

УДК 551.510 + 556.114.2 + 551.588.9

**О СТОКЕ  $\text{CO}_2$  В ПОВЕРХНОСТНЫЕ  
ВОДНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ КАЗАХСТАНА**

Канд. физ. мат. наук О. Е. Семёнов

Приводятся результаты расчетов стока  $\text{CO}_2$  в поверхностные водные резервуары Казахстана. Сток углекислого газа в основном происходит в крупные внутренние водоёмы: 99,2 % - Каспийское море, 0,44 % - в Арал. На долю остальных ёмкостей воды (озёр, водохранилищ, водотоков рек) приходится менее 0,4 %. Сток  $\text{CO}_2$  в водные резервуары имеет годовой ход, максимум которого находится в противофазе со стоком газа в биомассу. Величина стока  $\text{CO}_2$  во внутренние водоёмы Казахстана составляет очень малую долю от его эмиссии - всего 0,04 %.

Вследствие сжигания углерода содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере постоянно увеличивается. За последние 125 лет оно возросло на 18 % и составляло на конец 1983 года  $(343 \pm 0,2)$  млн<sup>-1</sup>. Удвоение концентрации двуокси углерода ожидается в течение ближайших нескольких десятилетий, что, по мнению большинства ученых, занимающихся этой проблемой, должно дестабилизировать современный климат Земли и привести к росту средней глобальной температуры планеты примерно на 3° К к концу ХХП века. В высоких широтах земного шара изменение средней температуры будет еще большим. Такое значительное изменение климата Земли за короткий исторический период времени окажет существенное влияние на жизнь человеческого общества. Часть территории суши из-за подъема уровня воды в океанах окажется под водой, в ряде регионов планеты климат улучшится, в других станет более жестким [3-6, 8].

Возросшая опасность катастрофических последствий изменения климата на судьбы сотен милли-

онов людей послужила толчком к исследованию проблемы  $\text{CO}_2$  и других парниковых газов. На современном этапе развития общества человечество пока не может отказаться от сжигания углерода, который является основным источником энергии. Поэтому, наряду с задачами по поиску альтернативных чистых источников энергии и сокращению сжигания углерода, необходимо иметь и возможно более точные сценарии изменения климата для различных уровней содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Для этого требуется не только создание совершенных моделей изменения климата, но и более достоверная и обширная информация по всему углеродному циклу, включающая как источники эмиссии  $\text{CO}_2$ , так и стоки ее в водные резервуары и биоту планеты, динамику их взаимодействия во времени.

Инвентаризация источников и стоков парниковых газов в нашей Республике начата в 1994 году по совместному Американско-Казахстанскому проекту, являющегося частью обширной международной программы исследований [19]. В этой статье предпринята попытка оценить объемы стока двуокиси углерода в поверхностные водные резервуары Казахстана. Ими являются два крупнейших внутренних моря-озера Каспийское и Аральское, другие озера и водохранилища на территории Республики и массы текущей воды в руслах рек.

Информация по запасам воды в морях, озерах и водохранилищах Казахстана имеется в справочной литературе [9,10,14,15]. К сожалению, она издана в 70-х годах и, очевидно, уже не точно описывает реальную современную гидрологическую обстановку на этих водоемах. Особенно это справедливо для двух крупнейших резервуаров воды - Каспийского и Аральского морей. Уровень Каспия в последние десятилетия существенно повысился, в это же время зеркало воды в Аральском море понизилось уже более чем на 15 метров. Поэтому данные по этим двум водоемам далее использовались с учетом произошедших изменений по состоянию на 1989 год. Уточнение по Каспийскому морю выполнено В.В.Голубцовым и любезно предоставлено им для нашей работы [13].

Площадь Каспия в 1989 году возросла до

383172 км<sup>2</sup>, объем воды достиг 78319 км<sup>3</sup>, соленость по акватории моря изменялась в интервале 0,2-10 ‰.

