

551.5

с-75

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

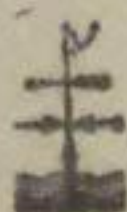
---

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

*ТРУДЫ*

*ВЫПУСК 2(83)*

# ОЗЕРА И ВОДОХРАНИЛИЩА СРЕДНЕЙ АЗИИ



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ  
ЛЕНИНГРАД • 1975

75  
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

---

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ТРУДЫ

ВЫПУСК 2 (83)

# ОЗЕРА И ВОДОХРАНИЛИЩА СРЕДНЕЙ АЗИИ

Под редакцией  
канд. геогр. наук Ю. Н. ИВАНОВА  
и канд. геогр. наук А. М. НИКИТИНА



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ  
ЛЕНИНГРАД • 1975



Рассматриваются вопросы региональной лимнологии Средней Азии, в частности проблемы водного и солевого баланса, заиления и транспорта наносов водохранилищ. Приводятся сведения по гидрографии, гидрохимии и гидрофизике озер и водохранилищ. Рассмотрены вопросы динамики дельты р. Амударьи.

Рассчитан на гидрологов, гидрохимиков и гидротехников.



В. А. НИКОЛАЕНКО

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ НЕКОТОРЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ УЗБЕКИСТАНА

Сооружаемые в Узбекистане водохранилища используются для целей энергетики, ирригации, хозяйственно-питьевого водоснабжения и в других народнохозяйственных целях, поэтому изучение химического состава воды этих водохранилищ необходимо для решения ряда важных вопросов.

Учитывая, что химический состав воды водохранилищ Узбекистана, расположенных в аридной зоне, претерпевает наибольшие изменения в летний период, автором были проведены гидрохимические обследования восьми водохранилищ Узбекистана в конце мая, июне, июле и августе 1969 и 1970 гг. (табл. 1).

Анализы воды проводились по общепринятой в гидрохимии методике [2, 5, 6]. Для характеристики воды по ионному составу

Таблица 1  
Перечень обследованных водохранилищ Узбекистана

| Водохранилище             | Тип водохранилища | Максимальный объем, млн. м <sup>3</sup> | Объем воды во время обследования, млн. м <sup>3</sup> |
|---------------------------|-------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Джизакское . . . . .      | Наливное          | 90                                      | 30                                                    |
| Каттакурганское . . . . . | "                 | 900                                     | 800                                                   |
| Куюмазарское . . . . .    | "                 | 350                                     | 300                                                   |
| Тудакульское . . . . .    | "                 | 1000                                    | 900                                                   |
| Пачкамарское . . . . .    | Русловое          | 280                                     | 200                                                   |
| Чимкурганское . . . . .   | "                 | 500                                     | 370                                                   |
| Южносурханское . . . . .  | "                 | 800                                     | 660                                                   |
| Учкызылское . . . . .     | Наливное          | 160                                     | 130                                                   |



## Пределы колебаний температуры воздуха и воды в летний период 1969—1970 гг.

| Водохранилище             | Температура воздуха, °С | Глубина измерения, м | Температура воды, °С |
|---------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Джизакское . . . . .      | 28,5—30,5               | 0,2                  | 27,2—28,0            |
|                           |                         | 13,0                 | 21,2—21,5            |
| Каттакурганское . . . . . | 28,0—30,5               | 0,2                  | 23,0—26,0            |
|                           |                         | 14,0                 | 20,0—21,0            |
|                           |                         | 15,0                 | 18,0—20,0            |
|                           |                         | 18,0                 | 16,7—19,8            |
| Куюмазарское . . . . .    | 27,0—35,0               | 0,2                  | 24,0—29,0            |
|                           |                         | 5,0                  | 24,0—24,4            |
|                           |                         | 12,0                 | 24,0—24,2            |
|                           |                         | 31,0                 | 13,7—14,7            |
| Тудакульское . . . . .    | 27,0—31,5               | 0,2                  | 25,0—27,0            |
|                           |                         | 9,0                  | 25,0—25,2            |
| Пачкамарское . . . . .    | 26,5—30,5               | 0,2                  | 24,0—25,0            |
|                           |                         | 27,0                 | 17,0—17,4            |
|                           |                         | 44,0                 | 16,0—16,2            |
| Чимкурганское . . . . .   | 27,0—30,0               | 0,2                  | 25,0—28,5            |
|                           |                         | 7,5                  | 24,0—28,0            |
|                           |                         | 19,0                 | 23,0—26,0            |
|                           |                         | 28,0                 | 20,0—23,6            |
| Южносурханское . . . . .  | 29,0—35,5               | 0,2                  | 27,2—29,2            |
|                           |                         | 5,0                  | 26,5—27,0            |
|                           |                         | 15,0                 | 24,6—24,9            |
|                           |                         | 19,5                 | 23,7—23,9            |
| Учкызылское . . . . .     | 32,0—35,5               | 0,2                  | 25,5—28,6            |
|                           |                         | 6,0                  | 24,9                 |
|                           |                         | 10,0                 | 24,6                 |
|                           |                         | 23,0                 | 19,1                 |
|                           |                         | 33,0                 | 16,3                 |

была принята классификация О. А. Алекина [1], основанная на делении вод по преобладающим ионам и по соотношению между ними. Для химико-географической характеристики воды мы применили предложенное Г. А. Максимовичем понятие о гидрохимической фации [4].



