

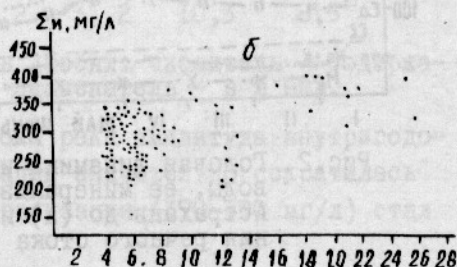
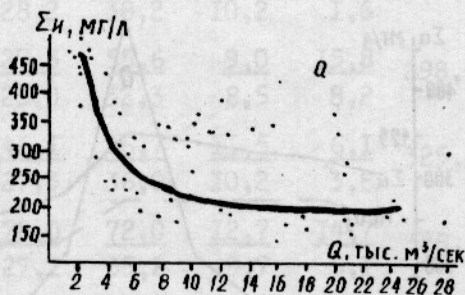
УДК 551.482.214 (282.247.41)

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ ВОЛГИ

Э.И.Бесчетнова

Как известно, минерализация речных вод находится в определенной зависимости от расходов воды. Связь между минерализацией ($\Sigma_{\text{и}}$, мг/л) и расходом воды (Q , тыс.м³/сек.) выражается функцией $\Sigma_{\text{и}} = f(Q)$. Мы попытались определить эту зависимость для устьевой области Волги (район Астрахани) в условиях до (1937-1959 гг.) и после (1960-1969 гг.) зарегулирования стока Волги у Волгограда. Оказалось, что раньше связь расходов воды и минерализация графически выражались кривой гиперболического типа; в новых условиях линейная зависимость $\Sigma_{\text{и}} = f(Q)$ полностью нарушилась (рис.1).

Рис.1. Связь минерализации $\Sigma_{\text{и}}$ с расходами волжской воды Q в районе Астрахани до (а) и после (б) зарегулирования речного стока



До зарегулирования речного стока максимальная минерализация (402–496 мг/л) отмечалась зимой. В весеннее половодье высокоминерализованные речные воды разбавлялись маломинерализованными снеговыми водами, и годовой минимум минерализации (180–200 мг/л) наблюдался спустя 10–15 дней после пика половодья (середина июня). В течение лета и осени минерализация постепенно повышалась до 280–390 мг/л (рис.2, табл.1).

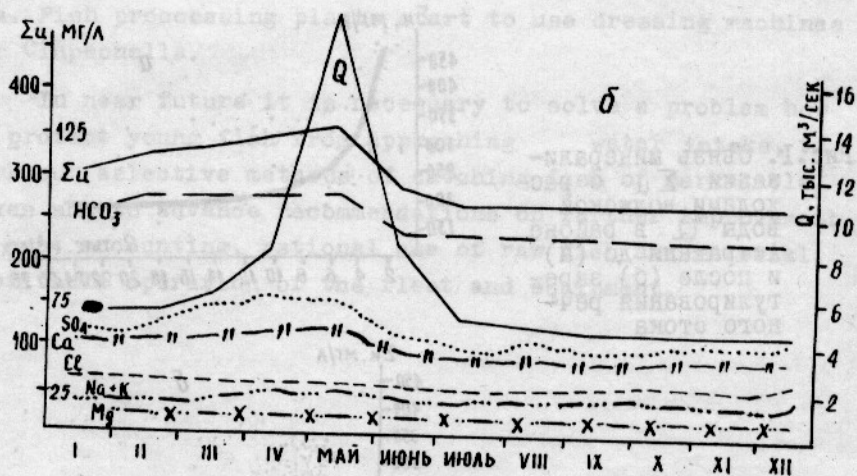
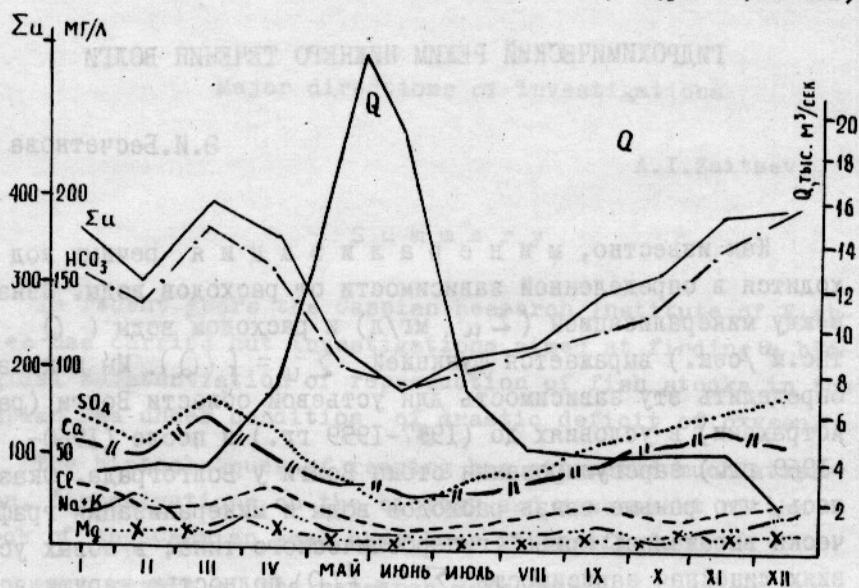