Таблица 1

Водные ресурсы основных рек Республики Казахстан  
(по В.А.Семенову и Г.Л.Шимкевич [11])

Наименование рек	Длина, км		Сток, млн. м <sup>3</sup>	
	общая	в пределах Казахстана	средний много-летний	обеспеченность 97%
Иртыш	4331	1700	27752	17 36
Ишим	2450	1400	1930	98
Сырдарья	2219	1400	22999	12537
Урал	2534	1082	10093	1403
Или	1384	815	14616	10584
Нура	978	978	473	19
Тургай	827	827	268	0
Тобол	1674	800	914	101
Чу	1186	800	2426	1597
Сарысу	800	800	85	0
Уил	800	800	360	12
Эмба	712	712	488	14
Талас	661	661	1023	724
Иргиз	593	593	214	0
Сагиз	511	511	118	3
Шидерты	502	502	56	1
Аягуз	492	492	180	-
Лепсы	418	418	784	473
Селеты	407	407	170	6
Каратал	390	390	2101	1087
Арысь	378	378	1452	794
Аксу	305	305	359	274
Тентек	183	183	1457	-

Аральское море в начале 1989 года разделилось на два водоема - Большое море площадью 34880 км<sup>2</sup> и

Малое море площадью  $2650 \text{ км}^2$ . Объем водной массы снизился до  $344 \text{ км}^3$ , соленость достигала значений Мирового океана [12,16]. Оба моря не являются внутренними водоемами Казахстана, но делить их на части различных государств, очевидно, нецелесообразно, т.к. это только увеличит погрешности расчетов.

Кроме этих крупнейших водоемов в Казахстане расположено еще свыше 48 тысяч озер с общей площадью водной поверхности около  $45000 \text{ км}^2$ . Большинство из них (94 %) имеет площадь зеркала воды менее  $1 \text{ км}^2$ . Крупных озер с площадью водной поверхности свыше  $1 \text{ км}^2$  насчитывается 3014, из них 21 имеет размеры более  $100 \text{ км}^2$ . По территории Республики озера размещены крайне неравномерно. На севере Казахстана они образуют озерные области, в других регионах нередко отстоят друг от друга на несколько сот километров. Кроме озер имеется большое количество водохранилищ и прудов. Основные характеристики крупных озер и водохранилищ Казахстана представлены в прекрасных справочных работах П.П.Филонца и Т.Р.Омарова [14,15]. Запасы воды в этих озерах достигают  $178,597 \text{ км}^3$ , в искусственно созданных водохранилищах  $91,664 \text{ км}^3$ . Дополнительно были подсчитаны объемы воды остальных озер, площади которых превышают  $1 \text{ км}^2$ . В них находится  $7,334 \text{ км}^3$  воды, что составляет 4,1 % от водной массы крупных озер. Очевидно, что учет объемов воды в более мелких водоемах уже нецелесообразен, т.к. они незначительно влияют на общие запасы воды, аккумулированные озерами.

Казахстан принадлежит к странам с бедными водными ресурсами рек. В таблице 1 приведены параметры основных рек Республики [11,17]. Из них можно выделить лишь 3 реки, средней многолетний сток которых превышает  $10 \text{ км}^3$ : Иртыш, Урал и Или. Данные по четвертой реке - Сырдарье в таблице 1 к настоящему времени безнадежно устарели. Ее годовой сток в 80-х годах по измерениям в г.Казалинске изменялся от 0,6 до  $6,86 \text{ км}^3$ . Основная масса ее стока расходуется сейчас на орошение и учесть объем воды в русле представляется крайне сложной

задачей. Суммарный годовой сток остальных рек приведенных в таблице 1 равен, примерно, стоку р.Или.

В гидрологической литературе практически отсутствует информация об объемах воды, находящихся в руслах рек. Для рек Центрального Казахстана В.В.Голубцовым была выполнена оценка объемов воды, остающихся летом в плесах. Этот запас воды определен им величиной  $3 \cdot 10^7 \text{ м}^3$  [7]. В.С.Ясаковым рассчитывались объемы воды, аккумулированные в поймах р.Сырдарьи, озерах и руслах древней и современной дельты этой реки в период уровня высокой воды 1969 г, связанный с аварийным сбросом из Чардарьинского водохранилища. Эти объемы сравнивались им с наибольшими уровнями высоких вод, наблюдавшимися в 1934 году [18]. Для наших целей эти катастрофические оценки очевидно не пригодны.

