

УДК 556.114

**ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КАНАЛА
ЕРТИС – КАРАГАНДА****Сообщение 3. Микроэлементы, в том числе тяжелые металлы
в воде**

Доктор геогр. наук С.М. Романова

Приведен анализ литературных данных и материалы собственных многолетних исследований по изучению режима микроэлементов (фтора, бора, брома, йода) и ряда тяжелых металлов (меди, цинка, марганца, свинца, кадмия и др.) в воде канала им. К. Сатпаева.

В последние годы значительно возрос интерес к изучению микроэлементов в объектах окружающей среды, в частности, в природных водах, в связи с тем, что была выявлена их важная физиологическая и бальнеологическая роль в жизнедеятельности различных организмов. Не меньший интерес к микроэлементам в природных водах возник и в связи с возможностью использования их для поисков полезных ископаемых. Микроэлементы участвуют в различных биохимических, физико-химических, гидрохимических, гидробиологических и других процессах, а также в круговороте веществ. Их содержание учитывается при оценке качества вод.

В данном сообщении представлены результаты исследования неметаллов фтора, бора, брома и йода, а также тяжелых металлов меди, цинка, марганца, свинца, хрома, кадмия, алюминия, стронция и др. в воде канала Ертис – Караганда (КЕК) и р. Ертис. Содержание *фтора* в воде р. Ертис (г. Павлодар) в период исследования (1980...1993 гг.) колебалось в пределах 0...0,47 мг/дм³ [7], 0,20...0,80 мг/дм³, в то время как в 1960 г. [12] и 1969...1971 гг. не превышало 0,10 мг/дм³ [13].

За многолетний период среднегодовая концентрация фтора в воде КЕК меняется в пределах 0,20...0,52 мг/дм³, причем прослеживается цикличность в колебаниях концентраций (рисунок 1). Первые четыре года наблюдения (1979...1982 гг.) шло постепенное снижение среднегодового содержания фтора от 0,42 до 0,24 мг/дм³. Затем последующие три года концентрация практически не менялась (0,20...0,28 мг/дм³), а с 1986 г. по 1989 г. опять происходило снижение содержания от 0,52 до 0,36 мг/дм³.

Подобные изменения концентраций фтора можно объяснить изменениями гидрологических режимов р. Ертис и КЕК.

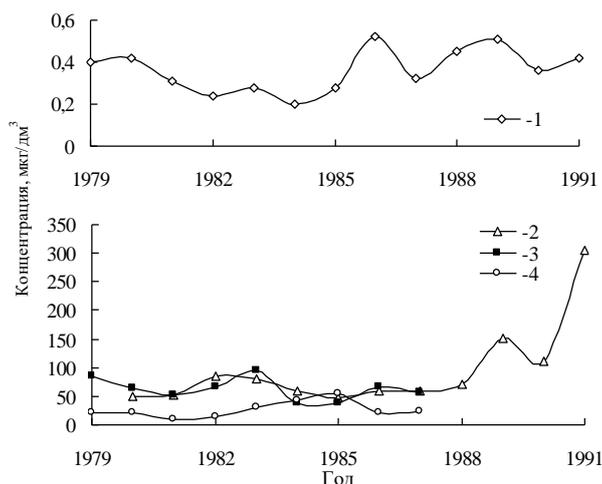


Рис. 1. Изменение концентраций фтора (1), бора (2), брома (3) и йода (4) в воде канала Ертис – Караганда в многолетнем цикле.

Внутригодовые колебания концентрации фтора отличаются на порядок (0,05...0,51 мг/дм³). Самые высокие среднесезонные концентрации фтора (0,65 и 0,75 мг/дм³) отмечены в зимнее время 1986 и 1989 гг. Если проследить сезонную динамику фтора, то выявляется следующая картина. Пределы колебания его концентраций составляют: зимой 0,20...0,75, весной 0,20...0,74, летом 0,15...0,47, осенью 0,20...0,40 мг/дм³, т.е. наибольшая разница $C_{\max} - C_{\min}$, равная 0,54...0,55 мг/дм³, приходится на зимнее время и раннюю весну, когда КЕК подпитывают грунтовые воды, более обогащенные фтором (0,95...2,05 мг/дм³) и другими минеральными солями. Минимальная разница $C_{\max} - C_{\min}$ (0,20...0,32 мг/дм³) приходится на летне-осенний период.