Рис.2. Годовая динамика ионного состава волжской воды, ее минерализации и расходов в районе Астрахани до (а) и после (б) зарегулирования речного стока

Таблица I

Ионный состав и минерализация нижеволжской воды
до зарегулирования речного стока

Месяц	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\Sigma_{\text{и}}$
Январь	<u>33,1</u>	<u>77,1</u>	<u>166,2</u>	<u>66,2</u>	<u>14,0</u>	<u>19,9</u>	376,5
	8,9	15,2	25,5	32,4	10,9	7,9	
Февраль	<u>25,8</u>	<u>65,8</u>	<u>142,0</u>	<u>56,7</u>	<u>11,4</u>	<u>27,5</u>	318,4
	8,4	15,0	26,5	32,9	11,0	6,1	
М а р т	<u>26,4</u>	<u>86,0</u>	<u>186,6</u>	<u>77,6</u>	<u>16,0</u>	<u>10,0</u>	402,9
	7,4	15,3	27,3	34,9	11,7	3,4	
Апрель	<u>32,4</u>	<u>71,4</u>	<u>163,3</u>	<u>61,5</u>	<u>13,2</u>	<u>24,0</u>	367,0
	9,7	14,8	25,5	30,9	11,5	7,6	
М а й	<u>18,6</u>	<u>41,8</u>	<u>110,8</u>	<u>43,0</u>	<u>7,7</u>	<u>10,4</u>	238,0
	8,7	13,2	28,1	34,1	10,0	5,9	
И ю н ь	<u>11,3</u>	<u>28,1</u>	<u>95,6</u>	<u>33,0</u>	<u>6,5</u>	<u>9,1</u>	181,1
	8,8	13,5	27,3	31,6	9,9	8,5	
И ю л ь	<u>14,8</u>	<u>40,1</u>	<u>106,9</u>	<u>39,3</u>	<u>6,8</u>	<u>9,7</u>	220,1
	5,9	14,3	29,8	35,5	12,1	2,4	
Август	<u>17,4</u>	<u>43,2</u>	<u>119,0</u>	<u>45,0</u>	<u>8,1</u>	<u>10,9</u>	243,8
	5,5	16,3	28,2	38,2	10,2	1,6	
Сентябрь	<u>26,4</u>	<u>64,2</u>	<u>127,3</u>	<u>55,6</u>	<u>9,0</u>	<u>15,8</u>	298,6
	9,4	15,6	25,0	32,3	8,5	8,2	
Октябрь	<u>20,9</u>	<u>74,1</u>	<u>146,1</u>	<u>66,7</u>	<u>11,5</u>	<u>6,1</u>	325,1
	6,3	16,4	27,3	36,0	10,2	3,8	
Ноябрь	<u>23,8</u>	<u>87,1</u>	<u>178,0</u>	<u>72,0</u>	<u>12,7</u>	<u>14,7</u>	388,3
	6,4	16,5	27,1	35,2	9,7	5,1	
Декабрь	<u>29,8</u>	<u>90,0</u>	<u>169,1</u>	<u>68,7</u>	<u>15,4</u>	<u>18,0</u>	391,0
	7,4	18,4	24,2	31,2	10,3	8,5	

Примечание. Здесь и в табл.2 в дробях: числитель - содержание ионов в мг/л; знаменатель - в % экв.