Температура. Вода водохранилищ Узбекистана хорошо прогревается на значительные глубины (табл. 2). Температура донных слоев воды большинства водохранилищ обычно на  $-6,0^{\circ}$  ниже температуры воды у поверхности, и только на глубинах свыше 20,0 м эта разница увеличивается до  $7,0-10,0^{\circ}$ .

Таблица 3

Прозрачность воды (см) русловых водохранилищ в летний период 1969—1970 гг.

| Место измерения                  | Пачка-марское | Чим-куртанское | Южно-сурханское |
|----------------------------------|---------------|----------------|-----------------|
| Верховье водохранилища . . . . . | 90            | 70             | 50              |
| Центральная часть . . . . .      | 180           | 180            | 180             |
| Приплотинный участок . . . . .   | 250           | 220            | 200             |

Во всех водохранилищах наблюдалась прямая стратификация без заметного образования слоя температурного скачка.

Прозрачность. Прозрачность воды в русловых водохранилищах увеличивается от верховья к плотине по продольному профилю (табл. 3). Наливные водохранилища имеют большую прозрачность воды на центральных участках, а у берегов — меньшую.

В Тудакульском водохранилище прозрачность воды в различных пунктах изменялась от 80 до 125 см, в Каттакурганском — 70 до 320 см, в Куюмазарском — от 170 до 600 см и в Учкы-

Таблица 4

Пределы содержания свободной двуокиси углерода в воде водохранилищ в летний период 1969—1970 гг.

| Водохранилище             | Глубина обна-<br>ружения, м | CO <sub>2</sub><br>мг/л |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Джизакское . . . . .      | 13                          | 8,80                    |
| Каттакурганское . . . . . | 14—18                       | 0,88—10                 |
| Тудакульское . . . . .    | 9,0                         | 8,80                    |
| Куюмазарское . . . . .    | 30                          | 1,72—2,64               |
| Пачкамарское . . . . .    | 27—44                       | 0,88                    |
| Чимкуртанское . . . . .   | 19—28                       | 0,88—3,44               |
| Южносурханское . . . . .  | 2,0—19,5                    | 1,58—5,28               |
| Учкызылское . . . . .     | 25—38                       | 2,64—3,96               |



зыльском — от 80 до 600 см. В Джизакском водохранилище прозрачность низкая — от 40 до 60 см.

На величину прозрачности воды в водохранилищах Узбекистана в основном влияют взвешенные вещества, приносимые реками и подводящими каналами, а также поднятые со дна и смываемые с берегов во время ветрового перемешивания.

Водородный показатель (рН) воды обследованных водохранилищ колебался от 7,58 до 8,21, т. е. реакция воды была слабощелочной. Исключение составляло Джизакское водохранилище, где рН был равен 8,82. Колебания рН свидетельствуют о неравномерном развитии в водохранилищах фотосинтеза.

Таблица 5

Пределы содержания растворенного кислорода в воде водохранилищ в летний период 1969—1970 гг.

| Водохранилище             | Поверхностный слой  |             | Придонный слой      |             |
|---------------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|
|                           | мгО <sub>2</sub> /л | % насыщения | мгО <sub>2</sub> /л | % насыщения |
| Джизакское . . . . .      | 3,35—8,42           | 40,3—102,4  | 0,0—0,73            | 0—7,9       |
| Каттакурганское . . . . . | 6,02—10,46          | 69,0—118,0  | 1,67—6,12           | 17,7—68,1   |
| Куюмазарское . . . . .    | 7,47—9,08           | 85,4—108,6  | 7,42—8,64           | 69,8—98,9   |
| Тудакульское . . . . .    | 7,15—8,18           | 82,9—98,0   | 3,50—7,06           | 40,6—82,8   |
| Пачкамарское . . . . .    | 8,08—9,00           | 90,6—97,7   | 7,91—8,03           | 79,1—79,6   |
| Чимкурганское . . . . .   | 7,47—10,2           | 91,5—120,9  | 2,23—5,64           | 25,3—66,7   |
| Южносурханское . . . . .  | 7,58—8,51           | 92,2—101,9  | 4,31—8,10           | 49,1—95,8   |
| Учкызыльское . . . . .    | 7,55—10,6           | 86,7—126,5  | 2,57—8,45           | 25,8—98,0   |

Свободная двуокись углерода обнаружена только в придонных слоях воды в количестве от 0,88 до 10,56 мгСО<sub>2</sub>/л (табл. 4).

Малое содержание СО<sub>2</sub> свидетельствует об отсутствии на дне водохранилищ больших скоплений разлагающихся органических веществ.