Содержание фтора в воде КЕК не выходит за пределы средних его концентраций в воде большинства рек СНГ и РК (0,2...0,7 мг/дм³) [8, 12], а в многолетнем цикле постоянно превышает ее ПДК в 3...15 раз. Важным источником фторид ионов и других микроэлементов в природных водах служат продукты разрушения горных пород, в состав которых входят фторапатит, турмалин, фосфорит, гранит, слюды, почвенная пыль и алюмосиликаты.

Исследования, проведенные Е.А. Гельфер, показали, что относительно высокие концентрации ионов натрия в воде способствуют, а кальция – подавляют извлечение фтора из пород (например, флюорита) и почв [5]. Поскольку вода КЕК по ионному составу является карбонатно-

кальциевой, можно предположить, что этот фактор в выщелачивании фтора из водовмещающих пород русла канала играет несущественную роль.

По мнению [3, 11] воды с высоким содержанием ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и SO_4^{2-} , напротив, способствуют обогащению их фтором. Авторы приводят результаты экспериментов, доказывающих свойства фтора как универсального адденда, способного образовывать с некоторыми элементами комплексные соединения. Последние способствуют устойчивости фтора в растворе и, следовательно, усиливают его мобильность. Для уточнения данного вопроса необходимо знать влияние кальциевых (магниевых) солей на растворимость фторсодержащих пород в присутствии главных ионов. Построенные нами графики зависимости содержания фтора от величины рН, минерализации, концентрации ионов Ca^{2+} , $\text{Na}^+\text{+K}^+$, HCO_3^- позволяют сделать вывод о тенденции фтора к повышению его количества в сторону большей минерализации. Причем для условий канала в интервале суммы солей 150...200 мг/дм³, значений рН 7,10...8,00, концентрации Ca^{2+} 20...32 мг/дм³ и $\text{Na}^+\text{+K}^+$ 10...22 мг/дм³ наиболее характерные содержания фтора колеблются от 0,2 до 0,4 мг/дм³. Все соответствующие точки ложатся почти компактно в указанных интервалах. В отношении ионов кальция просматривается более компактное расположение точек в отдельные сезоны. Так, в зимний период большей концентрации (по среднеголетним данным) Ca^{2+} (31,2 мг/дм³) соответствует большая концентрация фтора, 0,59 мг/дм³; летом – меньшей концентрации Ca^{2+} соответствует и меньшая концентрация фтора (0,26 мг/дм³). Таким образом, влияние отдельных ионов на миграцию фтора в воде канала проявляется в неодинаковой степени в различные сезоны года.

Расчет отношения $F \cdot 10^4 / \sum u$ для воды КЕК дал цифру 19,4, что согласно [12] свидетельствует об обогащении воды фтором в результате выщелачивания пород, содержащих фтора в среднем $5 \cdot 10^{-2}$ % [4].

Другим источником фтора для водоемов ЭТЭК являются атмосферные осадки, куда он попадает из кислых вулканических дымов, содержащих фтороводород, а также с почвенной пылью и золой ЭГРЭС-1, 2. Снег, отобранный нами на территории, примыкающей к трассе КЕК и ВО ЭГРЭС-1, содержит в своем составе 0,05...0,15 мг/дм³ фтора.

Основным источником *бора* в природных водах считаются вулканические извержения. Однако осадочные породы богаче бором, чем магматические. По мнению А.П. Виноградова основная причина заключается

в формах нахождения бора в породах. В изверженных образованиях он представлен в труднорастворимой форме, а в глинистых породах и почвах содержание водорастворимого бора на 10 % больше. Поэтому подземные, грунтовые и поверхностные воды, связанные с глинистыми отложениями, более обогащены бором. По данным Т.А. Глебович пределы варьирования содержания бора в речных водах СНГ составляют 38...200 [6], а в реках Казахстана в 1960...1962 гг. 13...50, в т.ч. р. Ертис (г. Павлодар) – 43 [12].

