

УДК 556.114

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПРОЕКТИРУЕМОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКОЙ
ГРЭС НА ОЗЕРЕ БАЛХАШ**

Канд. геогр. наук	С.М. Романова
Доктор техн. наук	А.А. Турсунов
Канд. хим. наук	Г.С. Кунанбаева
	Г.В. Таранина
	И.В. Романова

Приведены данные по изменению химического состава воды озера Балхаш (пос. Улькен) при сооружении водохранилища-охладителя проектируемой Южно-Казахстанской ГРЭС. Выявлены различные гидрохимические и гидробиологические процессы, приводящие к ухудшению качества воды.

Казахстан является самым малообеспеченным водными ресурсами государством среди стран СНГ. Более 60 % территории РК расположено в аридной зоне, имеющей низкую увлажненность и крайне неравномерную распределенность водных ресурсов. Растущие потребности общества в воде и энергии обуславливают необходимость сооружения крупных гидротехнических объектов. Гидротехническое и энергетическое строительство сопряжено с реконструкцией существующих и созданием новых водоемов и водотоков.

Предусмотрено сооружение Южно-казахстанской ГРЭС мощностью 4000 МВт на оз. Балхаш у поселка Улькен. Техническое водоснабжение предусматривается обратное, с созданием водохранилища-охладителя, путем отсечения глухими плотинами части акватории оз. Балхаш и поднятия уровня воды в ней на 2,0 м. Наполнение будет пусковым, а эксплуатационная подпитка водохранилища-охладителя и охлаждение вращающихся механизмов – водой из оз. Балхаш с помощью насосной станции подпитки. Поддержание постоянной минерализации воды в водохранилище-охладителе предусмотрено за счет его продувки с испарением продувочной воды в водоеме – испарителе, расположенном в 30 км от промышленной площадки ГРЭС.

Сотрудниками кафедры неорганической химии КазНУ им. аль-Фараби изучался гидрохимический режим водохранилища-охладителя (ВО) ЮК ГРЭС с момента его сооружения [1-3].

Минерализация воды ВО в начальный период исследования, т.е. в весенний период 1990 г. составила 1,17 г/л, к лету она уменьшилась до 0,96...1,07 г/л. В весенний период среднесезонное значение составило 1,18 г/л. Максимальные значения минерализации (1,09...1,24 г/л) обнаружены в западной части водохранилища. Выявлено, что по минерализации вода озера в 1990 г. (1,06...1,18 г/л) практически не отличается от минерализации воды водохранилища (0,97...1,18 г/л).

Преобладающими ионами в воде водохранилища и озера являются $Na^+ + K^+$ и SO_4^{2-} - ионы с повышенным содержанием хлоридов и магний - ионов. Индекс воды по О.А. Алекину S_{II}^{Na} не меняется в течение всего исследуемого периода. Меньше всего в воде содержится ионов кальция (1,93...2,16 ммоль/л экв.) и гидрокарбонат-ионов (3,13...4,16 ммоль/л экв.). За пять лет исследований установлено, что общая минерализация воды постепенно возрастает из года в год от 1,10 до 2,33 г/л, что связано с водностью года и влиянием гидротехнического строительства (сооружение плотины). Во все годы в системе: поверхностный слой – природный слой наблюдается ярко выраженная вертикальная стратификация минерализации, причем наибольшая минерализация отмечена в районе острова Оджебекарал.

В межгодовом цикле минерализация воды оз. Балхаш остается на относительно постоянном уровне, наблюдается лишь некоторое ее снижение от зимы к лету. Особенности гидрологического режима водохранилища и его геоморфология в значительной степени определяют сезонную динамику главных ионов. Их содержание в воде водохранилища варьировало в больших пределах. Среднесезонные концентрации ионов Ca^{2+} изменялись от 34,5 до 52,4, Mg^{2+} от 66,5 до 157,0, $Na^+ + K^+$ от 223,0 до 537, HCO_3^- от 218,5 до 267, CO_3^{2-} от 18,3 до 30, SO_4^{2-} от 351,6 до 947 и Cl^- от 175,5 до 396 мг/л. Обращает на себя внимание тот факт, что увеличение содержания всех названных ионов происходит не равномерно. Так, особо отличаются HCO_3^- , CO_3^{2-} и Ca^{2+} - ионы. Если в 1991 г. концентрация Ca^{2+} ионов возросла на 6,3, а CO_3^{2-} на 6,4 мг/л по сравнению с 1990 г., то в 1992 г. отмечено снижение их концентрации, соответственно, на 8,3 и 1,7