После зарегулирования стока реки амплитуда внутригодовых колебаний общей минерализации значительно сократилась (270-360 мг/л), максимум минерализации (370-390 мг/л) стал

приходиться на период наибольших расходов воды, минимум - на первую половину июля (через полтора месяца после пика половодья). В период летне-осенней межени и в начале зимы колебания величины минерализации незначительны - 270-279 мг/л (см.рис.2, табл.2).

Таблица 2

Ионный состав и минерализация нижеволжской воды после зарегулирования речного стока

Месяц	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	Σu
Январь	<u>33,7</u>	<u>62,4</u>	<u>126,8</u>	<u>53,6</u>	<u>11,3</u>	<u>18,0</u>	305,9
	10,2	15,1	24,7	30,8	16,7	2,5	
Февраль	<u>34,5</u>	<u>66,5</u>	<u>139,6</u>	<u>58,6</u>	<u>12,6</u>	<u>15,6</u>	324,5
	10,8	12,9	26,3	35,1	5,4	9,5	
М а р т	<u>31,6</u>	<u>71,1</u>	<u>139,6</u>	<u>58,2</u>	<u>13,1</u>	<u>16,9</u>	330,9
	10,0	13,5	26,6	35,4	5,3	9,2	
Апрель	<u>30,3</u>	<u>81,5</u>	<u>142,7</u>	<u>60,3</u>	<u>12,8</u>	<u>28,8</u>	348,4
	6,5	15,4	28,2	36,4	7,7	5,8	
М а й	<u>31,8</u>	<u>82,9</u>	<u>146,4</u>	<u>62,2</u>	<u>9,8</u>	<u>26,6</u>	360,0
	8,4	18,7	22,9	34,1	10,9	5,0	
И ю н ь	<u>29,4</u>	<u>59,9</u>	<u>118,3</u>	<u>48,4</u>	<u>9,7</u>	<u>19,8</u>	285,8
	11,8	16,9	21,3	35,3	12,4	2,3	
И ю л ь	<u>28,0</u>	<u>51,6</u>	<u>118,6</u>	<u>45,7</u>	<u>7,6</u>	<u>21,8</u>	273,5
	10,1	14,5	25,5	24,5	7,7	17,7	
Август	<u>29,2</u>	<u>55,3</u>	<u>111,1</u>	<u>45,1</u>	<u>8,1</u>	<u>22,0</u>	270,9
	7,3	20,6	22,1	27,3	9,1	13,6	
Сентябрь	<u>32,9</u>	<u>51,4</u>	<u>113,9</u>	<u>42,0</u>	<u>8,9</u>	<u>25,2</u>	274,0
	11,9	14,4	23,7	23,7	11,4	14,9	
Октябрь	<u>32,3</u>	<u>53,6</u>	<u>109,7</u>	<u>42,2</u>	<u>10,0</u>	<u>23,3</u>	271,4
	11,1	13,0	25,9	35,6	12,2	2,2	
Ноябрь	<u>31,1</u>	<u>55,1</u>	<u>116,7</u>	<u>44,6</u>	<u>9,7</u>	<u>21,4</u>	279,4
	12,6	14,5	22,9	30,2	14,4	5,4	
Декабрь	<u>30,6</u>	<u>57,6</u>	<u>113,5</u>	<u>45,3</u>	<u>10,3</u>	<u>20,1</u>	277,4
	11,7	13,6	24,7	30,8	13,9	5,3	

Резкие внутригодовые нарушения в режиме минерализации нижеволжских вод в современных условиях, по-видимому, объясняются следующим. Зимой Куйбышевское и Волгоградское водохранилища заполнены в основном высокоминерализованной водой Волги и ее притоков. Весенняя маломинерализованная вода достигает нижнего бьефа Волгоградской ГЭС тогда, когда вытесняется вся осенне-зимняя. Поскольку объем воды в водохранилищах увеличивается, требуется больше времени для ее вытеснения (Зенин, 1964). Волна весеннего половодья через Куйбышевское водохранилище проходит за 14-16 суток, через Волгоградское - за 20 суток, от нижнего бьефа Волгоградской ГЭС до Астрахани - за 10-12 суток.