Примерные объемы воды в руслах рек Иртыш, Урал и Или были рассчитаны по площади сечений водотоков и длинам русел на основе описаний гидропостов. Из подсчетов были исключены те участки рек, на которых расположены Капчагайское, Бухтарминское, Усть-Каменогорское водохранилища и озеро Зайсан. В таблице 2 приведены полученные оценки объемов воды в руслах этих рек в различные сезоны года.

Таблица 2

Объемы воды в руслах рек Иртыш, Или и Урал,  $\text{м}^3$

Река	Сезоны года			
	зима	весна	лето	осень
Иртыш	$8,70 \cdot 10^8$	$1,40 \cdot 10^9$	$8,10 \cdot 10^8$	$1,02 \cdot 10^9$
Или	$2,04 \cdot 10^8$	$2,51 \cdot 10^8$	$4,75 \cdot 10^8$	$2,97 \cdot 10^8$
Урал	$2,60 \cdot 10^8$	$7,10 \cdot 10^8$	$2,10 \cdot 10^8$	$2,10 \cdot 10^8$
Итого:	$13,34 \cdot 10^8$	$23,61 \cdot 10^8$	$14,95 \cdot 10^8$	$15,27 \cdot 10^8$

Вклад остальных рек, учитывая сопоставимость суммы годовых расходов со стоком р.Или, можно, по-видимому, грубо оценить величиной  $2 \cdot 10^8$  -

$5 \cdot 10^8 \text{ м}^3$ . Тогда суммарный объем воды в руслах рек Казахстана будет изменяться в интервале  $1,5 \cdot 10^9 - 2,9 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ , т.е. равен  $1,5-2,9 \text{ км}^3$ . Таким образом, можно считать, что в первом приближении получены объемы воды во всех крупных природных резервуарах Казахстана.

Наиболее изучен процесс растворения двуокиси углерода в водах Мирового океана, так как он является крупнейшим резервуаром ее стока из атмосферы [1,2,4,5,10]. Исследованиям стоку  $\text{CO}_2$  в пресноводные и слабominерализованные поверхностные резервуары воды уделялось значительно меньше внимания. Масса растворенной в воде  $\text{CO}_2$  зависит от температуры и минерализации воды. По закону Генри-Дальтона растворимость газа может быть рассчитана по формуле

$$C = K \frac{P}{1013,25}, \quad (1)$$

где  $C$  - растворимость газа в одном  $\text{дм}^3$  воды,  $\text{г} \cdot \text{дм}^{-3}$ ;  $K$  - коэффициент пропорциональности, равный растворимости газа при данной температуре и парциальном давлении  $1013,25 \text{ гПа}$  ( $1 \text{ атм}$ );  $P$  - парциальное давление газа в атмосфере.

Парциальное давление  $\text{CO}_2$  в атмосфере можно принять в среднем равным  $334 \cdot 10^{-3} \text{ гПа}$ , хотя оно и изменяется в небольших пределах как в пространстве, так и во времени [2,4]. После подстановки этой величины в формулу (1) получаем

$$C = 3,3 \cdot 10^{-4} K. \quad (2)$$

Зависимость растворимости  $\text{CO}_2$  при парциальном давлении  $1 \text{ атм}$  ( $K$ ) от температуры пресной воды представлена на рисунке. Она построена по опубликованным табличным данным о растворимости кислорода, двуокиси углерода и сероводорода в воде при давлении  $1 \text{ атм}$  ( $1013,25 \text{ гПа}$ ) [1]. Как хорошо видно на рисунке значение  $K$  очень сильно и нелинейно зависит от ее температуры. Растворимость газов зависит и от содержания солей в воде. Масса  $\text{CO}_2$ ,

которая растворяется в минерализованной воде, определяется ее щелочным резервом [1,2,4]. Информации для его учета при расчетах стока двуокиси углерода в поверхностные резервуары воды в Казахстане нет:--