мг/л. Это снижение наблюдалось до 1993 г. По-видимому, с 1992 г. начался процесс хемогенной садки карбоната кальция. Ранее был экспериментально доказан факт процесса карбонатообразования и карбонатонакопления в воде оз. Балхаш. Этим процессам способствуют: особенности химического состава воды питающих притоков, повышенные значения температуры и pH (8,40...9,50) воды самого озера, особенно в летний период, фактическое отсутствие CO_2 в воде, наличие органического вещества в достаточном количестве, пересыщенность воды относительно $CaCO_3$, мелководность водоема, хорошая прогреваемость и перемешиваемость водных масс (эмерджентность), протекание различных внутриводоемных процессов.

С 1994 г. концентрация Ca^{2+} и HCO_3^- , CO_3^{2-} ионов опять возрастает в связи с подпиткой водохранилища водой из оз. Балхаш. Сезонные изменения значений pH обусловлены в основном смещением карбонатно-кальциевого равновесия в прямом или обратном направлениях.

Исследование атмосферных осадков (снега) территории ЮК ГРЭС (рис.1) в 1991 г. показало, что минерализация колеблется от 35 до 57 мг/л, причем наиболее загрязнен снежный покров восточной дамбы (1 станция).



Рис. 1.- Схема ВО ЮКРЭС с пунктами отбора проб воды, донных отложений и почв. о – пункты отбора проб воды; Δ - донных отложений; \diamond - почв; о1 – Восточная; о2 – Северная; об – Западная; о3 – струенаправляющая плотина.

В районе 6 станции были отобраны образцы льда, минерализация которых (53 мг/л) несколько выше средней минерализации (43 мг/л) снежного покрова территории ГРЭС. В 1992 г. снег территории ГРЭС содержал от 27 до 72 мг/л минеральных солей, а на оз. Балхаш – 36 мг/л. Снежный покров территории ГРЭС и в 1992 г. более загрязнен в районе 1 станции (72 мг/л) и на территории ПОКа (68 мг/л).

При исследовании химического состава почвогрунтов береговой линии водохранилища–охладителя выявлено, что общее содержание солей колеблется в пределах от 0,08 до 8,38 г/100 г. Почвы в районе о. Оджебекарал и южной части водохранилища относятся к солончакам, т.к. общее содержание солей (1,61...8,38 г/100 г) в этих образцах превышает 0,25 г/100 г абсолютно сухой почвы. Почвы береговой линии засолены, в основном, легкорастворимыми солями и с весенними паводковыми водами поступают в водохранилище, что подтверждает факт повышенной минерализации воды в этих районах водоема.

Газовый режим водохранилищ аридных зон формируется под влиянием многих факторов, основными из которых являются: интенсивное ветровое перемешивание водных масс из-за мелководности, разнообразные гетерогенные процессы экосистем «атмосфера – вода – ил – растение – животные», внутриводоёмные гомогенные и гетерогенные гидрохимические и гидробиологические реакции, взаимодействие воды с породами и почвами залитого ложа, жизнедеятельность организмов, антропогенное воздействие и т.д. Интенсивность, указанных факторов, изменчива не только в годичном цикле, но и в отдельные сезоны, месяцы и даже в течение суток. Особо важная роль в водоёмах рыбохозяйственного назначения принадлежит таким газам, как кислород и диоксид углерода.

В весенний и осенний периоды вода водохранилища характеризуется довольно высоким содержанием кислорода. Так, в весенний период его концентрация колеблется в среднем от 8,7 до 11,1 мг/л (92...112 % насыщения), осенью от 10,9 до 13,5 мг/л (91...122 % насыщения). Это связано с повышенным обменом кислорода между водой и атмосферой при относительно низких температурах (2,5...17 °C), а также уменьшением скорости процессов окисления в толще воды.

В летний период, когда вода водоёма прогревается до температуры 21...27 °C, содержание кислорода уменьшается до 7,0...9,2 мг/л. Как правило, в период летней стагнации (август) вода ненасыщенна кислородом и процент насыщения достигает всего 79...91 %. Интенсивное ветровое пе-

ремешивание водных масс обуславливает равномерное распределение кислорода по акватории водохранилища. Обращает на себя внимание тот факт, что во все периоды максимальное содержание кислорода наблюдается на 3 станции (район струенаправляющей дамбы). По данным 1990-1994 гг. кислородный режим водохранилища удовлетворительный для развития в нём органической жизни.