Впервые детальное исследование режима, динамики и стока бора, а также фтора, брома и йода в воде рек и водоемов Ертиского бассейна проведено [13] в 1969...1971 гг. Установлено, что водоемы заметно различаются концентрацией бора (от 1,5 до 396 мкг/дм³). Средняя концентрация в воде р. Черный Ертис – 16,8, р. Ертис у с. Ертиское – 31,9 и оз. Зайсан – 64,6 мкг/дм³, т.е. отчетливо происходит накопление бора по течению реки. В 1970...1977 гг. бор в воде КЕК определил [1]: пределы колебания составляли 85...137 при средней концентрации 102,7 мкг/дм³. В 1989 г. вода р. Ертис содержала 50...155 мкг/дм³ бора (среднее значение 107 мкг/дм³), а в воде Экибастузского водохранилища (1989...1991 гг.) 15...410 при среднем значении 214 мкг/дм³.

Содержание бора в воде канала Ертис – Караганда (НС № 4) варьирует в широких пределах в многолетнем цикле, от 35 до 490 мкг/дм³. Во внутригодовом разрезе отмечается увеличение концентрации бора от зимы к лету в 6 случаях, и уменьшение в трех случаях из 11 лет наблюдений. В общем случае (анализируя 44 сезона года) значение $C_{\max} - C_{\min}$ составляет для: зимы 275, весны 155, лета 390 и осени 455 мкг/дм³. Среднемноголетние сезонные концентрации бора составляют для зимы 86,4, весны 72,1, лето 72,7, осени 127,2 мкг/дм³. Все это говорит о накоплении бора в основном в осенний и зимний периоды, поскольку канал в это время подпитывается грунтовыми водами с содержанием бора 170...740 мкг/дм³. Кроме того, возможно выделение бора из отмершего фито- и зоопланктона. Снижение концентрации бора весной и летом обусловлено потреблением его растениями и животными, обитающими в воде, а также поглощением иловой фракции, взвесьями, минеральными веществами.

Нами установлена более тесная корреляционная связь бора с общей минерализацией воды ($r = 0,85$) канала по сравнению с фтором ($r = 0,73$). Аналогичная связь выявлена и для других водоемов и водотоков Казахстана, России и других стран. Для условий канала при общей минерализации 150...200 мг/дм³, значений рН 7,2...7,9, содержании

HCO_3^- 80...110 мг/дм³, Ca^{2+} 18...31 мг/дм³, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 8...22 мг/дм³ наиболее характерные концентрации бора не превышают 150 мкг/дм³.

Во все сезоны многолетнего периода (за исключением марта 1989 г.) содержание бора превышает ПДК (17мкг/дм³) в 1,8...28,8 раз при средне многолетнем превышении ПДК в 2,8...8,9 раз.

Малая распространенность *брома и йода*, трудность их определения долгое время были серьезным препятствием к познанию основных закономерностей их динамики и режима. На основании изучения работ по химии брома и йода в природных водах можно заключить, что для брома в силу его специфических геохимических особенностей характерны свои пути миграции по сравнению с другими галогенид-ионами – хлором и йодом. Но у них есть ряд общих свойств, обуславливающих близость этих путей: высокая растворимость солей, хорошая сорбируемость организмами и минеральными коллоидами, тесная связь с органическим веществом.

По данным Л.С. Селиванова, впервые определившего бром как микроэлемент, среднее его содержание в речных водах составляет 21 мкг/дм³. Позднее Г.С. Коновалов, определив бром в 30 крупных реках СССР, дает цифру 30 мкг/дм³. Исследуя режим и динамику брома в воде рек Ертиского бассейна автор [13] указывает среднегодовое его содержание в р. Ертис, равное 51,4 мкг/дм³.