Растворенный кислород. Содержание растворенного кислорода в поверхностных слоях воды водохранилищ Узбекистана достаточно высокое, и в некоторых случаях наблюдается небольшое кислородное перенасыщение (табл. 5).

В придонных слоях воды (на глубинах 18—33 м) Каттакурганского, Чимкурганского и Учкызыльского водохранилищ степень насыщения кислородом ниже, чем в поверхностных слоях, почти на 75%, а в Джизакском водохранилище обнаружена бескислородная зона на глубине 13 м. Значительное снижение кислорода на глубоководных участках отдельных водохранилищ свидетельствует о потреблении его на окислительные процессы, с одной стороны, и об ослабленной вертикальной циркуляции — с другой.



В общем, во всех водохранилищах наблюдается прямая стратификация в содержании растворенного кислорода.

Минерализация и главные ионы. В табл. 6 приведены характерные данные о минерализации (суммы ионов) и главных ионах поверхностных и придонных слоев воды водохранилищ Узбекистана.

Джизакское водохранилище (площадь 1100 га) обследовано в первый год его заполнения. По преобладающим ионам вода данного водохранилища относится к гидрокарбонатно-натриево-му классу второго типа. Гидрохимическая фация воды —  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{SO}_4^{2-} = \text{Na}^+$ .

В воде Каттакурганского водохранилища (площадь 6600 га) преобладающими катионами являются кальций и магний, а преобладающими анионами —  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ . В зависимости от их соотношения изменяется класс воды. Так, в центральной части водохранилища в июле 1969 г. вода относилась к гидрокарбонатно-магниевому классу, а в июне 1970 г. — к сульфатно-кальциевому классу второго типа. В заливах данного водохранилища в поверхностных слоях преобладают катионы  $\text{Mg}^{2+}$  и вода относится к сульфатно-магниевому (Бухарский залив) и сульфатно-гидрокарбонатно-магниевому классам (юго-восточный залив). В придонных слоях воды этих заливов преобладают ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$  и вода относится к гидрокарбонатно-кальциевому классу второго типа. Минерализация воды в различных пунктах водохранилища различается мало. Разность минерализации поверхностных и придонных слоев колеблется от 27,4 до 74,9 мг/л. Следует отметить, что хотя вода Каттакурганского водохранилища в различных пунктах относится к разным классам, она имеет одинаковую гидрохимическую фацию —  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $\text{Ca}^{2+}$ .

Вода Куюмазарского водохранилища (площадь 1600 га) в районе берега более минерализована, чем в центральной части. По-видимому, это связано с размывом берегов и выщелачиванием солей из грунтов. Вода данного водохранилища относится к сульфатно-кальциевому классу второго типа. Гидрохимическая фация воды в центре водохранилища  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{Na}^+$ , а у берега  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{Ca}^{2+}$ .

Тудакульское водохранилище (площадь 120 км<sup>2</sup>) имеет максимальную глубину 9,0 м. При огромной площади и небольших глубинах вода в водохранилище постоянно перемешивается и подвергается значительному испарению, что сказывается на повышении минерализации в летний период. Общая жесткость в центральной части водохранилища почти на 10 мг-экв/л выше, чем в районе подводящего канала. Изменение в соотношении ионов в различных районах водохранилища сказывается на типе воды. Так, в районе подводящего канала вода относится к сульфатно-кальциевому классу второго типа, а в центре водохранилища — третьего типа. Гидрохимическая фация воды



Химический состав воды водохранилищ в летний период 1969—1970 гг.

