были зафиксированы дважды на уровне 2,00 ПДК_{рх} (в среднегодовом разрезе) – в 2005 и 2007 гг. Диапазон колебаний среднегодовых концентраций марганца в данном створе составил 1,04 ПДК_{рх}

(2004 г.) – 1,94 ПДК_{рх} (2016 г.). Интересен факт, что превышение норматива ПДК_{рх} для ртути в среднегодовом разрезе был зафиксирован в 2003 г., как и в створе с. Боран, и составил 1,40 ПДК_{рх}.

За период исследований качество вод реки Ертис в створе г. Усть-Каменогорск оценивалось умеренным уровнем загрязнения, за исключением 2007 г., когда величина КИЗВ_{т.м.} составила 3,05, что соответствовало высокому уровню загрязнения по группе тяжелых металлов, элементы, превышающие свои ПДК_{рх}: железо общее (5,22 ПДК_{рх}), железо (2+) (2,00 ПДК_{рх}), медь (1,94 ПДК_{рх}). Графически результаты расчетов представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Динамика изменений КИЗВ_{т.м.} в створе р. Ертис – г. Усть-Каменогорск, 22,2 км ниже города за период 2000-2016 гг.

р. Ертис – с. Предгорное, 1 км ниже впадения р. Красноярка. Диапазон изменений показателя КИЗВ_{т.м.} для данного створа за период 2000-2016 гг. составил 2,20 (2009 г.) – 4,47 (2001 г.). В качестве основных загрязняющих веществ для выбранного створа фиксировались: медь, цинк, марганец, железо общее.

Диапазон колебаний концентраций ионов меди был в пределах 1,44 ПДК_{рх} (2008 г.) – 5,67 ПДК_{рх} (2001 г.), превышения норматива ПДК_{рх} по данному элементу фиксировались ежегодно. Пределы колебаний концентраций цинка составили 2,41 ПДК_{рх} (2010 г.) – 10,93 ПДК_{рх} (2005 г.), превышения норматива ПДК_{рх} по данному параметру фиксировались ежегодно, за

исключением 2011 г. Среднегодовые концентрации марганца в поверхностных водах данного створа находились в пределах 1,05 ПДК_{рх} (2004 г.) – 2,50 ПДК_{рх} (2013 г.). Диапазон колебаний общего железа в данном створе был в пределах 1,02 ПДК_{рх} (2006 г.) – 2,55 ПДК_{рх} (2010 г.).

Качество вод створа с. Предгорное в большинстве случаев соответствовало умеренному уровню загрязнения (2003-2004, 2006-2007, 2009-2012, 2014-2015 гг.), однако нередко были случаи, когда качество вод данного створа оценивалось высоким уровнем загрязнения (2000-2003, 2005, 2008, 2013, 2016 гг.). Динамика изменений показателя КИЗВ_{т.м.} для створа с. Предгорное представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Динамика изменений КИЗВ_{т.м.} в створе р. Ертис – с. Предгорное, 1 км ниже впадения р. Красноярка за период 2000-2016 гг.

р. Ертис – г. Семей, 0,8 км ниже сб. Горводоканала. Показатель КИЗВ_{т.м.} в данном створе за период 2000-2016 гг. изменялся в пределах 1,02 (2000 г.) – 2,63 (2001 г.). Основными загрязняющими элементами группы тяжелых металлов являлись: медь, цинк, марганец, железо общее, железо (2+), ртуть.