Среднегодовые концентрации брома в воде КЕК в период 1979...1987 гг. варьировали в пределах 37...95 мкг/дм³ при среднесезонном изменении 15...111 мкг/дм³. Расчет изменения предельных значений концентрации брома показал, что для зимы он составляет 27...140 ($\Delta = 113$), весны 23...114 ($\Delta = 91$), лета 15...111 ($\Delta = 96$), осени 29...93 мкг/дм³ ($\Delta = 64$ мкг/дм³). Среднемноголетние сезонные концентрации брома изменяются в более узких пределах 56,1...68,3 мкг/дм³, причем от зимы к лету наблюдается постепенное снижение концентрации брома. Как и в случае фтора и бора, в зимний период повышенные концентрации брома объясняются тем, что канал подпитывают грунтовые воды, более обогащенные этим элементом (60...336 мкг/дм³).

Во внутригодовом цикле выявить определенные закономерности не удалось. Это объясняется тем, что бром принимает активное участие, особенно в летний период, в различных процессах гидроэкологической системы «вода – ил – растения – организмы». Связь брома с минерализацией слабая или отсутствует. Наличие такой связи выявлено и на других водных объектах [2, 15] и др.

Впервые обобщенные сведения о содержании йода в различных водах были даны Фелленбергом в 1924 г. По его данным содержание йода составляло: в питьевой воде 0,03...1,4, речной 0,37...1,32, дождевой 0,06...3,77, морской 10...40, минеральных источниках 17...6310 мкг/дм³. Итак, в реках, по Фелленбергу, йода содержится около 1 мкг/дм³ [12]. Однако по Г.С. Коновалову средняя концентрация йода в 1956...1959 гг. в них составляет уже 5...10 мкг/дм³ [10]. Это подтверждается и исследованиями КазНУ: в Балкашском бассейне горные реки Тургень, Есик содержат 1...4 мкг/дм³, Иле (до зарегулирования) 4...10 мкг/дм³ [9] и позднее в 1978...1983 гг. 3,7...46 мкг/дм³ при среднемноголетней концентрации 19,6 мкг/дм³; в Сырдарьинском бассейне 1,7...50 мкг/дм³; Ертиском бассейне 0,4...21,5 мкг/дм³, в том числе в р. Ертис – 5,1 мкг/дм³.

Содержание йода в воде КЕК колеблется в широких пределах 4,0...61,0 мкг/дм³, при среднегодовом многолетнем колебании 9,4...53,7 мкг/дм³. При этом пределы колебания концентрации йода в зимнее время составляют 10...61, весной 10...47, летом 7...53, осенью 4...20 мкг/дм³ при среднемноголетнем сезонном содержании, соответственно, 51; 37; 46 и 16 мкг/дм³. Определение йода в грунтовых водах из скважины, расположенной у НС №4, показало, что с увеличением глубины в 3 раза концентрация бора возрастает в 19 раз (от 7 мкг/дм³ при глубине 0,5 м до 133 мкг/дм³ при глубине 1,5 м).

В большинстве рек брома, как правило, в три раза больше, чем йода. Для характеристики этого соотношения рассчитывают коэффициент Br^-/I^- . В нашем случае этот коэффициент колеблется в пределах 2,4...5,6, и лишь в 1984, 1985 гг. 0,9...0,7.

Малые концентрации йода в речных водах вообще, а в воде КЕК в частности, объясняются тем, что йодиды нестойки, легко окисляются кислородом или ионами железа (III) до свободного состояния, переходя в атмосферу. Кроме того, йод с гумусом почв, илов (ОВ) дает очень прочные комплексы, которые и накапливаются в почвах и донных отложениях. Нами выявлена тесная корреляционная связь йода с ОВ (ПО и БО). Выявить четкие закономерности йода во внутрисезонном и годовом циклах не удалось, т.к. йод, также как и бром, является активным реагентом в различных внутриводоемных процессах.

