

УДК 556.114

С.М. Романова

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы
E-mail: vivarom@mail.ru

Влияние колебаний температуры на гидрохимические процессы в водохранилище-охладителе

Рассматривается вопрос влияния резких колебаний температуры воды на протекание гидрохимических процессов в водохранилище-охладителе Экибастузской ГРЭС-1. Установлено, что резкие колебания температуры воды не только в течение года, сезона, но даже суток сказываются на поведении компонентов химического состава: главных ионов, газов, биогенных и органических веществ. Резкие колебания температуры, в конечном итоге, приводят к изменению класса, группы и даже типа воды. Доказано интенсивное выпадение карбоната кальция из воды водоема.

Ключевые слова: гидрохимические процессы, качество природных вод, водоем-охладитель

S.M. Romanova

Influence of hesitations temperature on hydro chemical process in reservoir-cooler

Set the question of the impact of sharp fluctuations in water temperature on the course of hydro-chemical processes in the reservoir-cooler Ekibustuz GAES-1. Establish, that the sharp fluctuations in water temperature, not only for a year, the season, but even days affect the behavior of the components of the chemical composition: the main ions, gases, nutrients and organic matter. Sudden changes in temperature will eventually lead to a change in the class, group, and even the type of water. Proven intensive precipitation of calcium carbonate from the water reservoir.

Keywords: hydro chemical process, quality of natural waters, reservoir-cooler.

С.М. Романова

Салқындатылған-ірімді су қоймаларындағы гидрохимиялық үдерістерге температура мен толқынның әсері

Экибастуз ГРЭС-1 салқындатылған су қоймаларындағы гидрохимиялық үдерістер мен судағы температуралық тербелістердің әсері қалай болады деген сұрақтар қарастырылып, судың температурасының бір жыл ішінде емес, жыл мезгілінде де емес, тіпті сөткелеп те өзгеретін химиялық компоненттердің негізгі иондары, газдары, биогендік және органикалық заттары анықталды. Температура мен толқын тербелісінің тез өзгеруі нәтижесінде олардың кластары, топтары, тіпті, судың типтері де өзгеретінін дәлелдейді. Су қоймасынан кальций карбонаты интенсивті түрде төмендегені дәлелденді.

Түйін сөздер: гидрохимиялық үдерістер табиғи судың сапасы, суық су қоймалары.

Важным этапом изучения водохранилищ, особенно водохранилищ-охладителей, является период его становления, когда интенсивно проходят процессы на границе раздела «вода – донные отложения» и активное поступление всех подвижных соединений из грунтов, подстилаю-

щих пород и почв в воду, обуславливающее их концентрирование в придонном слое. Скорость распределения накопившихся соединений в водной толще зависит от температуры воды, глубины и степени перемешивания водных масс. В отсутствие перемешивания возможно накопление

в придонных слоях различных веществ неорганического и органического происхождения, выделившихся из почв и затопленных растений. В связи с этим часто происходит снижение величины рН и содержания растворенного кислорода.

В период становления происходит поступление различных веществ не только при выщелачивании пород и почв, илов, но и, в не меньшей степени, за счет процессов микробиологической деструкции грунтов и растений. Поэтому на данном этапе трудно определить, какие из процессов доминируют в формировании режима водоема. Однако все они, как правило, в конечном итоге приводят к обогащению воды биогенными элементами. По этой причине качество воды водохранилищ в период становления может оказаться неудовлетворительным по различным показателям, что особенно важно учитывать водопотребителям. Кроме того, поступление из донных отложений некоторых веществ (в частности, марганца) может сказаться на развитии водорослей. Появление марганца в воде может также вызвать помехи при водоподготовке. А повышенные концентрации ионов металлов и анионов слабых и сильных минеральных и органических кислот могут привести к осаждению солей в системах технического водоснабжения ГРЭС, в частности, в системах охлаждения конденсаторных турбин.