| Водохранилище        | Место измерения                                              | Глубина, м | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Сумма<br>ионов, мг/л |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|------------|------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------|
| Джизакское           | Приплотинный участок                                         | 0,2        | 32,1<br>1,6      | 32,8<br>2,7      | 74,0<br>2,96                     | 219,7<br>3,6                  | 149,8<br>3,12                 | 19,0<br>0,54    | 527,4                |
| Каттакурган-<br>ское | Центр водохранилища, в 0,5 км от<br>плотины;<br>июль 1969 г. | 13,0       | 40,1<br>2,0      | 32,8<br>2,7      | 68,3<br>2,73                     | 225,8<br>3,7                  | 148,2<br>3,1                  | 22,8<br>0,64    | 538,0                |
|                      |                                                              | 0,2        | 38,1<br>1,9      | 26,8<br>2,2      | 26,8<br>1,07                     | 158,7<br>2,6                  | 102,9<br>2,14                 | 15,2<br>0,43    | 368,5                |
|                      |                                                              | 18,0       | 44,1<br>2,2      | 29,2<br>2,4      | 27,0<br>1,08                     | 177,0<br>2,9                  | 115,2<br>2,4                  | 13,5<br>0,38    | 406,0                |
|                      | июнь 1970 г.                                                 | 0,2        | 44,1<br>2,2      | 24,3<br>2,0      | 14,5<br>0,58                     | 122,0<br>2,0                  | 115,2<br>2,4                  | 13,5<br>0,38    | 333,6                |
|                      |                                                              | 18,0       | 48,1<br>2,4      | 25,5<br>2,1      | 19,5<br>0,78                     | 140,3<br>2,3                  | 125,2<br>2,6                  | 13,5<br>0,38    | 372,1                |
|                      | Бухарский залив                                              | 0,2        | 42,1<br>2,1      | 29,2<br>2,4      | 12,0<br>0,48                     | 134,2<br>2,2                  | 115,2<br>2,4                  | 13,5<br>0,38    | 346,2                |
|                      |                                                              | 14,0       | 50,1<br>2,5      | 28,0<br>2,3      | 27,0<br>1,08                     | 170,9<br>2,8                  | 131,6<br>2,7                  | 13,5<br>0,38    | 421,1                |
|                      | Юго-восточный залив                                          | 0,2        | 42,1<br>2,1      | 26,8<br>2,2      | 19,5<br>0,78                     | 140,3<br>2,3                  | 110,4<br>2,3                  | 13,5<br>0,38    | 352,6                |
|                      |                                                              | 15,0       | 50,1<br>2,5      | 28,0<br>2,3      | 14,5<br>0,58                     | 158,7<br>2,6                  | 115,2<br>2,4                  | 13,5<br>0,38    | 380,0                |
| Куюмазар-<br>ское    | Центральная часть                                            | 0,2        | 88,2<br>4,4      | 43,8<br>3,6      | 93,8<br>3,75                     | 164,8<br>2,7                  | 337,4<br>6,9                  | 76,0<br>2,15    | 804,0                |



|                |                                          |      |                      |                      |                      |                     |                       |                       |        |
|----------------|------------------------------------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| Тудакудьское   | У берегов южного района                  | 31,0 | $\frac{106,2}{5,3}$  | $\frac{42,6}{3,5}$   | $\frac{117,5}{4,7}$  | $\frac{201,4}{3,3}$ | $\frac{343,9}{7,2}$   | $\frac{106,4}{3,0}$   | 918,0  |
|                | В 0,5 км от подводящего канала           | 0,2  | $\frac{146,3}{7,3}$  | $\frac{49,9}{4,1}$   | $\frac{77,0}{3,08}$  | $\frac{128,4}{2,1}$ | $\frac{485,6}{10,1}$  | $\frac{80,8}{2,28}$   | 968,0  |
|                |                                          | 0,2  | $\frac{246,5}{12,3}$ | $\frac{124,0}{10,2}$ | $\frac{537,5}{21,5}$ | $\frac{207,5}{3,4}$ | $\frac{1305,8}{27,2}$ | $\frac{475,0}{13,4}$  | 2896,3 |
|                |                                          | 8,0  | $\frac{244,5}{12,2}$ | $\frac{122,8}{10,1}$ | $\frac{560,0}{22,4}$ | $\frac{195,3}{3,2}$ | $\frac{1296,7}{27,0}$ | $\frac{513,0}{14,48}$ | 2932,3 |
| Пачкамар-ское  | Центр водохранилища                      | 0,2  | $\frac{370,7}{18,5}$ | $\frac{167,8}{13,8}$ | $\frac{316,3}{12,6}$ | $\frac{97,6}{1,6}$  | $\frac{1305,8}{27,2}$ | $\frac{572,1}{16,15}$ | 2790,3 |
|                | Р. Каттауру                              | 9,0  | $\frac{400,8}{20,0}$ | $\frac{115,5}{9,5}$  | $\frac{377,5}{15,1}$ | $\frac{115,9}{1,9}$ | $\frac{1291,8}{26,9}$ | $\frac{558,6}{15,76}$ | 2860,1 |
|                | Р. Кичикуру                              | 0,2  | $\frac{152,2}{7,6}$  | $\frac{15,8}{1,3}$   | $\frac{103,3}{4,13}$ | $\frac{170,8}{2,8}$ | $\frac{414,8}{8,6}$   | $\frac{57,9}{1,63}$   | 914,8  |
|                | Центр водохранилища                      | 0,2  | $\frac{248,5}{12,4}$ | $\frac{92,4}{7,6}$   | $\frac{720,0}{28,8}$ | $\frac{183,1}{3,0}$ | $\frac{1420,0}{29,6}$ | $\frac{592,2}{16,17}$ | 3256,2 |
| Цимкурган-ское | Приплотинный участок, в 100 м от плотины | 27,0 | $\frac{172,3}{8,6}$  | $\frac{37,6}{3,1}$   | $\frac{165,5}{6,62}$ | $\frac{122,0}{2,0}$ | $\frac{620,4}{12,9}$  | $\frac{121,2}{3,42}$  | 1239,0 |
|                |                                          | 0,2  | $\frac{198,4}{9,9}$  | $\frac{54,7}{4,5}$   | $\frac{182,5}{7,3}$  | $\frac{140,3}{2,3}$ | $\frac{750,4}{15,6}$  | $\frac{134,7}{3,80}$  | 1471,0 |
|                |                                          | 44,0 | $\frac{220,4}{11,0}$ | $\frac{48,6}{4,0}$   | $\frac{185,0}{7,4}$  | $\frac{140,3}{2,3}$ | $\frac{780,0}{16,3}$  | $\frac{134,7}{3,80}$  | 1516,5 |
|                | Верховье                                 | 0,2  | $\frac{54,1}{2,7}$   | $\frac{25,5}{2,1}$   | $\frac{9,3}{0,37}$   | $\frac{195,3}{3,2}$ | $\frac{79,8}{1,66}$   | $\frac{10,8}{0,31}$   | 374,8  |