В воде водоёма растворённой углекислоты обнаружено не было, что связано с процессами фотосинтеза, при которых CO_2 ассимилируется. Это, в свою очередь, приводит к снижению и даже полному ее исчезновению в поверхностных водах.

Значения pH воды водохранилища и оз. Балхаш в 1990-1991 гг. колеблются в близких пределах (8,30...8,60). С 1992 г. значения pH воды водохранилища становятся выше на 0,2 ед. зимой, 0,1...0,3 ед. весной, 0,2...0,7 ед. летом и 0,1...1,3 ед. осенью, чем в воде оз. Балхаш. Это обусловлено замедленным водообменом из-за сооружения плотины.

В последние годы в результате углубленного исследования внутриводоёмных процессов, их влияния на качество воды и гидрохимический режим водохранилища, изучению состава органических соединений уделяется большее внимание [2]. Органическое вещество постоянно присутствует в природных водах.

Содержание органических веществ оценивалось по перманганатной (ПО), бихроматной (БО) окисляемости и органическому углероду. Окисляемость поверхностных вод обычно подвержена значительным сезонным колебаниям. Наиболее высокие значения ПО и БО в воде водохранилища-охладителя наблюдались весной и достигали в разные годы, соответственно, 22,9 и 57,8 мгО/л. Величина ПО и БО в этот период превышает 40 %, т.е. в воде находилось большое количество окрашенных гумусовых соединений. К лету, как правило, значение ПО уменьшается до 4,2...15,5 мгО/л, а БО возрастает до 43,0...76,1 мгО/л. В большинстве случаев для ПО чётко прослеживается вертикальная стратификация: в придонных пробах воды значение ПО больше (10,9...29,6 мгО/л), чем в поверхностных (5,6...15,2 мгО/л).

Одним из важных интегральных показателей содержания органических веществ (ОВ) является растворённый органический углерод ($C_{орг}$). В связи с тем, что в воде протекают одновременно два процесса – синтез ОВ и их деструкция, содержание $C_{орг}$ в воде водохранилища на разных участках в одно и то же время весьма различно. Наши исследования пока-

зали, что максимальные средние концентрации $C_{орг}$ наблюдаются в летний период (51,0...57,0 мг/л), что связано с наибольшей фотосинтетической деятельностью фитопланктона. Весной и осенью средние концентрации $C_{орг}$ значительно ниже (22,6 мг/л). Здесь происходит интенсификация процессов деструкции и минерализации органических соединений, приводящая к снижению содержания $C_{орг}$.

Основным источником поступления органических веществ в оз. Балхаш является река Или, вода которой насыщена (16,6...70,4 мг/л) органическим углеродом. Водные массы открытой части оз. Балхаш (за плотиной ЮК ГРЭС) в первый год наблюдения содержат $C_{орг}$ в пределах 19,4...32,4 мг/л, что несколько меньше, чем в этот же период в воде водохранилища. В 1991 г. наблюдалась обратная картина: в воде оз. Балхаш содержание $C_{орг}$ было больше, чем в воде водохранилища.

Биогенные элементы, поступающие в водоем с водой рек, атмосферными осадками, промышленными и хозяйственно – бытовыми сточными водами, стоками с сельскохозяйственных угодий и накапливающиеся в нем в результате внутриводоемных процессов, определяют качество воды природных и искусственно создаваемых водоемов, используемых в различных хозяйственных целях.

В водохранилищах, прошедших стадию становления, определяющими факторами содержания биогенных веществ являются следующие процессы: продукционно – деструкционные, седиментации, комплексообразования, окисления-восстановления и сорбции – десорбции.

Концентрация биогенных веществ в воде будущего водохранилища-охладителя изменяется в широких пределах по сезонам года, акватории и его глубине. Минеральные соединения азота поступают в водоем главным образом с поверхностным стоком. Они легко усваиваются фитопланктоном и переходят в белковый азот. Из всех форм азота преобладающей формой в воде водохранилища является аммонийный азот. Его концентрация в зависимости от сезона года варьирует от 0 до 1,98 мг/л, в среднем составляя 0,11...0,47 мг/л. В отличие от других форм азота (NO_3^- , NO_2^-), содержание которых в вегетационный период часто снижается до нулевых значений, концентрация аммонийного азота варьирует в довольно высоких пределах (0,07...0,76 мг/л) для этого периода. Особенно значительное его накопление (0,19...0,63 мг/л) происходит в придонных слоях воды в местах с низким содержанием растворенного кислорода (насыщение 78 %). Для аммонийного азота характерна вертикальная стратифика-

ция с увеличением его содержания в придонных слоях воды. Однако в отдельные годы (1994 г.) она выражена слабо в связи с малой глубиной водоема и сильным ветровым перемешиванием водных масс. Распределение аммонийного азота по акватории водохранилища отличается неоднородностью. Так, летом оно зависит в основном от распределения фитопланктона: на участках нарушенного водообмена и разлагающегося планктона содержание NH_4^+ ионов, как правило, выше. Наибольшие его концентрации обнаружены в северо-восточных частях и районе о. Оджебекарал (станции 1, 2, 5) и подвержены сезонным колебаниям.