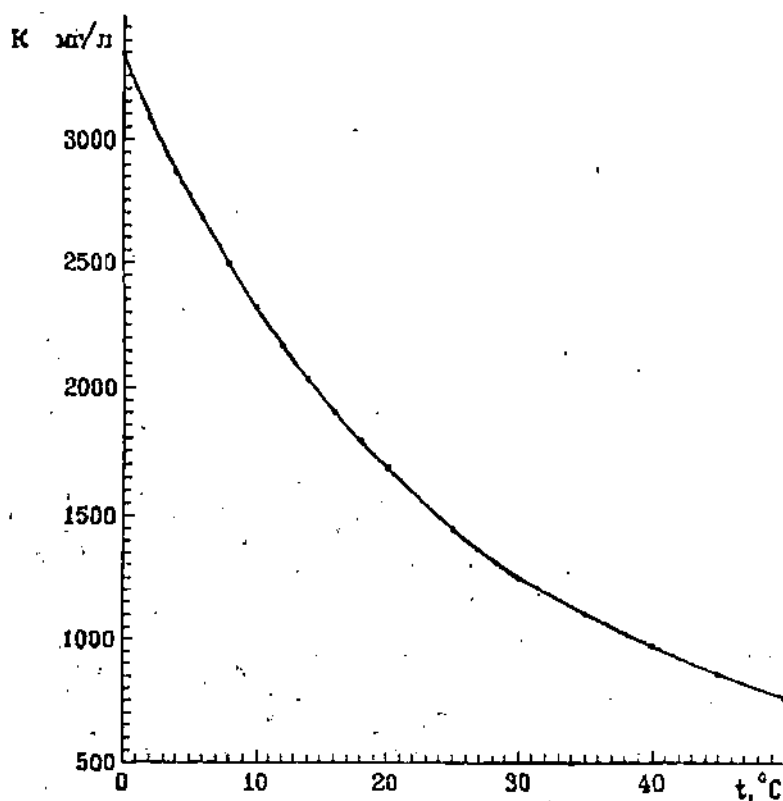


Рис. Зависимость растворимости  $CO_2$  (коэффициент  $K$ ) от температуры при парциальном давлении 1013,25 гПа

Поэтому при определении содержания  $CO_2$  в слабо минерализованных водах озёр при вычислении по формуле (2) получаются несколько завышенные результаты порядка нескольких процентов. В формулах (1) и (2) коэффициент  $K$  для соленых вод заменяется на коэффициент  $\alpha_s$ , данные о котором приведены в "Океанографических таблицах" [10].

Для сильно минерализованной воды Аральского моря, которая занимает по ионному составу проме-

Таблица 3

Оценка содержания двуокиси углерода в природных поверхностных водах  
Казахстана, г

Наименование резервуара воды	Объем воды, м <sup>3</sup>	Масса CO <sub>2</sub> в природных резервуарах воды при различной температуре, г			
		5 °С	10 °С	15 °С	20 °С
Каспийское море	78347 · 10 <sup>9</sup>	6,97 · 10 <sup>13</sup>	5,84 · 10 <sup>13</sup>	5,00 · 10 <sup>13</sup>	4,32 · 10 <sup>13</sup>
Аральское море	344 · 10 <sup>9</sup>	2,86 · 10 <sup>11</sup>	2,42 · 10 <sup>11</sup>	2,08 · 10 <sup>11</sup>	1,80 · 10 <sup>11</sup>
Крупнейшие озера	179 · 10 <sup>9</sup>	1,65 · 10 <sup>11</sup>	1,37 · 10 <sup>11</sup>	1,16 · 10 <sup>11</sup>	9,95 · 10 <sup>10</sup>
Озера с площадью зеркала > 1 км <sup>2</sup>	7,3 · 10 <sup>9</sup>	6,74 · 10 <sup>9</sup>	5,59 · 10 <sup>9</sup>	4,74 · 10 <sup>9</sup>	4,07 · 10 <sup>9</sup>
Водохранилища	91,7 · 10 <sup>9</sup>	8,47 · 10 <sup>10</sup>	7,01 · 10 <sup>10</sup>	5,95 · 10 <sup>10</sup>	5,11 · 10 <sup>10</sup>
Речные водотоки	2,9 · 10 <sup>9</sup>	2,68 · 10 <sup>9</sup>	2,22 · 10 <sup>9</sup>	1,88 · 10 <sup>9</sup>	1,62 · 10 <sup>9</sup>
Речные плесы	3,0 · 10 <sup>7</sup>	2,77 · 10 <sup>7</sup>	2,30 · 10 <sup>7</sup>	1,95 · 10 <sup>7</sup>	1,67 · 10 <sup>7</sup>
Итого:	78972 · 10 <sup>9</sup>	7,02 · 10 <sup>13</sup>	5,88 · 10 <sup>13</sup>	5,04 · 10 <sup>13</sup>	4,35 · 10 <sup>13</sup>
		70,2 Гг	58,8 Гг	50,4 Гг	43,5 Гг