Диапазон изменений концентраций меди в данном створе составил 1,36 ПДК_{рх} (2008 г.) – 2,82 ПДК_{рх} (2013 г.), превышение норматива ПДК_{рх} по данному элементу фиксировалось ежегодно. Небольшое превышение норматива ПДК_{рх} по цинку в среднегодовом разрезе было зафиксировано только в 2000 г. и составило 1,02 ПДК_{рх}. Превышение норматива ПДК_{рх} по марганцу в данном створе было зафиксировано в четырех годах: в 2005 г. (1,31 ПДК_{рх}), 2006 г. (1,13 ПДК_{рх}), 2014 г. (1,01 ПДК_{рх}), 2016 г. (1,09 ПДК_{рх}). Диапазон концентраций железа общего составил 1,13 ПДК_{рх} (2008 г.) – 2,13 ПДК_{рх} (2010 г.), превышения норматива ПДК_{рх} по данному элементу в створе г. Семей фиксируются ежегодно, начиная с 2006 г. Превышение уровня ПДК_{рх} по двухвалентному железу зафиксировано в 2006 г. на уровне 1,33 ПДК_{рх}. В 2006 г. также отмечается однократное превышение в среднегодовом разрезе уровня ПДК_{рх} ртути (3,00 ПДК_{рх}).

За период исследований (2000-2016 гг.) качество вод в створе г. Семей, 0,8 км ниже сб. Горводоканала соответствовало умеренному уровню загрязнения (рисунок 4).

р. Ертис – г. Аксу, 0,8 км ниже сброса ГРЭС. Показатель КИЗВ_{т.м.} для данного створа за период 2000-2016 гг. находился в пределах 1,44 (2008 г.) – 3,23 (2005 г.). Основными загрязняющими элементами для данного створа являлись: медь, цинк, ртуть, железо общее.

Диапазон изменений среднегодовых концентраций для ионов меди в данном створе составил 1,44 ПДК_{рх} (2008 г.) – 3,23 ПДК_{рх} (2005 г.), превышения нормативов были зарегистрированы ежегодно. Превышения норматива ПДК_{рх} для цинка были зафиксированы в двух годах – в 2001 г. (1,45 ПДК_{рх}) и в 2002 г. (1,15 ПДК_{рх}). Превышения норматива предельно-допустимой концентрации для ртути было зафиксировано дважды – в 2003 г. (1,20 ПДК_{рх}) и в 2007 г. (1,50 ПДК_{рх}). Среднегодовые концентрации железа общего превышали значение своего ПДК_{рх} в трех случаях – в 2009 г. (1,58 ПДК_{рх}), в 2010 г. (1,12 ПДК_{рх}) и в 2015 г. (1,15 ПДК_{рх}).

Согласно результатам исследований, за период 2000-2016 гг. качество вод в створе г. Аксу соответствовало умеренному уровню загрязнения, исключением является 2005 г., когда комплексный индекс загрязненности вод группы тяжелых металлов соответствовал высокому уровню загрязнения (рисунок 5). В 2005 г. было отмечено максимальное для данного створа значение превышения ПДК_{рх} по меди – 3,23 ПДК_{рх}.

р. Ертис – г. Павлодар, 0,5 км ниже сб. Упр. Горводоканал. Диапазон колебаний комплекс-

ного индекса загрязненности вод группы тяжелых металлов для данного створа находился в пределах 1,38 (2011 г.) – 3,29 (2003 г.). Как ос-

новные загрязняющие элементы были отмечены следующие химические элементы: медь, железо общее, железо (2+), ртуть, цинк, марганец.



Рисунок 4 – Динамика изменений КИЗВ_{тм} в створе р. Ертис – г. Семей, 0,8 км ниже сб. Горводоканала за период 2000-2016 гг.

Пределы изменений среднегодовых концентраций ионов меди в водах данного створа составили 1,59 ПДК_{рх} (2008, 2011 гг.) – 3,20 ПДК_{рх} (2001 г.), превышения норматива ПДК_{рх} по данному элементу фиксировались ежегодно. Среднегодовые концентрации железа общего изменялись в пределах 1,15 ПДК_{рх} (2013 г.) – 1,70 ПДК_{рх} (2009 г.), превышение норматива ПДК_{рх} по двухвалентному железу было зафиксировано только в 2002 г. с концентрацией 1,60 ПДК_{рх}. Концентрации, превышающие нормативы ПДК_{рх} цинка и марганца в данном створе, были зафиксированы в 2014 г. в концентрациях 1,49 ПДК_{рх} и 1,11 ПДК_{рх} соответственно.