В последнее десятилетие *тяжелые металлы* вышли на одно из первых мест среди загрязняющих веществ в водоемах ЭТЭК. Известно, что металлы участвуют во многих важнейших процессах и являются индикаторами

загрязнения водоемов. Так, медь и цинк относятся к так называемым «приоритетным» металлам и требуют постоянного контроля, поскольку увеличение их содержания может превратить эти жизненно необходимые для организмов элементы в токсиканты. Контроль содержания марганца, свинца и других элементов в водоеме необходим, т.к. они играют большую роль в развитии гидробионтов и их содержание строго регламентировано при водоподготовке и использовании для различных целей.

Медь, цинк и марганец определены в 1989...1991 гг. в воде р. Ертис (у водозабора) в количестве, соответственно, 1,3...7,5; 11,5...24,0 и 15,0...37,0 мкг/дм³, а в Экибастузском резервном водохранилище (ЭРВ): 1,5...6,5; 2,9...39,0 и 8,0...94,0 мкг/дм³. Сравнивая эти данные для р. Ертис с аналогичными за 1970...1977 гг. [1], отмечается заметное уменьшение концентрации меди в 7,6, цинка 1,7, марганца в 1,3 раза (по максимальной концентрации). В данном водохранилище уменьшение этих металлов за 12...14 лет еще больше, соответственно, в 5,2; 1,6 и 3,0 раза.

За период 1981...1993 гг. содержание *цинка* в воде КЕК (НС №4) колебалось в пределах 0...60; *меди* 0...27,0; *марганца* 3,0...91,0 мкг/дм³ при среднегодовых колебаниях, соответственно, 0...33,8; 0,7...17,0; 15,6...63,5 мкг/дм³ (рисунок 2). Повышение концентрации меди практически постоянно наблюдается в весенний и летний периоды (до 27 мкг/дм³), в зимний и осенний периоды она значительно ниже (0...0,8 мкг/дм³). Основной причиной повышенных концентраций меди является прогрев воды летом, более интенсивное поступление ее из донных отложений за счет ветрового перемешивания. Кроме того, в настоящее время факт нахождения в бассейне р. Ертис полиметаллических рудных месторождений известен широкому кругу специалистов. Низкие концентрации меди ранней весной обусловлены поступлением в русло КЕК талых снеговых вод.

По длине канала (протяженностью 120 км от НС № 1 до НС № 5, ниже ЭРВ) наблюдается некоторое увеличение концентрации меди у НС № 3 весной, летом 1989 г. и осенью 1989, 1990 гг. у НС № 5, что, возможно, связано с влиянием антропогенного фактора. Как отмечалось ранее, в водоемах трассы КЕК накапливается большое количество степной растительности, которая подвергается разложению и выделению в водные массы не только биогенных, органических веществ, но и вероятней всего металлов. Для более точного утверждения такого факта необходимо провести специальное исследование.

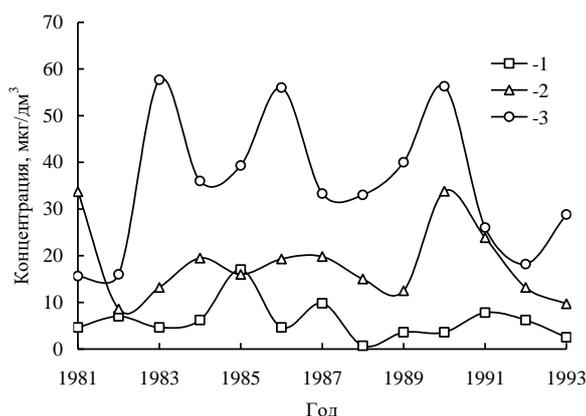


Рис. 2. Изменение концентрации меди (Cu), цинка (Zn) и марганца (Mn) в воде КЕК в многолетнем цикле.