Отсюда следует, что годовой минимум минерализации в устьевой области Волги наступает только спустя 46-48 дней после пика половодья, в первой половине июня, т.е. почти на месяц позже, чем до зарегулирования стока реки (см. рис. 2). С начала летне-осенней межени до декабря в устьевую область Волги поступают маломинерализованные и однородные по составу воды. Средняя месячная минерализация с июля по декабрь практически остается постоянной (273-279 мг/л). В этот период из водохранилища сбрасывается накопленная весенняя вода. Таким образом, в результате зарегулирования стока Волги каскадом водохранилищ произошли резкие сезонные изменения в режиме минерализации речных вод устьевой области реки.

Изменение и о н н о г о с о с т а в а находится в обратной зависимости от внутригодовых изменений водного стока. До зарегулирования стока реки наибольшее содержание того или иного иона отмечалось зимой, а наименьшее - в конце весеннего половодья (см. табл. I, рис. 2).

После зарегулирования речного стока содержание хлор-иона заметно увеличилось, а внутригодовая амплитуда его колебаний уменьшилась с 22 до 6,5 мг/л (см. табл. 2). Повысились концентрации щелочных металлов ($\text{Na} + \text{K}$) в среднем с 14,7 до 21,6 мг/л и сократились их сезонные колебания. Концентрации сульфатных ионов и кальция несколько снизились, а межсезонные колебания их сократились соответственно с 61,9 до 31,5 и с 44,6 до 20,0 мг/л. Содержание HCO_3 в среднем осталось в прежних пределах. Одной из самых характерных особенностей в режиме ионов современных нижеволжских вод яв-

ляется уменьшение межсезонной амплитуды колебания их содержания и изменение времени, на которое приходится максимальная и минимальная концентрации.

Соотношение ионов сохранилось. Преобладающими анионами были и остались HCO_3^- - 23-29% экв, далее SO_4^{2-} - 13-14% экв., Cl^- - 8-10% экв. Из катионов на первом месте Ca^{2+} - 27-38% экв., затем Mg^{2+} - 9-10% экв, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ - 8-10% экв.

Следовательно, по классификации О.А.Алекина (1970), незарегулированный участок нижнего течения Волги по-прежнему относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

Создание каскада водохранилищ на Волге привело к резкому внутригодовому перераспределению водного стока, что в значительной степени отразилось и на выносе химических веществ в Каспийское море. Годовой ионный сток в море увеличился не за счет повышения минерализации речной воды, а за счет перераспределения водного стока. В период высокой минерализации водный сток увеличился почти вдвое (табл.3); в весеннее половодье (май-июнь), несмотря на сокращение водного стока, речная вода имеет максимальную годовую минерализацию. В результате годовой ионный сток в море повысился с 64 до 72 тыс.т.

Таблица 3

Ионный сток Волги в районе Астрахани

Месяц	До зарегулирования			После зарегулирования		
	Σu , мг/л	сток, км ³	вынос, тыс.т	Σu , мг/л	сток, км ³	вынос, тыс.т
Январь	376,5	9,1	3426	305,9	15,2	4649
Февраль	318,4	8,7	2770	324,5	14,5	4705
Март	402,9	9,4	3787	330,9	16,2	5360
Апрель	367,0	19,9	7303	348,4	22,7	7908
М а й	238,0	62,4	14851	360,0	55,7	20052
И ю н ь	181,1	50,4	9127	285,8	23,0	6573
И ю л ь	220,1	19,4	4269	273,5	14,8	4047
Август	243,8	13,1	3193	270,9	14,0	3792
Сентябрь	298,6	10,9	3254	274,0	12,9	3534
Октябрь	325,1	12,6	4096	271,4	13,3	3609
Ноябрь	388,3	13,1	5086	279,4	13,0	3632
Декабрь	391,0	6,7	2619	277,4	13,8	3828

Из данных табл.3 следует, что среднегодовой вынос до зарегулирования речного стока составлял 63781 тыс.т, а после зарегулирования - 71689 тыс.т.