Большие значения содержания ртути в речных водах были отмечены в 2003 г. (4,18

ПДК_{рх}), 2004 г. (1,83 ПДК_{рх}) и 2006 г. (1,62 ПДК_{рх}).

За период исследований (2000-2016 гг.) качество речных вод в данном створе соответствовало умеренному уровню загрязнения, лишь в 2001 и 2003 гг. было классифицировано высоким уровнем загрязнения (рисунок 6). В 2001 г. была зафиксирована высокая концентрация ионов меди – 3,20 ПДК_{рх}, а в 2003 г. – меди (2,39 ПДК_{рх}) и ртути (4,18 ПДК_{рх}).

р. Ертис – с. Прииртышское, в створе водпоста. Данные о гидрохимическом режиме в створе имеются с 2004 г. Диапазон изменений показателя КИЗВ_{тм} данного створа находился в пределах 1,21 (2008 г.) – 2,62 (2005 г.). В качестве загрязняющих веществ регистрировались такие элементы, как медь и железо общее.



Рисунок 5 – Динамика изменений KIZV_{тм} в створе р. Ертис – г. Аксу, 0,8 км ниже сброса ГРЭС за период 2000-2016 гг.



Рисунок 6 – Динамика изменений KIZV_{тм} в створе р. Ертис – г. Павлодар, 0,5 км ниже сб. Упр. Горводоканал за период 2000-2016 гг.

Пределы колебаний среднегодовых концентраций ионов меди в данном створе были 1,21 ПДК_{рх} (2008 г.) – 2,62 ПДК_{рх} (2005 г.), превышения норматива предельно-допустимой концентрации водоемов рыбохозяйственного назначения по данному элементу регистрировались ежегодно. Превышения норматива ПДК_{рх}

железа общего были выявлены в четырех случаях – в 2009 г. (1,55 ПДК_{рх}), 2013 г. (1,16 ПДК_{рх}), 2014 г. (1,08 ПДК_{рх}), 2015 г. (1,27 ПДК_{рх}).

Согласно выполненным расчетам, качество вод в створе с. Прииртышское за период 2000-2016 гг. находилось в пределах умеренного уровня загрязнения (рисунок 7).



Рисунок 7 – Динамика изменений КИЗВ_{тм} в створе р. Ертис – с. Прииртышское, в створе водпоста за период 2000-2016 гг.

Обсуждения

В настоящее время работы, посвященные исследованию качества вод реки Ертис, носят прерывистый характер. Информационные бюллетени о состоянии окружающей среды РГП «Казгидромет» МЭГПР РК составляются за определенные периоды – ежемесячные, ежеквартальные, полугодовые, годовые. Однако исследования в направлении изучения хронологии поведения гидрохимических компонентов речных вод не проводятся или проводятся очень редко и по ограниченному списку компонентов. В монографии (Бурлибаев и другие, 2014), посвященной исследованию трансграничных рек Казахстана, дается оценка качества вод бассейна реки Ертис в пределах территории Казахстана за период 1986-2011 гг. По критериям загрязненности, применяемых к рыбохозяйственным водоемам бассейн трансграничной реки Ертис по оценке Бурлибаева М.Ж. в период 1986-1990 гг. находился в диапазоне «высокого уровня загрязнения», за период 1990-2000 гг. отмечается снижение уровня загрязнения воды по сравнению с периодом с 1986-1990 гг., а в 1990-2011 гг. воды реки Ертис находились в пределах «умеренного уровня загрязнения». В трудах (Бурлибаева, 2011, ГиЭ № 4) представлена информация о ретроспективных исследованиях в направлении

