

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; ◇ - почв; о1 – Восточная; о2 – Северная; о6 – 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. Аккумулярованное 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 1991 г. она снизилась до 27,6 мг/кг.

Тяжелые металлы в донных отложениях ВО можно расположить по их среднегодовой 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 среднегодовое 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.