Сотрудниками лаборатории химии природных вод при кафедре общей и неорганической химии КазНУ им. аль-Фараби проведены исследования гидрохимии и гидроэкологии водохранилища-охладителя Экибастузской ГРЭС-1 с момента его становления и при установившемся гидрохимическом режиме (с 1978 по 2004 гг.) [1-7]. В данном сообщении рассмотрено влияние резких колебаний температуры на протекание гидрохимических процессов в водохранилище-охладителе Экибастузской ГРЭС-1.

В первые два года существования водохранилища-охладителя Экибастузской ГРЭС-1 его температурный режим почти не отличался от естественного, а с вводом в строй всех восьми блоков существенно изменился (последний восьмой энергоблок ГРЭС введен в эксплуатацию в 1984 г.). В зимнее время ледовый покров на водохранилище отсутствует, имеется только ледовая кромка у восточного, южного и западного берегов.

«Активная зона», где происходит охлаждение сбросной воды, составляет около 40% площади. На протяжении теплового потока происходит быстрое его охлаждение ($-2,7^{\circ}\text{C}$) на один километр пути. Тупиковые зоны и водовороты занимают всю мелководную часть (порядка 60% все площади). Полная гомотермия потока наблюдается на расстоянии 1,5-2,0 км от водозаборной галереи. По акватории водохранилища при воздействии ветра на поверхность происходит более интенсивное перемешивание потока, чем в штилевую погоду. Данные автоматических станций АЦИИТ показали, что ветер со скоростью более 10 м/сек перемешивает поверхностный слой до глубины 2 м. Увеличение мощности станции до 2,0 МВт привело к увеличению зоны растекания теплового потока, к уменьшению площади застойных и водоворотных зон [8].

Температура воды в 1984 г. в зоне сброса превышает естественную температуру на $6-10^{\circ}\text{C}$ (таблица). В отдельные дни при работе всех энергоблоков ГРЭС температура сбросной воды поднимается до $39,0-43,0^{\circ}\text{C}$. Аналогичный термический режим сохраняется и в последующие годы.

Сброс подогретых вод в водоем оказывает значительное влияние на все происходящие в них процессы, в том числе гидрохимические. Скорость их протекания также изменяется во времени, что отражается на содержании многих компонентов химического состава.

По оценке автора температура сбрасываемых вод в летний период в 1,3 – 2,0 раз превышает температуру воды на водозаборе, в весенний – в 1,7 – 4,4, в осенний – в 1,4 – 32,0, а в зимний – в 6,7 – 125 раз. Прогрев придонных слоев воды и грунта может достигать летом до 28°C и зимой до 14°C . Резкие перепады температуры воды негативно воздействуют на элементы экосистемы водоема. Так, О.В. Рубцовой установлено, что при нагреве воды до 30°C токсичность таких тяжелых металлов, как Cu, Zn, Cd, для некоторых видов макробентоса возрастает на 2 – 4 порядка и становится для них летальной [9]. Анализ содержания тяжелых металлов в воде водохранилища в 1989 – 1993 гг. свидетельствует о том, что в отепленной зоне по сравнению с неотепленными участками в среднем в 16 раз превышали концентрации Pb; в 1,8 раз – концентрации Cu; в 1,4 раза – концентрации В и Sr; в 1,2 раза – концентрации Al и Ba; в 1,1 раза – концентрации Mn, Zn, Cd. Однако в

отдельные сезоны года прослеживается обратная картина для Mn, Cu, Zn, Sr, Al и Ba. Это связано с тем, что при прохождении воды через систему охлаждения происходит сорбция этих элементов на стенках конденсаторных трубок и на кристаллах или аморфных образованиях неорганических веществ (автохтонного и аллохтонного происхождения), содержащихся в воде.