Средняя концентрация меди в воде КЕК во все изученные сезоны (за исключением зимы 1988, 1989 гг.) превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов в 1,2...17 раз. Содержание цинка подвержено сезонным и межгодовым колебаниям. Поскольку цинка в литосфере относительно много, $8,3 \cdot 10^{-3} \%$ и он обладает большей миграционной способностью по сравнению с медью, повышенные его концентрации обнаруживаются в разные сезоны года. Сопоставляя среднегодовые и среднесезонные значения концентраций цинка, выявить определенные закономерности в режиме и динамике не удалось, что может быть связано с непостоянством водного режима в течение года. Средняя концентрация цинка в воде КЕК (за исключением трех случаев) превышает ПДК в 1,3...3,4 раз. По длине участка канала (около 130 км) наблюдается увеличение концентрации цинка почти в 3 раза. Аналогичная картина выявлена и для марганца. Максимальные его концентрации обнаруживаются в разные сезоны года многолетнего периода.

Изучая изменения средних концентраций Cu, Zn и Mn в многолетнем цикле в различные сезоны, выявляется следующая картина. Для каждого из металлов выявлен сезон года, где их концентрация максимальная: для Mn – весна, Cu – лето, Zn – лето и осень. Для цинка прослеживается тенденция к накоплению от зимы ($12,5 \text{ мкг/дм}^3$) к летне-осеннему периоду ($20,0 \dots 20,4 \text{ мкг/дм}^3$). Следует отметить тот факт, что пределы варьирования среднеемноголетних сезонных концентраций меди ($5,1 \dots 9,2$), цинка ($12,5 \dots 20,4$) и марганца ($29,6 \dots 39,0 \text{ мкг/дм}^3$) невелики. В порядке увеличения содержания металлов в воде КЕК их можно расположить в ряд: $\text{Cu} (7,0) < \text{Zn} (17,6) < \text{Mn} (33,1 \text{ мкг/дм}^3)$.

Содержание рассматриваемых металлов по глубинному разрезу воды канала в системе: поверхностный слой – придонный слой – иловый раствор увеличивается, соответственно, для меди 0,5 – 4,5 – 16,5; для цинка 6,0 – 30,5 – 32,0; для марганца 59,0 – 87,0 – 200 мкг/дм³. Такое увеличение концентрации металлов в иловом растворе говорит о том, что они переносятся в осадок не только живыми организмами при их отмирании, но и путем их адсорбции органическим веществом и с осаждением на твердых частицах, например, глине, карбонатах кальция и магния [14]. Определенную роль играют и грунтовые воды с повышенным содержанием металлов (меди 6,2...40; цинка 13,5...69,3; марганца 25,0...152,4 мкг/дм³).

Элементы *свинец, кадмий, стронций, барий, хром, алюминий* были определены методом спектрального анализа. Барий и стронций имеют близкие химические свойства как элементы одной группы. В частности, многие их соединения обладают сравнительно малой растворимостью. Хотя у бария относительно высокий кларк в литосфере ($6,5 \cdot 10^{-2}$ %) по сравнению со стронцием ($3,4 \cdot 10^{-2}$ %), тем не менее, в природе первый мигрирует хуже второго.

В воде р. Ертис содержание *стронция* колеблется в пределах 8,7...110, бария 0...9,0 мкг/дм³ при большем содержании весной. Отношение стронция к барию (Sr/Ba) много больше единицы, что свидетельствует о более активной миграции стронция. В воде канала содержание стронция и бария заметно возрастает по сравнению с р. Ертис и колеблется в пределах, соответственно, 20...210 и 2...11 мкг/дм³. Также как, для р. Ертис, для воды канала, максимальные концентрации стронция и бария отмечаются в весенне-летнее время.

Хром, как наиболее токсичный металл, обладающий канцерогенным действием, находится в прямой зависимости от валентных форм его существования. Наибольшую опасность представляют высокотоксичные соединения хрома (VI). За весь период исследования содержание хрома в воде канала колебалось в пределах 0,5...6,5 мкг/дм³, в р. Ертис 1,8...2,0 мкг/дм³. Максимальная концентрация хрома в воде канала (6,5 мкг/дм³) зафиксирована в весенний период. Среднее значение концентрации хрома в воде р. Ертис (1,7 мкг/дм³) несколько больше, чем в воде канала (1,2 мкг/дм³). Превышение ПДК по хромум не наблюдается (ПДК *хрома* = 50 мкг/дм³).