| Водохранилище  | Место измерения                          | Глубина, м | Ca <sup>2+</sup>  | Mg <sup>2+</sup>  | Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup>   | Сумма ионов, мг/л |
|----------------|------------------------------------------|------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| Южносурханское | Центральная часть                        | 0,2        | 48,1<br>—<br>2,5  | 28,0<br>—<br>2,3  | 14,0<br>—<br>0,66                | 140,3<br>—<br><b>2,3</b>      | 123,4<br>—<br>2,6             | 16,2<br>—<br>0,46 | 370,0             |
|                |                                          | 7,5        | 64,1<br>—<br>3,2  | 32,8<br>—<br>2,7  | 27,8<br>—<br>1,11                | 170,9<br>—<br>2,8             | 172,8<br>—<br>3,6             | 21,6<br>—<br>0,61 | 490,0             |
|                | Приплотинный участок, в 100 м от плотины | 0,2        | 46,1<br>—<br>2,4  | 30,4<br>—<br>2,5  | 16,5<br>—<br>0,66                | 152,5<br>—<br>2,5             | 123,4<br>—<br>2,6             | 16,2<br>—<br>0,46 | 385,1             |
|                |                                          | 23,0       | 56,1<br>—<br>2,8  | 35,3<br>—<br>2,9  | 32,8<br>—<br>1,31                | 164,7<br>—<br>2,7             | 176,0<br>—<br>3,7             | 21,6<br>—<br>0,46 | 486,5             |
|                | Верховье водохранилища                   | 0,2        | 60,1<br>—<br>3,0  | 18,2<br>—<br>1,5  | 5,8<br>—<br>0,23                 | 115,9<br>—<br>1,9             | 112,7<br>—<br>2,35            | 17,1<br>—<br>0,48 | 329,9             |
|                |                                          | 1,8        | 76,2<br>—<br>3,8  | 14,6<br>—<br>1,2  | 5,8<br>—<br>0,23                 | 128,1<br>—<br>2,1             | 121,8<br>—<br>2,54            | 20,9<br>—<br>0,59 | 367,3             |
|                | Центр водохранилища, в 5 км от плотины   | 0,2        | 55,1<br>—<br>2,75 | 12,8<br>—<br>1,05 | 43,3<br>—<br>1,73                | 122,0<br>—<br>2,0             | 146,5<br>—<br>3,05            | 17,1<br>—<br>0,48 | 396,8             |
|                |                                          | 10,0       | 55,1<br>—<br>2,75 | 13,4<br>—<br>1,10 | 53,8<br>—<br>2,15                | 143,4<br>—<br>2,35            | 152,2<br>—<br>3,17            | 17,1<br>—<br>0,48 | 435,0             |
|                | Приплотинный участок, в 100 м от плотины | 0,2        | 53,1<br>—<br>2,65 | 12,2<br>—<br>1,00 | 22,0<br>—<br>0,88                | 115,9<br>—<br>1,90            | 105,0<br>—<br>2,20            | 15,2<br>—<br>0,43 | 323,4             |