Максимальное содержание ионов аммония обнаружено в осенне-зимний период (0,31...0,34 мг/л), минимальное – весной (0,17 мг/л). За пятилетний период наблюдений четко прослеживается уменьшение среднегодовых концентраций аммонийного азота.

Содержание азота нитратов в воде водохранилища в зависимости от сезона года варьирует в пределах 0,0...0,222 мг/л. Максимальное содержание нитратного азота наблюдается в зимний и весенний периоды, минимальное – осенью. В летний период нитратный азот интенсивно поглощается фитопланктоном, поэтому его содержание в воде водохранилища незначительно и не превышает сотые или тысячные доли миллиграмма на 1 литр (0,0...0,024 мг/л). К осени в результате ослабления биологических процессов и усиления циркуляции водных масс, содержание нитратного азота увеличивается (0,003...0,024 мг/л). Отсутствие нитратов и низкое их содержание в летний период является характерной особенностью богатых фитопланктоном водоемов. В последний год исследования содержание нитратов уменьшилось до 0,007 мг/л, т.е. в 4,3 раза по сравнению с 1990 г. Это говорит об усилении процессов денитрификации, приводящих к увеличению «цветения» воды водоема.

Что касается нитритного азота, то он является промежуточным продуктом трансформации азотосодержащих соединений. На их концентрацию оказывают влияние процессы нитрификации, денитрификации и потребление их непосредственно фитопланктоном.

Указанные процессы динамичны, вследствие чего трудно отметить какие – либо закономерности в распределении нитритов по акватории водохранилища и их сезонной динамике. За весь период исследования концентрация нитритного азота колеблется в пределах от 0,0 до 0,074 мг/л). В межгодовом цикле выявлено, что содержание нитритного и нитратного азота подвержено значительным изменениям.

Фосфор является одним из главных биогенных веществ, определяющим продуктивность водоема. Он встречается во всех живых организмах и регулирует энергетические процессы клеточного обмена. В природных водах фосфор присутствует в виде неорганических и органических соединений. Значительная часть поступающего в водоемы фосфора сорбируется взвешенными в воде частицами или взаимодействует с ионами железа и кальция, образуя нерастворимые комплексные соединения. В зависимости от сезона года концентрация фосфора в воде водоема ЮК ГРЭС варьирует в пределах от 0,006 до 0,125 мг/л. В большинстве случаев наблюдается увеличение содержания фосфора от весны к лету. Весной во время половодья, когда уровень воды в водохранилище достигает максимума, концентрация фосфатов увеличивается до 0,012...0,037 мг/л, что связано с притоком талых вод, содержащих большое их количество. В летний период среднее содержание фосфатов остается почти на прежнем уровне и составляет 0,020...0,046 мг/л (поверхностные слои воды) и 0,038...0,075 мг/л (придонные слои).

Осенью с понижением температуры воды до 10...16 °С, скорости процессов минерализации, а также усилением циркуляции воды концентрация фосфатов снижается до 0,019 мг/л. В межгодовом цикле прослеживается тенденция к увеличению содержания фосфатов в воде водохранилища от 0,018 в 1990 г. до 0,054 мг/л в 1994 г. В распределении фосфатов по глубине наблюдается стратификация в летний период. При штилевой погоде происходит значительное их накопление в придонных слоях до 0,075 мг/л за счет минерализации остатков отмершего планктона и усиления процессов десорбции фосфора из донных отложений. За исследуемый период содержание фосфора в воде ВО не превышает ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Являясь биологически активным элементом, железо в определенной степени влияет на интенсивность развития фитопланктона и качественный состав микрофлоры в водоеме. За изученный период (1990–1994 гг.) под влиянием внутриводоемных процессов произошла седиментация железа и его аккумуляция в донных отложениях. Все это привело к снижению содержания этого металла в воде водохранилища: уменьшились как предельные, так и среднегодовые его концентрации. Среднегодовая концентрация железа снизилась от 0,59 мг/л (1990 г.) до 0,176 мг/л (1994 г.). Этот факт указывает на улучшение качества воды водохранилища–охладителя но, тем не менее, наблюдается превышение ПДК по железу.