жуточное положение между типично морскими и водами суши, экспериментальных исследований по растворению в ней  $\text{CO}_2$  также нет. Поэтому применение к воде Арала стандартных методов расчета растворенной  $\text{CO}_2$  для типичной морской воды также может приводить к небольшим погрешностям. Расчеты количества растворенной  $\text{CO}_2$  в Аральской воде были выполнены с привлечением данных "Океанографических таблиц". Содержание ионов хлора в Аральской воде для современной её солёности в  $35 \text{ }^{\circ}/_{00}$  было получено путём экстраполяции, так как ионный состав стока рек Сырдарьи и Амударьи мало меняющаяся во времени величина. При сумме ионов и катионов, равной  $8,787 \text{ г/кг}$ , содержание ионов хлора в воде Арала достигало  $3,009 \text{ г/кг}$  [10], поэтому для современной минерализации содержание ионов хлора было принято равным  $12 \text{ г/кг}$ . Масса растворённой  $\text{CO}_2$  в Каспийском море была рассчитана для уровня содержания ионов хлора  $5,3 \text{ г/л}$  [10]. Полученные объёмы стока  $\text{CO}_2$  в поверхностные водные резервуары Казахстана для различных температур приведены в таблице 3.

В зависимости от изменений температуры в течение года общий объём  $\text{CO}_2$  в поверхностных водах Казахстана меняется от  $70,2 \text{ Гг}$  до  $43,5 \text{ Гг}$ . Из-за большей растворимости  $\text{CO}_2$  при низких температурах водоемы максимально поглощают газ зимой и весной в период половодья, когда биомасса еще активно не участвует в процессах фотосинтеза и практически не является стоком для углекислого газа. В летний период при повышении температуры уменьшается объём воды и масса  $\text{CO}_2$  в природных резервуарах, что приводит к частичной эмиссии ранее поглощенной двуокиси углерода порядка  $26,7 \text{ Гг}$ . Это дополнительная выделенная масса  $\text{CO}_2$  включается в процесс фотосинтеза, наиболее интенсивно идущие как раз в этот период года. Таким образом часть растворенной весной и зимой углекислоты летом утилизируется биомассой. Поэтому в дальнейшем при построении региональных моделей для Центральной Азии необходимо создание моделей, учитывающих динамику растворения  $\text{CO}_2$  в воде, ее взаимодействие с карбонатами, биотой.

Выполненные оценки массы растворенной  $\text{CO}_2$  в природных поверхностных резервуарах воды в Казахстане еще раз подтвердили, что сток газа в основном происходит в крупные водоемы : 99,2 % - в Каспийское море и 0,44 % - в Аральское море. На долю остальных емкостей воды приходится менее 0,4 %. И этот вывод справедлив для всей Центральной Азии. Сравнение полученных значений величины стока  $\text{CO}_2$  с её годовой эмиссией в Казахстане, которая равна 193427 тыс.т ( $\Gamma_T$ ). [19], показывает на очень скромную роль поверхностных вод региона Центральной Азии в утилизацию этого парникового газа. Сток  $\text{CO}_2$  в водные резервуары не превышает 0,04 % от её годовой эмиссии в Казахстане.