|                       |                                         |      |                     |                     |                     |                      |                      |                      |       |
|-----------------------|-----------------------------------------|------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|
| Учкызылское           | Дельтобережный залив, в 3 км от плотины | 19,5 | $\frac{58,1}{2,90}$ | $\frac{12,8}{1,05}$ | $\frac{29,3}{1,17}$ | $\frac{134,2}{2,20}$ | $\frac{116,9}{2,44}$ | $\frac{17,1}{0,48}$  | 368,4 |
|                       | Подводящий канал                        | 0,2  | $\frac{54,1}{2,70}$ | $\frac{14,6}{1,20}$ | $\frac{10,7}{0,43}$ | $\frac{122,0}{2,00}$ | $\frac{91,4}{1,91}$  | $\frac{15,2}{0,43}$  | 308,0 |
|                       | У западной плотины, в 100 м от берега   | 0,2  | $\frac{108,2}{5,4}$ | $\frac{20,5}{1,6}$  | $\frac{21,0}{0,84}$ | $\frac{146,5}{2,4}$  | $\frac{224,6}{4,68}$ | $\frac{26,9}{0,76}$  | 547,7 |
|                       | Центр северо-восточного залива          | 0,2  | $\frac{106,2}{5,3}$ | $\frac{30,4}{2,5}$  | $\frac{70,0}{2,8}$  | $\frac{128,1}{2,1}$  | $\frac{349,7}{7,28}$ | $\frac{43,1}{1,216}$ | 727,5 |
| Глубоководный участок |                                         | 7,5  | $\frac{106,2}{5,3}$ | $\frac{30,4}{2,5}$  | $\frac{70,5}{2,8}$  | $\frac{128,1}{2,1}$  | $\frac{350,5}{7,30}$ | $\frac{43,1}{1,22}$  | 728,9 |
|                       |                                         | 0,2  | $\frac{102,2}{5,1}$ | $\frac{36,5}{3,0}$  | $\frac{54,5}{2,2}$  | $\frac{134,2}{2,20}$ | $\frac{329,1}{6,86}$ | $\frac{43,1}{1,22}$  | 699,6 |
|                       |                                         | 10,0 | $\frac{104,2}{5,2}$ | $\frac{35,3}{2,9}$  | $\frac{50,0}{2,0}$  | $\frac{134,2}{2,2}$  | $\frac{319,3}{6,65}$ | $\frac{44,4}{1,25}$  | 687,4 |
|                       |                                         | 0,2  | $\frac{102,2}{5,1}$ | $\frac{36,5}{3,0}$  | $\frac{50,3}{2,01}$ | $\frac{122,0}{2,0}$  | $\frac{329,1}{6,86}$ | $\frac{44,4}{1,25}$  | 684,5 |
|                       |                                         | 33,0 | $\frac{112,2}{5,6}$ | $\frac{36,5}{3,0}$  | $\frac{47,8}{1,91}$ | $\frac{146,5}{2,}$   | $\frac{329,1}{6,86}$ | $\frac{44,4}{1,25}$  | 716,5 |

Примечание. В числителе — в мг/л, в знаменателе — в мг-экв/л.



у подводящего канала  $\text{SO}_4^{2-}\text{-Cl}^-\text{-Na}^+$ , а в центре водохранилища  $\text{SO}_4^{2-}\text{-Cl}^-\text{-Ca}^{2+}$ .

Из всех обследованных водохранилищ Узбекистана Тудаккульское имеет наибольшую минерализацию воды.

Пачкамарское водохранилище расположено в бассейне р. Гузар, которая в свою очередь является притоком р. Кашкадарьи. Питается водохранилище водами двух рек: Каттауру и Кичикуру, которые отличаются по составу вод и минерализации. Вода р. Кичикуру сильно минерализована, сумма ионов в ней превышает 3 г/л, а общая жесткость равна 20 мг-экв/л. Минерализация воды р. Каттауру более чем в три раза меньше минерализации воды р. Кичикуру. Вследствие разного количества отдельных ионов в воде этих рек их гидрохимические фации различны. Гидрохимическая фация воды р. Каттауру  $\text{SO}_4^{2-}\text{-HCO}_3^-$ - $\text{Ca}^{2+}$ , а р. Кичикуру —  $\text{SO}_4^{2-}\text{-Cl}^-$ - $\text{Na}^+$ . Минерализация воды в поверхностных слоях водохранилища равна 1,2 г/л, а в придонных — 1,5 г/л. Общая жесткость воды увеличивается от верховья к плотине. Вода водохранилища и рек, питающих его, относится к сульфатно-кальциевому классу второго типа. Гидрохимическая фация воды водохранилища  $\text{SO}_4^{2-}\text{-HCO}_3^-$ - $\text{Ca}^{2+}$ .

Чимкурганское водохранилище (площадь 4920 га) расположено в среднем течении р. Кашкадарьи. Гидрохимическая фация воды данного водохранилища в придонном слое  $\text{SO}_4^{2-}\text{-HCO}_3^-$ - $\text{Ca}^{2+}$ , а в поверхностном  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{Ca}^{2+}$ . От верховья к плотине наблюдается изменение класса воды. Так, в верхней части водохранилища вода относится к гидрокарбонатно-кальциевому классу, в центральной — к сульфатно-кальциевому, а у плотины — к сульфатно-магниевому классу. Во всех пунктах водохранилища вода относится ко второму типу.

Южносурханское водохранилище (площадь 6500 га) расположено в бассейне р. Сурхандарьи, питается оно водами снежно-ледникового и грунтового происхождения. Сеть сбросов и коллекторов собирает и выносит в р. Сурхандарью значительное количество воды, различной по химическому составу. Все это непременно влияет на химический состав воды водохранилища. Гидрохимическая фация воды на всех участках водохранилища одинаковая —  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{Ca}^{2+}$ . На большей части акватории вода относится к сульфатно-кальциевому классу второго типа. В верховье водохранилища сумма ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  (в мг-экв/л) немного превышала сумму ионов  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , поэтому воду данного участка следует отнести к третьему типу. В левобережном заливе водохранилища наблюдалось преобладание ионов  $\text{HCO}_3^-$  над ионами  $\text{SO}_4^{2-}$ , поэтому вода в этом пункте относится к гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевому классу второго типа.