Анализ донных отложений на содержание тяжелых металлов в эти же годы показал, что в отепленной зоне по сравнению с неотепленной в среднем в 12 раз превышены концентрации Fe, Mn, Zn, Cd; в 3-5 раз – концентрации Cu и Pb. Кроме того, аналитические определения указывают на присутствие в местах сброса теплых вод повышенные концентрации токсичных компонентов технологического цикла (кислоты, нефтепродукты).

Построение зависимости содержания нефтепродуктов от температуры воды позволи-

ло выделить две области. Первая – в интервале температур от 15 °С до 26 °С происходит резкое увеличение содержания нефтепродуктов (область существования высоких концентраций, до 2,6 мг/л). Уравнение связи концентрации нефтепродуктов от температуры для этой области имеет вид: $y=0,3418e^{0,071x}$ (где: e – основание натурального логарифма; y – концентрация нефтепродуктов, мг/л; x – температура °С). Данная экспоненциальная зависимость имеет коэффициент корреляции $r=0,70$. Вторая – в интервале температур от 25 °С до 43 °С наблюдается очень медленное возрастание концентрации токсикантов (область существования низких концентраций, не превышающих 0,5 мг/л). Уравнение линейной связи концентрации нефтепродуктов от температуры для этой области имеет вид: $y=0,003x + 0,3365$. Связь оценивается как слабая, т.к. $r=0,15$.

Таблица 1 - Динамика сезонных температур в термической и неотепленной зонах водохранилища Экибастузской ГРЭС-1 в 1984 г. и предельные значения температуры в многолетнем цикле, °С

Участки водохранилища	Сезоны 1984 г.			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Термическая зона	9,1-19,2	16,3-26,7	21,0-33,6	11,5-30,2
Неотепленная зона	2,0-9,9	5,8-19,9	18,2-25,8	4,5-23,4

Сезон \ Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Ср.год. превыш. t ⁰ , в число раз
1979	0,1-4,0	-	-	-	
1980	-	1,0-4,0	17,5-25,0	1,0-12,0	4,7
1981	1,0-14,0	3,5-15,5	22,0-32,5	0,5-16,0	10,6
1982	0,2-17,0	12,0-21,5	19,0-33,5	3,0-16,0	19,1
1983	-	14,0-28,0	22,0-31,5	1,2-22,0	5,8
1984	2,0-19,2	5,8-26,7	18,2-33,6	4,5-30,2	5,7
1985	2,0-16,0	8,0-23,5	21,0-32,5	-	4,1
1986	0,5-18,0	10,0-26,0	21,0-35,5	-	13,4
1987	0,5-18,5	8,0-20,5	25,0-43,0	-	13,8
1988	3,0-20,0	-	-	-	
1989	0,4-12,0	7,5-22,5	20,0-40,0	10,0-26,0	9,4
1990	0,2-25,0	12,5-24,5	25,1-35,0	8,5-22,5	32,7
1991	0,4-11,8	14,2-23,8	19,6-38,8	15,3-21,8	8,6
1992	0,4-11,6	-	-	-	
1993	1,7-15,9	11,8-22,2	24,2-36,2	16,0-25,2	3,6
2004	1,0-12,0	9,0-24,0	24,0-38,5	13,5-25,3	4,6

Резкие колебания температуры воды не только в течение года, сезона, но даже суток сказываются и на поведении других компонентов химического состава: газов, биогенных и органических веществ. В связи с уменьшением растворимости газов (O_2 , CO_2) при подогреве воды на отепленном участке водохранилища следовало бы ожидать значительное ухудшение кислородного режима. Однако количество растворенного O_2 на сбросе теплой воды с ГРЭС, например, в 1983, 1984 гг. колеблется в пределах 7,1-12,0 мг/л, а на водозаборном участке 6,0 – 11,2 мг/л. Увеличение содержания кислорода (хотя и незначительно) указывает на то, что сброс теплой циркуляционной воды положительно действует на газовый режим. Такое же явление наблюдали авторы [10] и на других водохранилищах. Это явление объясняется выделением O_2 при более интенсивном фотосинтезе и аэрацией водных масс под влиянием турбулентности потока воды.