В кислородном режиме нижеволжских вод до зарегулирования стока реки наблюдались обычные для многих равнинных рек сезонные изменения (табл.4, рис.3). В течение года содержание кислорода колебалось в широких пределах (6,3-14,3 мг/л, или 43-115% насыщения). Минимум в содержании и насыщении кислородом наступал обычно в конце зимы (6-7 мг/л, или 44-54% насыщения). В начале весны происходило резкое увеличение концентрации кислорода (до 10-12 мг/л, или 86-92% насыщения) с последующим понижением летом (до 7-9 мг/л, или 84-101% насыщения). Максимум в содержании растворенного кислорода наблюдался, как правило, поздней осенью (14,2 мг/л), а в насыщении - летом (109%). Такая закономерность в кислородном режиме отмечалась многими исследователями (Балталон, 1913; Федосов, 1950 и др.). Изменения, происшедшие в гидрологическом режиме Волги после зарегулирования ее стока у Волгограда, в значительной мере отразились и на газовом режиме незарегулированного участка реки. Повышенные расходы воды зимой создают неустойчивый ледяной покров на участке ниже плотины Волгоградской ГЭС, что способствует улучшению аэрации нижеволжских вод. Поэтому максимальные годовые концентрации растворенного кислорода (12-13 мг/л) стали приходиться на это время года.

К концу зимы содержание кислорода снижается до 10-11 мг/л, но это снижение значительно меньше, чем до зарегулирования стока. Насыщение воды кислородом зимой минимально, но процент насыщения почти вдвое больше, чем до зарегулирования (85-88% против 42-44%). В результате высокого содержания растворенного кислорода в зимние месяцы его концентрация с разрушением ледяного покрова возрастает не так резко, как раньше. Больше того, иногда весной она бывает теперь даже несколько ниже, чем зимой. Кислородный режим летом и осенью практически не изменился (летнее содержание кислорода увеличилось всего на 1-1,5 мг/л). В современных условиях летом отмечается годовой минимум как в содержании кислорода (9,1-9,2 мг/л), так и в насыщении (101-107%).

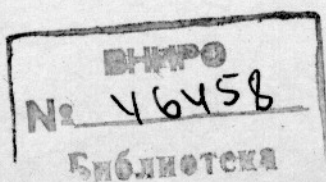


Таблица 4

Содержание растворенного кислорода в нижеволжской воде (в мг/л и % насыщения)

Месяц	1935-1938 гг.		1954-1958 гг.		1959-1969 гг.	
	мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%
Январь	12,53	85,9	12,29	83,6	13,62	93,9
Февраль	11,34	77,9	9,38	73,7	13,08	88,7
М а р т	10,68	73,0	7,69	52,7	12,90	85,0
Апрель	12,61	92,6	11,02	86,2	12,33	94,9
М а й	9,32	82,7	10,75	95,0	11,99	101,0
И ю н ь	7,97	79,8	8,99	94,0	10,79	104,0
И ю л ь	7,19	84,0	8,46	93,2	9,19	107,0
Август	7,67	86,3	9,19	101,6	9,29	104,0
Сентябрь	8,52	89,0	10,85	109,5	10,04	103,0
Октябрь	10,00	93,6	11,61	102,2	11,37	102,0
Ноябрь	11,81	92,5	12,62	99,0	12,25	95,0
Декабрь	14,12	97,4	11,07	94,5	13,83	96,0

До зарегулирования стока Волги наибольшее содержание у г л е к и с л о т ы в нижеволжской воде (10-14 мг/л) приходилось на зимние месяцы. Максимум наступал обычно в конце зимы, перед вскрытием льда, и составлял, как правило, 14-17 мг/л, а после суровых зим повышался до 19-21 мг/л (март 1942 и 1943 г.). На протяжении вегетационного периода по мере развития водной растительности содержание углекислоты снижалось до 4-6 мг/л и к концу лета достигало минимальных величин - 2,3-2,5 мг/л. Осенью процессы фотосинтеза замедлялись и содержание свободной углекислоты постепенно увеличивалось до 3-4 мг/л (см. рис.3).

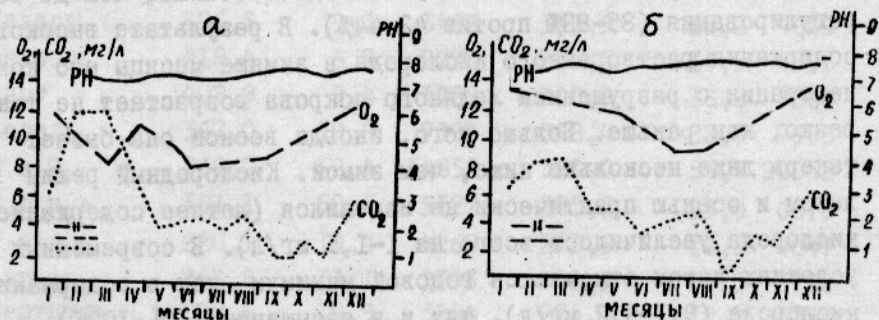


Рис.3. Годовая динамика показателя pH и содержания O_2 и CO_2 в волжской воде в районе Астрахани до (а) и после (б) зарегулирования речного стока