Учкызылское водохранилище (площадь 1000 га) расположено в нижнем течении р. Сурхандарьи и питается ее водами через



подводящий канал. Максимальная глубина при НПУ 45,0 м, средняя — 20,0 м. Минерализация воды водохранилища имеет небольшие колебания — от 682 до 729 мг/л. Наибольшая жесткость воды (8,6 мг-экв/л) обнаружена на глубине 33 м. Относительную равномерность распределения минерализации воды водохранилища можно объяснить хорошим ее перемешиванием за счет постоянно дующих ветров, отсутствием грунтовых вод и наличием огромного мертвого объема, равного 80,0 млн. м<sup>3</sup>. Вода водохранилища во всех пунктах относится к сульфатно-кальцие-

Таблица 7

Общая минерализация и общая жесткость воды в водохранилищах в летний период 1969—1970 гг.

| Водохранилище             | Пределы минерализации, мг/л | Пределы общей жесткости, мг-экв/л |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Джизакское . . . . .      | 527—538                     | 4,3—4,7                           |
| Каттакурганское . . . . . | 334—421                     | 4,1—4,8                           |
| Куюмазарское . . . . .    | 804—968                     | 8,0—11,4                          |
| Тудакульское . . . . .    | 2790—2930                   | 22,3—32,3                         |
| Пачкамарское . . . . .    | 1220—1520                   | 11,7—15,0                         |
| Чимкурганское . . . . .   | 370—490                     | 4,8—5,9                           |
| Южносурханское . . . . .  | 308—435                     | 3,65—5,0                          |
| Учкызылское . . . . .     | 682—729                     | 7,8—8,6                           |

ому классу второго типа. Гидрохимическая фация также однородна —  $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Ca}^{2+}$ . В подводящем канале сумма ионов и общая жесткость воды несколько ниже, чем в водохранилище, что связано с менее минерализованной водой, поступающей из р. Сурхандарьи. Класс воды и ее гидрохимическая фация в подводящем канале такие же, как и в водохранилище.

Для сравнения общей минерализации и общей жесткости воды в обследованных водохранилищах Узбекистана приводится сводная табл. 7.

Условно по минерализации воды водохранилища Узбекистана можно разделить на четыре группы:

1. Водохранилища с минерализацией воды до 500 мг/л. Сюда относятся Каттакурганское, Чимкурганское и Южносурханское.
2. С минерализацией от 500 до 1000 мг/л — Джизакское, Учкызылское и Куюмазарское.
3. С минерализацией от 1000 до 2000 мг/л — Пачкамарское.
4. С минерализацией свыше 2000 мг/л — Тудакульское.

По жесткости воды водохранилища можно разделить на три группы:

1. Водохранилища с умеренно жесткой водой — Джизакское, Каттакурганское, Чимкурганское и Южносурханское.



2. Водохранилища с жесткой водой — Учкызылское и Куюмазарское.

3. Водохранилища с очень жесткой водой — Тудакульское и Пачкамарское.

Биогенные элементы. По результатам исследований биогенных элементов приводим в табл. 8 предельные концентрации общего азота, валового фосфора и кремнекислоты в водах водохранилищ Узбекистана.

Вода водохранилищ Узбекистана бедна биогенными элементами.

Исходя из результатов химических анализов воды водохранилищ Узбекистана, можно дать оценку качества воды в летний период.

Таблица 8

Пределы содержания биогенных элементов в воде водохранилищ в летний период 1969—1970 гг.

| Водохранилище             | Общий азот, мг/л | Валовой фосфор, мг Р/л | Кремнекислота, мг $\text{SiO}_2$ /л |
|---------------------------|------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Джизакское . . . . .      | 1,25—2,65        | 0,021—0,045            | 4,30—5,40                           |
| Каттакурганское . . . . . | 1,10—1,96        | 0,012—0,032            | 3,5—4,55                            |
| Куюмазарское . . . . .    | 0,55—1,21        | 0,010—0,028            | 3,70—4,82                           |
| Тудакульское . . . . .    | 0,88—1,26        | 0,014—0,017            | 3,60—4,70                           |
| Пачкамарское . . . . .    | 0,40—1,68        | 0,017—0,026            | 3,70—5,24                           |
| Чимкурганское . . . . .   | 0,90—1,55        | 0,014—0,022            | 3,80—4,60                           |
| Южносурханское . . . . .  | 0,80—1,39        | 0,011—0,058            | 3,15—4,40                           |
| Учкызылское . . . . .     | 0,60—1,02        | 0,010—0,024            | 3,60—4,65                           |

Ирригационные качества воды. Чтобы количественно охарактеризовать качество ирригационных вод по ионному составу, применяют так называемый ирригационный (щелочной) коэффициент  $K_a$  (по Стеблеру [7]). На основании вычисленных величин ирригационных коэффициентов можно считать, что вода Тудакульского водохранилища является неудовлетворительной для ирригации ( $K_a=3,6$ ), вода Куюмазарского ( $K_a=16,7$ ) и Пачкамарского ( $K_a=12,3 \div 15,5$ ) водохранилищ — удовлетворительной, а вода всех остальных водохранилищ — хорошей ( $K_a>38$ ).