Исследуя влияние температурного фактора на режим и динамику органических и биогенных веществ, неметаллов, отчетливо выявляется следующая закономерность (на примере данных 1982-1984 гг.). На отепленных участках содержание NH_4^+ , F, Br и J постоянно меньше, чем на не отепленных участках (в 1,1 – 2,0 раза); концентрация NO_3^- и перманганатная окисляемость (ПО) – больше (в 1,1 – 18,9 раз); практически не изменяется концентрация NO_2^- ионов, а концентрация Fe, P, Si и B в разные сезоны года то увеличивается (в 1,1 – 1,6 раз), то уменьшается

(в 1,1 – 1,9 раз). Повышенные концентрации нитратных ионов и значений ПО в обогреваемой воде объясняются более интенсивным протеканием процессов нитрификации и разложения органических веществ. Последнее обстоятельство влечет за собой образование ионов NH_4^+ . Фториды, бромиды, йодиды и соединения бора, по всей вероятности, осаждаются или трансформируются в системе охлаждения.

Исследуя воду на водозаборных участках и сбросную на содержание главных ионов, значений pH, величин пересыщения воды карбонатом кальция (S/St), отчетливо прослеживается следующая тенденция.

Сбросная вода обедняется ионами Ca^{2+} (из 22 случаев 18) на 0,1 - 1,00, HCO_3^- (в 11 случаях) на 0,1-0,9 ммоль/л экв. Повышение температуры воды и прохождение ее в системе охлаждения турбин способствует диссоциации гидрокарбонатных ионов, образованию и увеличению концентрации карбонатных ионов (в 18 случаях) на $1,5-31,4 \cdot 10^{-6}$ моль/л. Создаются благоприятные условия для насыщения и пересыщения вод карбонатом кальция. Величина S/St в отепленной воде в подавляющем большинстве случаев (в 19 из 22) выше этого показателя в водозаборной воде на 0,13 – 4,15 ед. Изменения, происходящие в химическом составе воды, можно отразить в индексах по Алекину:

Таким образом, резкие колебания температуры, в конечном итоге, приводят к изменению класса, группы и даже типа воды.

вода на водозаборе	Cl_{III}^{Na}	$Cl, S_{III}^{Na, Ca}$	S_{II}^{Na}	Cl_{II}^{Na}	S_{II}^{Ca}	Cl_{III}^{Na}
вода на сбросе	Cl_{III}^{Ca}	Cl, S_{III}^{Ca}	S_{II}^{Ca}	S_{III}^{Ca}	S_{III}^{Ca}	Cl_{II}^{Ca}
вода на водозаборе	Cl_{II}^{Na}	C_{II}^{Mg}	$Cl_{III}^{Na, Ca}$	Cl_{III}^{Na}		
вода на сбросе	Cl_{III}^{Ca}	Cl_{II}^{Ca}	Cl_{III}^{Ca}	Cl_{III}^{Ca}		

В связи с вышеизложенным для выявления процесса садки карбонатов из воды водоема автором 20 мая 2004 г. было установлено 2 седиментомера (специальные сосуды объемом 1л) на участках водозабора и сброса на глубине 5 м от поверхности, а 12 сентября они извлечены из воды. Образовавшиеся осадки на стенках и дне седиментомеров были подготовлены для про-

ведения рентгенофазового анализа. Анализ выполнен в дифрактометре ДРОН-05 на медном излучении с никелевым фильтром. Расшифровка рентгенограмм производилась путем сравнения с эталонными, а также по данным [11]. Расшифровка штрихдиаграмм для трех форм $CaCO_3$ (кальцит, арагонит, ватерит) и $Mg_3Ca(CO_3)_4$ (хунтит), а также для исследованных осадков позво-

лила нам заключить, что из воды водохранилища ЭГРЭС-1 происходит хемогенное образование и садка карбоната кальция в форме кальцита. Причем на водосбросном участке масса соли была больше (1,85 г), чем на водозаборном участке (1,03 г). Кристаллооптический анализ извлеченных осадков позволил обнаружить наличие кристаллов хемогенного кальцита в форме ромбоэдров размером 0,004 см, а также обломочный материал (ракушки, меловые частицы), содержащий карбонат кальция.