В заключении выражаю глубокую благодарность своим коллегам-гидрологам В.В.Голубцову, В.П.Поповой и И.И.Скоцелясу за полезные консультации при выполнении этой работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии.-Л.: Гидрометеоздат, 1970.- 444 с.
2. Алекин О.А., Ляхин Ю.И. Химия океана.- Л.: Гидрометеоздат, 1986.- 239 с.
3. Будыко М.И., Ефимова Н.А. Влияние углекислого газа на климат // Метеорология и гидрология.- 1981.- N 2.- С.5-17.
4. Бютнер Э.К. Планетарный газообмен.-Л.: Гидрометеоздат, 1986.- 239 с.
5. Взаимодействие океана и атмосферы/ Под ред. Б.А.Когана, Н.П.Смирнова.-Л.: Гидрометеоздат, 1989.- 200 с.
6. Голицын Г.С. Изменения климата в XX и XXI столетиях: Обзор // Изв.АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана.- 1986.- Т.22,- N 12.- С. 1235-1249.
7. Голубцов В.В. Плесы и русловая аккумуляция // Тр. КазНИГМИ.- 1963.- Вып.18 - С. 42-48.
8. Непреднамеренные воздействия на климат / Под ред. М.И.Будыко, Г.К.Тараканова.-Л.: Гидрометеоздат, 1974.- 260 с.

9. Никитин А.М. Озера Средней Азии.-Л.: Гидрометеоиздат, 1987.- 106 с.
- 10.Океанографические таблицы.- Л.: Гидрометеоиздат,1975.- 477 с.
- 11.Семенов В.А., Шимкевич Г.Л. Реки // Казахстан.- М., Наука, 1969.- С. 133-154.
- 12.Семенов О.Е., Чайкина А.П., Чичасов Г.Н. О современном состоянии экосистемы Аральского моря и окружающих его территорий // Гидрометеорология и экология.- 1985.- № 1.- С. 131-141.
- 13.Сыдыков Ж.С., Голубцов В.В., Куандыков Б.М. Каспийское море и его прибрежная зона.- Алматы: Изд-во "Өлке", 1995.-211 с.
- 14.Филонец П.П., Омаров Т.Р. Озера Центрального и Южного Казахстана (Справочник).- Алма-Ата: Наука, 1973.- 198 с.
- 15.Филонец П.П., Омаров Т.Р. Озера Северного, Западного и Восточного Казахстана (Справочник).- Л.: Гидрометеоиздат, 1974.- 138 с.
- 16.Чистяева С.П. Гидрометеорологическая характеристика Аральского моря // Гидрометеорологические проблемы Приаралья.- Л.: Гидрометеоиздат, 1990.- С. 14-53.
- 17.Шульц В.Л. Реки Средней Азии.- Л.: Гидрометеоиздат, 1965.- 691 с.
- 18.Ясаков В.С. Аккумуляция воды в гидрографической сети древней дельты р.Сырдарья// Тр.ГГИ.- 1986.-Вып.293.- С. 116-125.
- 19.Inventory of Kazakstan Grinhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 / E.Monocrovich, D.Danchuk, O.Pilifosova et al. - Greenhouse Gas Emission Inventories, V.9 // Ed.by B.Braatz et al. - Dordrecht, Boston, London : Kluwer Academic Publisschers. Netherlands, 1996. - P.289-298.

Казахский научно-исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

## ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЖЕР БЕТІ СУ ҚОЙМАСЫНА CO<sub>2</sub>-НІҢ АҒЫНЫ ТУРАЛЫ

Физ.-мат. ғ. канд. О.Е.Семенов

Қазақстанның жер беті су қоймасына CO<sub>2</sub> ағынының есептік нәтижесі келтірілген. CO<sub>2</sub> ағыны негізінде ірі ішкі су тоғандарына түседі: 99,2%- Каспий теңізіне, 0,44%- Аралға. Қалған су қоймаларына (көл, су қоймасы, өзен су сағалары) 0,4%- тен азырақ үлес тиеді. Су қоймасына түсетін CO<sub>2</sub> ағынының жылдық жүрісі бар, оның ең көп бағыты биосалмаққа түсетін газ ағынына қарсы кезеңінде болады. Қазақстанның ішкі су тоғандарына түсетін CO<sub>2</sub> ағынының мөлшері оның эмиссиясының өте аз бөлігін құрайды- болғаны 0,44% ғана.