исследования качественного состояния реки Ертис. Бурлибаева Д.М. приводит наблюдения по загрязнению ионами тяжелых металлов в створах р. Черный Иртыш – с. Буран; р. Иртыш – г. Семипалатинск (4 км выше города); р. Иртыш – с. Семиярка в разрезе с 1968 по 2009 гг. Данные о содержании концентрации меди и цинка представлены за период половодья и за период зимней межени. Согласно результатам исследования (Бурлибаева, 2011), в половодье концентрация ионов меди в речных водах уменьшается в 1,6 и в 2 раза по двум створам, а в створе с. Семиярка наблюдается противоположная тенденция – рост концентрации в 1,2 раза. Изменение концентраций ионов цинка повторяет тенденцию меди – по двум створам наблюдается уменьшение в 2,4 и в 3,8 раза и наоборот рост содержания ионов цинка в 2,1 раза в створе с. Семиярка. В зимний период содержание ионов меди и цинка аналогичны периоду половодья, т.е. по створам р. Черный Иртыш – с. Буран и р. Иртыш – г. Семипалатинск наблюдается уменьшение, а по створу р. Иртыш – с. Семиярка – увеличение концентрации. Анализ многолетней хронологии и сезонной динамики загрязнения ионами тяжелых металлов реки Ертис в годы различной обеспеченности представлен в другой публикации Бурлибаевой Д.М. (Бурлибаева, 2011). Ею установлено абсолютное отсутствие связи с водностью реки, т.е.

независимостью гидрохимического режима от гидрологического в створе р. Ертис – г. Усть-Каменогорск (Понтонный мост). Самые низкие показатели концентрации меди во внутригодовом распределении наблюдаются в средний по водности год ($P = 50\%$), а не в многоводный ($P = 25\%$) (Бурлибаева, 2011).

В настоящей работе представлены результаты оценки содержания ионов тяжелых металлов в речных поверхностных водах реки Ертис. Проведенные исследования показали, что в период исследования с 2000 по 2016 гг. все вышеперечисленные створы по степени загрязнения чаще всего находились в пределах «умеренного уровня загрязнения», лишь изредка в некоторых створах качество вод оценивалось на уровне высокого загрязнения. Превышения нормативов ПДК_{рх} группы тяжелых металлов по створам исследуемого водного объекта фиксировались для элементов: медь, железо общее, железо (2+), цинк, марганец, ртуть.

Основным источником поступления железа в русловую сеть являются процессы химического выветривания горных пород, подземный сток, сточные воды промышленных предприятий и сельское хозяйство. Главной миграционной формой железа в природных водах является взвешенная, в речных водах она составляет до 90% (Отюкова, 2016). Антропогенные источники меди и цинка – предприятия цветной металлургии, шахтные воды, транспорт. Увеличение концентраций этих веществ приводит к замедлению процессов самоочищения воды от органических соединений, к угнетению биологической жизни водоема. Медь и цинк полностью не удаляются из вод, а изменяют формы и скорости их миграции. Снижение концентрации этих веществ происходит только за счет разбавления.

Выщелачивание железомарганцевых руд и других марганецсодержащих минералов – природная причина повышения концентрации марганца в речной воде. Другим источником является разложение растительных и животных организмов, способных концентрировать марганец в процессе жизнедеятельности (Воробьев и др., 2019). Антропогенным источником соединений марганца являются также сточные воды металлургических заводов, шахты и объекты химической промышленности близки водоемов.

За период 2000-2016 гг. диапазоны колебаний концентраций ионов меди в поверхностном стоке р. Ертис составили: в створе с. Боран – 1,08-3,77 ПДК_{рх}, в створе г. Усть-Каменогорск – 1,20-4,13 ПДК_{рх}, в створе с. Предгорное – 1,44

- 5,67 ПДК_{рх}, в створе г. Семей – 1,36-2,82 ПДК_{рх}, в створе г. Аксу – 1,44-3,23 ПДК_{рх}, в створе г. Павлодар – 1,59-3,20 ПДК_{рх}, в створе с. Прииртышское – 1,21-2,62 ПДК_{рх}.