зу в среднем в 4 раза. В сезонной динамике выявлено, что максимальные содержания его приходятся на летне–осенний период, минимальные – на весну. При рассмотрении системы «поверхностный слой – придонный» в распределении железа по глубине наблюдается вертикальная стратификация: у дна содержание железа на 0,115...2,163 мг/л больше, чем у поверхности. Таким образом, в придонных слоях происходит аккумуляция растворенного и взвешенного железа.

Для понимания круговорота железа в водохранилище, представляют интерес данные о его содержании в донных отложениях, где основными факторами являются значения *pH* и окислительно-восстановительные процессы. Содержание железа в донных отложениях составляет 9,4...19,5 г/кг абсолютно сухой почвы. Аккумулированное в донных отложениях железо при смене окислительных условий на восстановительные способно сравнительно легко переходить в подвижное состояние, а затем в толщу воды и таким образом пополнять его запасы в водной толще.

Кремниевые соли, как азотистые, азотные и фосфорные, являются питательными веществами для обитающих в водоеме водных организмов, хотя их роль по сравнению с минеральными формами азота и фосфора менее значительна. Содержание кремния в воде водохранилища за исследуемый период колеблется от 0,5 до 6,5 мг/л. Минимальные концентрации обнаружены в весенний период, а к осени они увеличиваются. Наблюдается практически равномерное распределение кремния, как по акватории водохранилища, так и в сезонной динамике. В межгодовом цикле концентрация кремния в воде водохранилища уменьшается (от 4,9 мг/л в 1990 г. до 2,9 мг/л в 1994 г.).

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что запас биогенных веществ в воде водохранилища–охладителя значителен в течение всего периода исследования. В пользу изложенных выше фактов по гидрохимии биогенных элементов говорят гидробиологические исследования на ВО ЮКГРЭС в первые годы его существования (1992, 1993 гг.). В них отмечается значительное развитие высшей водной растительности на начальном этапе формирования его режима. Так, в 1993 г. было выявлено 27 видов водных растений, в том числе 22 вида настоящих гидрофитов, а 5 – гелофитов (воздушно – водные растения). Расчет годовой продукции макрофитов на единицу площади в мелководной западной части водохранилища составляет 577 ц/га, восточной – 107 ц/га, по водохранилищу в среднем – 244 ц/га, что почти в 2 раза больше аналогичного показателя

для близлежащих заливов оз. Балхаш. Гидробиологические исследования доказали увеличение концентрации органики. Кроме того, расчет средне-сезонного значения индекса сапробности (1,70...1,96) позволяет отнести водохранилище за период 1992–1993 гг. к умеренно загрязненным, бета – мезосапробным, а индекса по организмам зоопланктона (0,85...1,33) – к водоемам с экстремальными условиями существования. Необходимо отметить также уменьшение роли ветвистоусых ракообразных, являющихся тонкими фильтраторами, что неблагоприятно сказывалось на самоочистительной способности водоема.

Для оценки экологической обстановки экосистем ЮКГРЭС в многолетнем цикле был изучен режим и динамика тяжелых металлов (*Cu, Zn, Mn, Pb, Cr, Cd, Sr*) в воде водохранилища, донных отложениях, почвогрунтах береговой зоны и атмосферных осадках [3].

Из всех тяжелых металлов медь является наиболее изученной с точки зрения поведения в водоемах, а также биологического и токсикологического воздействия на организмы. Медь относится ко второй группе компонентов речного стока, основной формой миграции которых является раствор.

Способность меди мигрировать в виде легкоподвижных растворимых соединений в условиях высокого окислительно-восстановительного потенциала и *pH* объясняется тем, что медь в отличие от других металлов практически не подвергается гидролизу.

Содержание меди в воде ВО варьирует в широких пределах (0,5...112,0 мкг/л), составляя в среднем по сезонам года: зимой – 15,2; весной – 11,3; летом – 20,4; осенью – 24,9 мкг/л (табл. 1). За пять лет наблюдений среднегодовая концентрация меди постепенно возрастала от 2,3 в 1990 г. до 34,6 мкг/л в 1994 г. Если среднемноголетняя (1990–1994 гг.) концентрация меди в воде оз. Балхаш составляла 12,5 мкг/л, то в ВО она возрастает до 19,8 мкг/л. Вертикальная стратификация меди четко не проявляется.