Сбросная отепленная вода, имеющая более высокие значения рН, концентрации CO_3^{2-} ионов, величины пересыщения, смешивается с водой водохранилища и здесь более интенсивно протекают гидрохимические процессы, приводящие к образованию карбоната кальция. Следу-

ет отметить, что тепловое загрязнение само по себе является сильнодействующим фактором, а в водохранилище-охладителе ЭГРЭС-1 на него накладывается воздействие колебаний уровня, связанного с его сработкой.

Итак, наблюдающееся увеличение температуры воды выше экологических норм, обусловлено неоптимальными условиями эксплуатации энерготехнического оборудования ТЭС и водных объектов, что ухудшает охлаждающую способность водоема и в конечном итоге наносит экономический ущерб [12]. Для снижения негативных эффектов от влияния ГРЭС необходимо наладить систему контроля сбросов сточных вод, обеспечить надежность режимов работы ГРЭС, водоема-охладителя и проведения водоохраных мероприятий.

Литература

- 1 Ибрагимов М.А, Романова С.М., Беремжанов Б.А. Формирование гидрохимического режима водохранилища-охладителя ЭГРЭС-1//Гидрохимические материалы. - Л.: Гидрометеиздат, 1986.- Т. 96.- С.142-154.
- 2 Романова С.М. Эколого-химические аспекты загрязнения водных систем Казахстана тяжелыми металлами и другими токсикантами//Гидрометеорология и экология. - Алматы, 2004. - Вып. 1.- С. 103-114.
- 3 Романова С.М. Пространственно-временное распределение микроэлементов (неметаллов) в водоемах континентального и искусственного происхождения // Материалы межд. науч.-практич. конф. «Валихановские чтения-9». - Кокшетау, 2004. - С. 245.
- 4 Романова С.М. Пространственно-временное распределение соединений азота, фосфора, кремния и железа в естественных и искусственных водоемах Казахстана // Вестник КазНУ. - Серия химическая.- 2004.- Вып. 2.- С. 141-146.
- 5 Романова С.М. Физико-химия процессов метаморфизации и солеобразования в континентальных и искусственных водоемах Казахстана // Вестник КазНУ. - Серия химическая. - 2004. - Вып.2. - С. 119-123.
- 6 Романова С.М. Экологическое состояние водных объектов Прибалхашья и Прииртышья РК // Тез. докл. VI Всероссийского гидролог. съезда, секция № 4.- СПб., 2004.- С. 263-266.
- 7 Романова С.М., Таранина Г.В. Гидрохимия и физико-химия водохранилищ-охладителей Казахстана.- Алматы: Қазақ университеті, 2007. - 241с.
- 8 Комплексные натурные исследования водохранилища-охладителя Экибастузской ГРЭС-1 (при достижении ее проектной мощности): Отчет о НИР /КазНИИЭ: Рук-ль А.В. Безызвестных. - Ч. 2. Водно- и теплосбалансовые исследования. - № гос. рег. 01830070333. - Алма-Ата, 1985. - С.146-169.
- 9 Рубцова О.В. Экологическое состояние донных биоценозов в зоне сброса теплых вод ГРЭС // Матер. IV гидрол. съезда. - Л.: Гидрометеиздат, 2004.- С. 268-270.
- 10 Лаумянская Г.А., Снукшикис Ю.Ю. Гидрохимический режим водохранилища-охладителя // В кн.: Гидротермический и гидрохимический режимы водохранилищ-охладителей Литовской ГРЭС. - Вильнюс: Шоколас, 1981.- Т. 1. - С. 164 - 199.
- 11 A.S.T.M. Diffraction data cards and grouped numerical index of X-ray diffraction asta.- Philadelphia, 1946-1969. - P. 609, 612, 641.
- 12 Корж В.А. Повышение эффективности техводоснабжения крупных ТЭС // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана.- 1994.- №3 (9). - Ч. 2.- С. 86-90.