Диапазоны колебаний концентраций железа общего в поверхностных водах р. Ертис: в створе с. Боран – 1,02-1,55 ПДК_{рх}, в створе г. Усть-Каменогорск – 1,08-5,22 ПДК_{рх}, в створе с. Предгорное – 1,02-3,25 ПДК_{рх}, в створе г. Семей – 1,07-2,13 ПДК_{рх}, в створе г. Аксу – 1,12-1,58 ПДК_{рх}, в створе г. Павлодар – 1,15-1,70 ПДК_{рх}, в створе с. Прииртышское – 1,08-1,55 ПДК_{рх}.

Концентрации ионов цинка в исследуемом объекте находились в следующих пределах: в створе с. Боран – 2,23-1,61 ПДК_{рх}, в створе г. Усть-Каменогорск – 1,06-2,83 ПДК_{рх}, в створе с. Предгорное – 2,41-10,93 ПДК_{рх}, в створе г. Аксу – 1,15-1,45 ПДК_{рх}.

Диапазоны колебаний концентраций ионов марганца в поверхностных водах р. Ертис были следующими: в створе с. Боран – 2,22-1,17 ПДК_{рх}, в створе г. Усть-Каменогорск – 1,04-1,94 ПДК_{рх}, в створе с. Предгорное – 1,05-2,50 ПДК_{рх}, в створе г. Семей – 1,01-1,31 ПДК_{рх}.

Выводы

В результате проведенных исследований следует вывод о том, что в поверхностных водах реки Ертис на территории Республики Казахстан обнаруживаются ионы тяжелых металлов, которые превышают свои нормативы ПДК_{рх}. К ним относятся: медь, железо общее, железо (2+), цинк, марганец, ртуть. Поступление перечисленных элементов связано с промышленной и хозяйственной деятельностью человека. Однако, кроме антропогенной деятельности, не исключена и природная составляющая при формировании элементного состава воды реки. Сверхнормативное содержание ионов тяжелых металлов, в частности меди и цинка, может быть обусловлено геохимической особенностью района.

Изучив динамику изменений концентраций ионов тяжелых металлов в поверхностных водах р. Ертис, можно сделать вывод о том, что практически во всех створах наблюдаются превышения ПДК_{рх}, чаще всего показатель КИЗВ_{тм} находится в диапазоне умеренного уровня загрязнения, однако в отдельных случаях фиксируется высокий уровень загрязнения. Чаще всего превышения зафиксированы для меди и железа общего, превышения нормативов ПДК_{рх} могут достигать значения в 5 и более раз. В створе р. Ертис –

с. Предгорное зафиксированы превышения ПДК_{рх} по цинку, причем максимальное значение составило 10,93 ПДК_{рх}. Следует отметить, что данный створ расположен после промышленного города Усть-Каменогорск, также створ находится в непосредственной близости устья реки Красноярка. Река Красноярка протекает в зоне Риддерского горно-обогатительного комплекса, в состав которого входит Березовский участок полиметаллических руд с высоким содержанием меди и цинка. Шахтные воды Березовского рудника напрямую поступают в реку Красноярка.

Подводя итоги, можно отметить, что приоритетной группой загрязнителей для реки Ертис является группа тяжелых металлов. Высокое содержание тяжелых металлов в поверхностном стоке р. Ертис является важной проблемой сохранения устойчивости экосистемы,

требующей скорейшего принятия действенных решений. Для улучшения качества вод реки Ертис необходимы комплексные решения, такие, как строительство современных локальных очистных станций на промышленных объектах, разработка и достижение целевых показателей качества экологического состояния Восточно-Казахстанской и Павлодарской областей Республики. Также немаловажным фактором поддержания оптимального экологического состояния реки Ертис является трансграничное сотрудничество с сопредельными государствами, в частности, с Китайской Народной Республикой и Российской Федерацией по вопросам экологического стока, т.к. данный параметр включает как количественные, так и качественные характеристики стока поверхностных водных объектов.