Концентрация цинка в воде ВО колеблется в больших пределах (1,0...360 мкг/л), составляя в среднем по сезонам года: зимой – 83,3; весной – 42,3; летом – 50,7; осенью – 36,2 мкг/л. С начала сооружения плотины (1990 г.) концентрация цинка постепенно возрастала от 22,9 до 78,7 мкг/л в 1992 г., а с 1993 г. наблюдается снижение содержания цинка от 67,7 до 39,2 мкг/л. Сравнивая содержание цинка в воде оз. Балхаш в отдельные сезоны года с аналогичными данными в воде ВО, отчетливо вид-

но его увеличение в замкнутом водоеме. Так, возрастание содержания цинка наблюдается весной на 4,3; летом – на 20,5; осенью – на 16,8 мкг/л. Лишь в зимний период содержание цинка в воде ВО на 6,2 мкг/л меньше, чем в оз. Балхаш. Среднеголетняя концентрация цинка в воде ВО в 3,7 раз больше (46,5 мкг/л), чем в воде оз. Балхаш (12,5 мкг/л).

Таблица 1

Среднегодовые предельные концентрации тяжелых металлов в воде водохранилища-охладителя ЮК ГРЭС, мкг/л

Год	Zn	Cu	Mn	Pb	Cr	Cd	Al	Sr
1990	14,5...48,5	0,5...4,5	18,0...198	0	1,1...6,0	0,1...3,9	0	200...1200
1991	1,0...54,0	0,5...30,0	9,0...499	0...10,5	0...18,5	0,1...18,5	0...260	38...1650
1992	15,5...360	4,0...44,0	7,0...2760	0,2...3,0	0,3...5,5	0,5...8,0	0...195	42...1192
1993	13,0...204	1,0...112	7,0...58,0	0,4...2,5	0,5...3,2	0,4...4,5	0...186	105...1350
1994	5,0...136	1,0...108	11,0...102	0,8...6,0	0,6...6,2	0,9...9,0	5,0...307	230...1410
Ср. зн.	46,5	19,8	92,6	2,3	2,9	2,2	42,7	691

В отличие от меди, для цинка прослеживается четкая вертикальная стратификация: в глубинных пробах воды содержание цинка на 6,0... 69,6 мкг/л больше, чем в поверхностных пробах воды.

Марганец, как медь и цинк, также распределен по акватории ВО неравномерно (7,0...2760 мкг/л), причем максимальное содержание (2,8 мг/л) обнаружено в глубинных пробах воды летом 1992 г. Для марганца отчетливо проявляется вертикальная стратификация: с увеличением глу-

бины возрастает его содержание на 7,9...1310 мкг/л. Наибольшая среднесезонная концентрация марганца (58,0 мкг/л) приходится на весну, наименьшая (18,5 мкг/л) – на летний период.

До 1993 г. шло интенсивное накопление марганца в воде ВО (от 79,5 до 225,0 мкг/л). В последующие два года отмечается снижение среднегодовой концентрации марганца до 29,4 и 36,2 мкг/л. Однако расчет среднесезонной концентрации марганца в воде ВО и оз. Балхаш показал, что в замкнутом водоеме она в 2,1 раза больше, чем в самом оз. Балхаш.

Стронций является преобладающим из всех изученных микроэлементов во все сезоны года, на его долю приходится 76...82%. Разница между максимальной и минимальной концентрациями составляет в разные годы 1000...1245 мкг/л. Для стронция максимальное содержание (701 мкг/л) выявлено весной, минимальное (353 мкг/л) – зимой.

Свинец, наиболее токсичный элемент, в 1990г. не обнаружен, а в последующие годы его содержание колеблется в пределах от 0 до 10,5 мкг/л. Постепенного накопления свинца из года в год не наблюдается. Содержание свинца отличается относительной стабильностью по сезонам года: зимой – 1,7; весной – 2,1; летом – 2,6; осенью – 2,2 мкг/л. По сравнению с оз. Балхаш в воде ВО происходит накопление свинца на 0,4... 0,9 мкг/л. Для свинца в штилевую погоду летом в отдельных пробах выявлена вертикальная стратификация.

Содержание хрома в воде ВО колеблется в пределах 0...18,5 мкг/л при среднесезонной концентрации 2,9 мкг/л, в то время как в воде оз. Балхаш она составляет 1,8 мкг/л. Также, как свинец, изменение среднесезонных концентраций хрома происходит в близких пределах (2,6...2,9 мкг/л). Четкого накопления хрома из года в год в воде ВО не наблюдается.