References

- 1 Ibragimova M.A., Romanova S.M., Beremzhanov B.A. Formirovanie gidrohimicheskogo rezhima vodohranilishha-ohladitelja JeGRJeS-I // *Gidrohimicheskie materialy*. - L.: Gidrometeoizdat, 1986.- T.96.- S.142-154.
- 2 Romanova S.M. Jekologo-himicheskie aspekty zagrjaznenija vodnyh sistem Kazahstana tjazhelymi metallami i drugimi toksikantami // *Gidrometeorologija i jekologija*.- Almaty, 2004.- Vyp.1.- S. 103-114.
- 3 Romanova S.M. Prostranstvenno-vremennoe raspredelenie mikrojelementov (nemetallov) v vodoemah kontinental'nogo i iskusstvennogo proishozhdenija. // *Materialy mezhd. nauch.-praktich. konf. «Valihanovskie chtenija-9»*.- Kokshetau, 2004.- S. 245.
- 4 Romanova S.M. Prostranstvenno-vremennoe raspredelenie soedinenij azota, fosfora, kremnija i zheleza v estestvennyh i iskusstvennyh vodoemah Kazahstana // *Vestnik KazNU. - Serija himicheskaja*.- 2004.- Vyp.2.- S. 141-146.
- 5 Romanova S.M. Fiziko-himija processov metamorfizacii i soleobrazovanija v kontinental'nyh i iskusstvennyh vodoemah Kazahstana // *Vestnik KazNU. - Serija himicheskaja*. - 2004. - Vyp.2.- S. 119-123.
- 6 Romanova S.M. Jekologicheskoe sostojanie vodnyh ob#ektov Pribalhash'ja i Priirtysh'ja RK // *Tez. dokl. VI Vserossijskogo gidrolog. s#ezda, sekcija № 4*.- SPb, 2004.- S. 263-266.
- 7 Romanova S.M., Taranina G.V. *Gidrohimija i fiziko-himija vodohranilishh-ohladitelej Kazahstana*.- Almaty: Kazah.un-t, 2007.- 241s.
- 8 Kompleksnye naturnye issledovanija vodohranilishha-ohladitelja Jekibastuzskoj GRJeS-1 (pri dostizhenii ee proektnoj moshhnosti): Otchet o NIR /KazNIIJe: Ruk-l' A.V. Bezyzvestnyh. - ch.2, Vodno- i teplobalansovye issledovanija. - № gos. reg. 01830070333. - Alma-Ata, 1985, S.146-169.
- 9 Rubcova O.V. Jekologicheskoe sostojanie donnyh biocenozov v zone sbrosa teplyh vod GRJeS // *Mater. IV gidrol. s#ezda*. - L.: Gidrometeoizdat.- 2004.- S. 268-270.
- 10 Laumjanskas G.A., Snukshikis Ju.Ju. *Gidrohimicheskij rezhim vodohranilishha – ohladitelja* // *V kn.: Hidrotermicheskij i gidrohimicheskij rezhimy vodohranilishh – ohladitelej Litovskoj GRJeS*. - Vil'njus: Shokolas, 1981.- T. 1. - S. 164 - 199.
- 11 A.S.T.M. *Diffraction data cards and grouped numerical index of X-ray diffraction data*.- Philadelphia, 1946-1969. - R. 609, 612, 641.
- 12 Korzh V.A. Povyshenie jeffektivnosti tehvodospabzhenija krupnyh TJeS // *Jenergetika i toplivnye resursy Kazahstana*.- 1994.- №3 (9), ch. 2.- S. 86-90.