Литература

Воробьев Е.В., Усова Е.В., Орехова Ю.В. Анализ динамики и источников поступления ионов марганца, меди, никеля и алюминия в трансграничную реку Миус в период с 2003 по 2017 годы // Юг России: экология, развитие. – 2019. Т. 14, №1. – С. 81-93. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-81-93

Экологические риски в трансграничном бассейне реки Иртыш / Винокуров Ю.И. [и др.]; науч. ред. Ю.И. Винокуров; Рос.акад. наук, Сиб. отделение, Институт водных и экологических проблем. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 161 с.

Бурлибаев М.Ж., Амиргалиев Н.А., Шенбергер И.В., Скольский В.А., Бурлибаева Д.М., Уваров В.Н., Смирнова Д.А., Ефименко А.В., Милуков Д.Ю. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана. – Алматы: Каганат, 2014. Т1. – 744 с.

Гагарина О.В. Обзор методов комплексной оценки качества поверхностных вод // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – 2005. – №11. – С.45-58.

Никаноров А.М. Комплексные оценки качества поверхностных вод. Гидрометиздат. – Ленинград, 1984. – 143 с.

Емельянова В.П., Лобченко Е.Е. Руководящий документ РД 52.24.643—2002 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – Ростов-на-Дону. 2002. – 49 с.

Бурлибаев М.Ж. Комплексная оценка качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Бурлибаев М.Ж., Байманов Ж.Н., Тажмагамбетов Е.А. – Алматы: Издательство «Гылым», 2007. – 96 с.

Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. – М., 1988. – 11 с.

Ежегодные данные о качестве поверхностных вод РК, 2000-2016 гг

Бурлибаева Д.М. Изменение характеристик гидрохимического режима реки Иртыш во времени // Гидрометеорология и экология. – 2011. № 4. – С. 104-113

Бурлибаева Д.М. Многолетняя хронология загрязнения ионами тяжелых металлов реки Ертис // Некоторые аспекты гидроэкологических проблем Казахстана. – Алматы: Каганат, 2011. – С. 20-37.

Отюкова Н. Г. Динамика содержания железа в речных аквальных комплексах (на примере р. Ильд бассейна Рыбинского водохранилища) // Труды ИБВВ РАН, вып. 75(78), Россия, 2016. – С. 75-81

Withanachchi S.C., Ghambashidze G., Kunchulia I., Urushadze T., Ploeger A. Water Quality in Surface Water: A Preliminary Assessment of Heavy Metal Contamination of the Mashavera River, Georgia. International Journal of Environmental Research and Public Health 2018, 15(4), 621 <https://doi.org/10.3390/ijerph15040621>

Ustaoglu F., Tepe Y., Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. International Soil and Water Conservation Research. Volume 7, Issue 1, March 2019, Pages 47-56 <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.09.001>

Singh, A.K., Raj, B., Tiwari, A.K. and Mahato, M.K. Evaluation of Hydrogeochemical Processes and Groundwater Quality in the Jhansi District of Bundelkhand Region, India. Environmental Earth Sciences, 70, 2013. - pp 1225-1247. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-012-2209-7>

Frumin G.T., Fetisova Yu.A. Water Quality in Watercourses of the Transboundary Narva River Basin. ISSN 1070-3632, Russian Journal of General Chemistry, Vol. 26, 2017. - No. 3, pp. 132-140.

Tiwari A. K., Abhay Kumar Singh, Amit Kumar Singh. Hydrogeochemical analysis and evaluation of surface water quality of Pratapgarh district, Uttar Pradesh, India. *Appl Water Sci.* 2017. - 7: pp 1609–1623 DOI 10.1007/s13201-015-0313-z

References

Vorob'ev E.V., Usova E.V., Orekhova YU.V. Analiz dinamiki i istochnikov postupleniya ionov marganca, medi, nikelya i alyuminiya v transgranichnyuyu reku Mius v period s 2003 po 2017 gody // YUg Rossii: ekologiya, razvitie. 2019. T.14, N1. C.81-93. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-81-93

Vinokurov YU.I. *Ekologicheskie riski v transgranichnom bassejne reki Irtysh* / - Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2014. - 161 s.