Одним из источников соединений кадмия в поверхностных водах являются процессы выщелачивания из почв и поступление их в результате разложения водных растений. Кроме того, кадмий обладает кумулятивными свойствами. Пределы варьирования содержания кадмия составляют 0,1...18,5 мкг/л. Среднесезонная его концентрация равна 2,2 мкг/л против 1,6 мкг/л в воде оз. Балхаш. Наибольшая среднесезонная концентрация кадмия (4,1 мкг/л) отмечена зимой, наименьшая (1,2 мкг/л) – весной. В большинстве глубинных проб воды ВО содержание кадмия меньше (на 0,2...1,3 мкг/л), чем в поверхностных.

Содержание алюминия изменяется в пределах 0...307 мкг/л. Из года в год происходит постепенное увеличение его концентрации: 30 мкг/л в 1991 г. и 58,0 мкг/л в 1994 г.

Для воды водохранилища-охладителя изученные микроэлементы–металлы располагаются в следующий ряд: $Sr \rangle Mn \rangle Zn \rangle Al \rangle Cu \rangle Cr \rangle Pb \rangle Cd$; для оз. Балхаш: $Mn \rangle Zn \rangle Cu \rangle Cr \rangle Pb \rangle Cd$.

Увеличение концентрации металлов в воде водоемов связано с их десорбцией из донных отложений, поступлением из почвогрунтов береговой зоны, с атмосферными осадками, с грунтовыми водами. Этому способствует интенсивное ветровое перемешивание водных масс, мелководность и прогреваемость воды. Снижение содержания токсикантов обычно происходит за счет их сорбции минеральными соединениями (соли, гидроксиды) илов и донных отложений, а также потреблением фитопланктоном и другими живыми организмами.

Из неметаллов в 1990 г. изучен режим бора, брома и йода. Бор в воде ВО (220...980 мкг/л), р. Или (200 мкг/л), протоки Ир (230...400 мкг/л) и оз. Балхаш (520 мкг/л) является преобладающим, причем наибольшие его концентрации отмечены в весеннее время. Установлена тесная связь между содержанием бора и общей минерализацией воды: с увеличением суммы солей увеличивается содержание бора. Брома в воде водоемов ВО и оз. Балхаш в среднем, соответственно, в 3,8 и 4,6 раза больше, чем йода. В реках же содержание брома и йода одного порядка.

Исследования тяжелых металлов в донных отложениях оз. Балхаш, проведенные ранее (1988–1989 гг.), показали, что на всех участках дна содержание металлов было существенно высоким и близким к уровням загрязнения донных отложений водоемов индустриальных зон. Основная доля тяжелых металлов приходилась на светло – серые илы, занимающие большие площади дна, а также черные с примесью растительного детрита и песка. В грунтах западной части озера, где доминируют светло – серые илы, в исследуемый период присутствует: цинка – 82,2 мг/кг, меди – 55,0 мг/кг, кадмия – 2,52 мг/кг, свинца – 47,0 мг/кг сырой массы.

Роль донных отложений в формировании гидрохимического режима водоемов замедленного стока наиболее значительна в отношении тяжелых металлов. Среди многочисленных и разнообразных внутриводоемных процессов именно седиментационные и сорбционно-десорбционные играют определяющую роль в их судьбе. На основании собственных натуральных наблюдений на водохранилище установлено, что

донные отложения являются хранилищем основных запасов соединений тяжелых металлов.

Преобладающими элементами в донных отложениях ВО являются железо (9,4...19,5 г/кг) и марганец (0,24...0,46 г/кг). Концентрация остальных металлов колеблется в пределах: цинка 37,2...115,0; меди 25,0...46,7; свинца 23,8...43,0; хрома 15,0...71,2; кадмия 0,75...1,92 мг/кг сухой почвы. Сопоставляя данные среднегодовых концентраций тяжелых металлов, можно заключить, что относительной стабильностью в условиях ВО обладает медь (35,4...42,3 мг/кг), кадмий (1,41...1,53 мг/кг), свинец (33,3...39,9 мг/кг) и марганец (0,32...0,52 мг/кг). Содержание остальных металлов изменяется в больших пределах ($\Delta = 9,0...28,8$ мг/кг). Так, для цинка отчетливо проявляется постепенное снижение среднегодовой концентрации от 79,2 мг/кг в 1991 г. до 50,4 мг/кг в 1994 г., т.е. для цинка здесь созданы благоприятные условия для его вымывания. Хром также вымывается из донных отложений. Если в 1991 г. его концентрация составляла 43,9, то к 1994 г. она снизилась до 27,6 мг/кг.