После зарегулирования стока реки значительно уменьшился зимний максимум в содержании углекислоты (до 6-8 мг/л), что связано, по-видимому, с особенностями ледового и кислородного режимов реки. В другие сезоны года в режиме углекислоты нижнего течения Волги заметных изменений не произошло. К концу лета содержание углекислоты также снижается до минимума (3-4 мг/л), а в течение осени постепенно повышается.

В е л и ч и н ы рН в нижнем течении до зарегулирования ее стока колебались от 7,4 зимой до 8,2 летом (см. рис.3). После зарегулирования речного стока в связи с увеличением содержания растворенного в воде кислорода, резким снижением концентраций углекислоты и повышением минерализации речных вод показатель рН зимой держится в пределах 7,6-7,8. С началом весенних попусков воды из водохранилища на Нижней Волге величина рН снижается до 7,4. Таким образом, минимальные значения рН сместились с зимы на начало весны. Максимальная величина рН (8,01), как и раньше, приходится на конец лета (август).

В ы в о д ы

1. До зарегулирования стока Волги в нижнем ее течении наблюдалась определенная сезонная закономерность в режиме минерализации нижеволжской воды. Во все сезоны года достаточно четко прослеживалась зависимость минерализации от расходов воды $\sum_{\text{и}} = f(Q)$. Максимальная минерализация (376-402 мг/л) отмечалась зимой, в период минимальных расходов воды (2,5-3 тыс. м³/сек.). Минимум минерализации (181 мг/л) наступал через 10-15 дней после пика половодья. От лета к зиме шло постепенное ее нарастание (220-388 мг/л).

2. Зарегулирование Волги у Волгограда привело к существенному перераспределению водного стока и нарушению зависимости $\sum_{\text{и}} = f(Q)$. В первую половину года (январь-июнь) в нижнюю Волгу сбрасываются высокоминерализованные воды (360-285 мг/л), с июля по декабрь - маломинерализованные (271-279 мг/л). Максимальная минерализация (360-380 мг/л) отмечается в период наибольших расходов воды (20-25 тыс. м³/сек). Минимум минерализации наблюдается через полтора месяца после пика половодья.

3. В современных условиях уменьшились годовая амплитуда колебаний содержания ионов, изменились сроки их максимальной и минимальной концентрации. Максимальное содержание ионов Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ стало приходится на период весеннего половодья, минимальное - на период летней межени.

4. В газовом режиме основные изменения произошли зимой. За счет повышенных попусков воды в это время года создались условия для улучшения аэрации нижеволжских вод: содержание кислорода повысилось с 7-12 мг/л до 12-13 мг/л, а концентрация углекислоты, наоборот, снизилась с 10-14 мг/л до 6-8 мг/л. Показатель рН увеличился с 7,5 до 7,8.

Список использованной литературы

- Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеиздат, 1970, 441 с.
- Баталон Ю.Ц. Очерк речного режима и гидрологические наблюдения в устьях Волги. - "Труды Ихтиологической лаборатории управления Каспийско-Волжских рыбных и тюленых промыслов", 1913, т.2, вып.2, с.134-199.
- Зенин А.А. Гидрохимия волжских водохранилищ. Л., Гидрометеиздат, 1964, 237 с.
- Федосов М.В. Особенности гидрохимического режима в низовьях Волги. - "Труды ГОИИ", 1950, вып.15 (27), с.30-35.

Hydrochemical regime of the Volga down stream

E.I. Beschetnova

Summary

The regulation of the Volga at Volgograd has brought about a noticeable re-distribution of the runoff and a change in the mineralization regime. Prior to the dam was built the maximum mineralization rate had been observed in the period of minimum water discharge, whereas now it is associated with its maximum. The ionic composition of water in the Volga has changed and the annual range of fluctuations in the ionic content has become more narrow. Changes in the gas regime are referred, on the main, to winter when owing to flushes of water and better aeration the oxygen content increases, pH becomes higher and the CO₂ content decreases.