Burlibaev M.ZH., Amirgaliev N.A., SHenberger I.V., Skol'skij V.A., Burlibaeva D.M., Uvarov V.N., Smirnova D.A., Efimenko A.V., Milyukov D.YU. *Problemy zagryazneniya osnovnykh transgranichnykh rek Kazahstana*. – Almaty: Kaganat, 2014. T1. – 744 s.

Gagarina O.V. *Obzor metodov kompleksnoj ocenki kachestva poverhnostnykh vod*. Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle», 2005. - №11. - S.45-58.

Nikanorov A.M. *Kompleksnye ocenki kachestva poverhnostnykh vod*. Gidrometoizdat. Leningrad, 1984. -143 s

Emel'yanova V.P., Lobchenko E.E. *Rukovodyashchij dokument RD 52.24.643—2002 METODICHESKIE UKAZANIYA Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagryaznennosti poverhnostnykh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam*. Rostov-na-Donu. 2002. - 49s.

Burlibaev M.Zh. *Kompleksnaya ocenka kachestva poverhnostnykh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam* / Burlibaev M.ZH., Bajmanov ZH.N., Tazhmagambetov E.A. Almaty: Izdatel'stvo «Gylym», 2007. - 96 s.

Gosudarstvennyj komitet SSSR po gidrometeorologii. *Metodicheskie rekomendacii po formalizovannoj kompleksnoj ocenke kachestva poverhnostnykh i morskikh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam*. Moskva. 1988. -11 s

Ezhegodnye dannye o kachestve poverhnostnykh vod RK, 2000-2016 gg.

Burlibaeva D.M. *Izmenenie harakteristik gidrohimicheskogo rezhima reki Irtysh vo vremeni*. Gidrometeorologiya i ekologiya. 2011. № 4. S.104-113

Burlibaeva D.M. *Mnogoletnyaya hronologiya zagryazneniya ionami tyazhelykh metallov reki Ertis* // Nekotorye aspekty gidroekologicheskikh problem Kazahstana. – Almaty: Kaganat, 2011. – S. 20-37.

Otyukova N. G. *Dinamika sodержaniya zheleza v rechnykh akval'nykh kompleksah (na primere r. Il'd bassejna Rybinskogo vodohranilishcha)*. Trudy IBVV RAN, vyp. 75(78), Rossiya, 2016. - S.75-81

Withanachchi S.C., Ghambashidze G., Kunchulia I., Urushadze T., Ploeger A. *Water Quality in Surface Water: A Preliminary Assessment of Heavy Metal Contamination of the Mashavera River, Georgia*. International Journal of Environmental Research and Public Health 2018, 15(4), 621 <https://doi.org/10.3390/ijerph15040621>

Ustaoglu F., Tepe Y., *Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators*. International Soil and Water Conservation Research. Volume 7, Issue 1, March 2019, Pages 47-56 <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.09.001>

Singh, A.K., Raj, B., Tiwari, A.K. and Mahato, M.K. *Evaluation of Hydrogeochemical Processes and Groundwater Quality in the Jhansi District of Bundelkhand Region, India*. Environmental Earth Sciences, 70, 2013. - pp 1225-1247. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-012-2209-7>

Frumin G.T., Fetisova Yu.A. *Water Quality in Watercourses of the Transboundary Narva River Basin*. ISSN 1070-3632, Russian Journal of General Chemistry, Vol. 26, 2017. - No. 3, pp. 132–140.

Tiwari A. K., Abhay Kumar Singh, Amit Kumar Singh. Hydrogeochemical analysis and evaluation of surface water quality of Pratapgarh district, Uttar Pradesh, India. *Appl Water Sci.* 2017. - 7: pp 1609–1623 DOI 10.1007/s13201-015-0313-z