Тяжелые металлы в донных отложениях ВО можно расположить по их среднесуточной концентрации в следующий ряд: $Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > Cr > Cd$.

Донные отложения оз. Балхаш (у п. Улькен) также были исследованы на содержание тяжелых металлов в 1993 и 1994 гг. Как и для ВО, здесь преобладающими являются железо (9,0...24,5) и марганец (0,22...0,56 г/кг), далее по убывающей концентрации располагаются цинк (32,5...60,0), свинец (20,0...45,0), медь (8,0...40,0), хром (15,6...32,8) и кадмий (0,75...1,75 мг/кг).

Исследование почв береговой зоны ЮК ГРЭС на содержание тяжелых металлов показало, что почвогрунты являются дополнительным источником их в воде ВО. За пятилетний период наблюдения выявлено, что наиболее загрязненными являются почвы южной части водохранилища-охладителя и о. Оджебекарал: по меди (25,2 и 25,3), цинку (58,0 и 56,4), кадмию (0,91 и 1,71), хрому (17,3 и 15,3 мг/кг) и марганцу (0,38 и 0,36 г/кг), соответственно. По убывающей концентрации тяжелые металлы почв береговой зоны располагаются в такой же ряд, что и тяжелые металлы в донных отложениях.

Анализируя среднесуточное содержание тяжелых металлов в воде ВО, донных отложениях и почвах, можно заключить, что все эти элементы экосистемы загрязнены токсикантами, а их концентрации одно-

го порядка для большинства металлов. Кроме того, илы в большей степени загрязнены тяжелыми металлами и действительно являются «хранилищами» токсикантов.

Анализ атмосферных осадков (снега и льда) территории ЮК ГРЭС также показал их загрязнение тяжелыми металлами, которые вносят определенный вклад в запасы этих компонентов в воду водохранилища.

Таким образом, проведенные исследования позволили заключить, что в связи с ограниченностью водообмена с оз. Балхаш, вода ВО стала интенсивно засоляться не только минеральными компонентами, биогенными веществами, микроэлементами, органическими веществами, но и произошло ухудшение гидробиологических показателей, приведшее в конечном итоге к «цветению» воды и бурному зарастанию водоема тростником и другой высшей водной растительностью, снижению самоочищительной способности воды. В связи с этим, дирекции ЮК ГРЭС была выдана рекомендация: до ввода агрегатов в эксплуатацию в восточной и западной плотинах предусмотреть каналы (отверстия) для циркуляции водных масс за счет притока воды из озера. Гидробиологи из МОиН РК предлагали дополнить это мероприятие, применив метод биологической мелиорации с помощью растительноядных рыб.

В настоящее время эти каналы прорыты: вмонтированы трубы большого диаметра у основания плотин. Все это позволило снизить общую минерализацию воды и несколько улучшить качество воды водохранилища, что отчетливо видно по результатам химического анализа проб воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романова С.М., Казангапова Н.Б. Озеро Балхаш – уникальная гидро-экологическая система.- Алматы: ДООИВА Братство, 2003.- 175 с.
2. Таранина Г.В., Стуге Т.С. К оценке токсикологической обстановки на водохранилище-охладителе ЭГРЭС-1 // Материалы научно-практической конференции «Вопросы интенсификации охотничьего и рыбного хозяйства».- Алма-Ата, 1989.- С . 29.
3. Романова С.М., Кунанбаева Г.С. Некоторые аспекты загрязнения водной среды Казахстана тяжелыми металлами. // Материалы международного симпозиума «Химическая наука как основа развития химической промышленности Казахстана в 21 веке».- Алматы, 2001. - С. 283.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби
Институт географии МОН РК

**ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН СУ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ СУ
ҚОЙМА-СУЫТҚЫШЫН ЖАБДЫҚТАУДА БАЛҚАШ ӨЗЕНІ
СУЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫН ӨЗГЕРТУ**

Геогр. ғылымд.канд.	С.М. Романова
Техн. ғылымд. докт.	А.А.Тұрсынов
Хим. ғылымд. канд.	Г.С. Құнанбаева
	Г.В.Таранина
	И.В.Романова

Жобалаудағы Оңтүстік Қазақстан су электр станциясының су қойма-суытқышын жабдықтауда Балқаш өзені суының химиялық құрамын өзгерту туралы мәліметтер берілген. Судың сапасын төмендететін әртүрлі гидрохимиялық және гидробиологиялық процестер байқалды.