Исследования, проведенные Н.А. Амиргалиевым в 1970...1977 гг., показали, что вода р. Ертис, водохранилищ, расположенных вдоль трассы

КЕК и канал у г. Караганды, превышала ПДК по меди в 6...76; цинку в 0,6...6,4; марганцу 0,5...1,5; барии 0,5...1 раз, а кобальт, никель, свинец, молибден, хром, ванадий, титан не превышают ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения [1] и сопоставимы с данными КазНУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амиргалиев Н.А. Гидрохимия канала Иртыш-Караганда. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 199 с.
2. Амиргалиев Н.А., Григорьева Э.Н. Загрязнение крупнейших водоемов Казахстана сточными водами // Тез. докл. 26 Всес. гидрохим. совещ. - Новочеркасск, 1975. –3 с.
3. Бектуров А.Б., Мун А.И., Базилевич З.А. Некоторые вопросы распределения фтора в природных водах Казахстана //Вестник АН ССР. – Сер. хим. – 1962. – Вып. 3, № 10. – С. 69-78.
4. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 38-49.
5. Гельфер Е.А. Факторы, влияющие на содержание фтора в природных водах // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат. – 1968. – Т. 46. – С. 45-48.
6. Глебович Т.А. О содержании бора в море, озерах, реках // Тр. биогеохим. лаб. - М.: Изд. АН СССР. – 1964. – Вып. 8. – С. 20-31.
7. Ежегодник качества поверхностных вод и эффективности проведенных водоохранных мероприятий по территории КазССР. Алматы, 1986...2002 гг.
8. Зенин А.А., Сергеева О.В., Земченко Г.Н. Коэффициенты превращения (распада) загрязняющих веществ в воде //Обзорная информация ВНИИГ МИ – МЦД.- М., 1977.- Вып.1.- 43 с.
9. Ибрагимова М.А. Физико-химическая характеристика воды рек бассейна оз. Балхаш: Афтореф. дис. ... канд. хим. наук. – Алма-Ата: КазГУ, 1969. – 24 с.
10. Коновалов Г.С., Иванова А.А. Содержание и режим микроэлементов в воде и во взвешенных веществах в бассейне р. Волги // Гидрохим. материалы. Л.: Гидрометеиздат. – 1972. – Т. 53. – С. 60-69.
11. Крепкогорский Л.Н. Фтор в поверхностных водах Казахстана // Гидрохим. материалы. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – Т. 30. – С. 27-39.
12. Мун А.И., Бектуров А.Б. Распределение микроэлементов в водоемах Казахстана. – Алма-Ата: Наука, КазССР, 1971. – 290 с.

13. Пильгук В.Я. Физико-химия воды р. Иртыш в условиях создания водохранилищ: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Алма-Ата: КазГУ.- 1975. - 30 с.
14. Романова С.М., Казангапова Н.Б. Озеро Балхаш – уникальная гидро-экологическая система. – Алматы: ДООИВА Братство, 2003. – 175 с.
15. Цивьян М.В., Коротун Л.В. К вопросу миграции тяжелых металлов в системе «вода – дно». – М.: ЦИОНТ ПИК, ВИНТИ. – 1980. – № 32. – 39 с.

Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г. Алматы

ЕРТИС ҚАРАҒАНДА КАНАЛЫНЫҢ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ РЕЖИМІНІҢ СИПАТТАМАСЫ

3 - ші хабарлама. Судағы микроэлементтер, оның ішінде ауыр металдар

Геогр. ғылымд. докторы С.М. Романова

К. Сатпаев атындағы канал суының көп жылдық цикліндегі микроэлементтер (фтор, бор, бром, йод) мен ауыр металдарды зерттеудің әдеби шалулары мен өзіндік зерттеу жұмыстараның материалдары келтірілген.