Использование воды для водоснабжения. Результаты анализа воды в различных водохранилищах Узбекистана в летний период показали, что, согласно ГОСТу 2761-57 [3], можно считать:

1) вода Джизакского, Каттакурганского, Чимкурганского, Южносурханского и Учкызылского водохранилищ по всем показателям вполне пригодна для водоснабжения;



2) вода Куюмазарского водохранилища имеет повышенную жесткость (на 1,0—4,4 мг-экв/л) и сумму ионов, близкую к 1000 мг/л, поэтому не вполне пригодна для водоснабжения;

3) вода Пачкамарского водохранилища только по нормам содержания хлоридов подходит к требованиям ГОСТа 2761-57, по остальным показателям превышает эти нормы и поэтому мало пригодна для водоснабжения;

4) содержание растворенных веществ в воде Тудакульского водохранилища намного превышает нормы по содержанию всех ионов, и поэтому его вода не пригодна для водоснабжения.

Агрессивные свойства воды. Результаты химического анализа воды водохранилищ показали, что, согласно ГОСТу 796-49, можно сделать следующие выводы:

1) углекислотная, выщелачивающая, магниальная и общекислотная агрессивность в водах всех водохранилищ отсутствует;

2) сульфатной агрессивностью (для обычных цементов) обладают воды только Куюмазарского, Тудакульского, Пачкамарского и Учкызылского водохранилищ.

## ВЫВОДЫ

1. Во всех водохранилищах pH изменяется в небольших пределах — от 7,58 до 8,82.

2. Свободная двуокись углерода обнаружена только в придонных слоях воды водохранилищ в количестве от 0,88 до 0,6 мг  $\text{CO}_2$ /л.

3. В поверхностных слоях воды всех водохранилищ содержится достаточно высокое количество растворенного кислорода (70—27% насыщения), в придонных слоях воды количество кислорода снижается, особенно на больших глубинах Каттакурганского, Чимкурганского и Учкызылского водохранилищ, а разница достигает 75%.

Особое положение занимает Джизакское водохранилище, где в придонном слое воды обнаружена бескислородная зона, что связано с повышенными окислительными процессами в связи с первым годом существования водохранилища.

4. Вода всех водохранилищ относится ко второму типу, кроме Тудакульского, вода которого относится к третьему типу.

Класс и группа воды различных водохранилищ различны. Обнаружена вода, относящаяся к следующим классам и группам:

1) гидрокарбонатно-натриевым; 2) гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевым; 3) гидрокарбонатно-магниевым; 4) гидрокарбонатно-кальциевым; 5) сульфатно-кальциевым; 6) сульфатно-магниевым.

Преобладающими в воде обследованных водохранилищ являются гидрокарбонатные и сульфатные ионы и только в Тудакульском водохранилище — сульфатные и хлоридные.



5. Минерализация воды водохранилищ колеблется от 308 до 2930 мг/л.

6. Общая жесткость меняется в широких пределах — от 3,65 до 32,3 мг-экв/л.

7. Водоохранилища Узбекистана бедны по содержанию биогенных элементов.

8. По ирригационным качествам вода большинства водохранилищ является хорошей.

9. Для водоснабжения пригодна вода Джизакского, Каттакурганского, Чимкурганского и Южносурханского водохранилищ. Вода Учкызылского и Куюмазарского водохранилищ также может использоваться для водоснабжения, так как имеет только небольшую повышенную жесткость. Вода остальных водохранилищ не удовлетворяет нормам ГОСТа 2761-57.

10. Из всех видов агрессивности воды только сульфатная проявляется в Куюмазарском, Тудакульском, Пачкамарском и Учкызылском водохранилищах, да и то этот вид агрессивности воды опасен только для обычных цементов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О. А. Общая гидрохимия. Л., Гидрометеиздат, 1953. 208 с.
2. Алекин О. А. Химический анализ вод суши. Л., Гидрометеиздат, 1954. 199 с.
3. ГОСТ 2761-57. Источники центрального хозяйственно-питьевого водоснабжения. Правила выбора и оценки качества. М., 1957. 6 с.
4. Максимович Г. А. Химическая география вод суши. М., Географиз, 1955. 328 с.
5. Методы химического и бактериологического анализа. Медгиз, 1953. 280 с. Авт.: Драчев С. М., Разумов А. С., Бруевич С. В., Скопни-цев Б. А., Голубева М. Т.
6. Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природных вод. М., Госгеолтехиздат, 1963. 404 с.
7. Stabler H. The industrial applications of water analyses.— "Water suplein paper". Washington, 1911.



## СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДАХ ЧАРВАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Чарвакское водохранилище расположено в 85 км от г. Ташкента. Водохранилище создано плотинной, замыкающей Чарвакское ущелье в 5 км ниже слияния рек Пскем и Чаткал. Наполнение водохранилища началось в сентябре 1970 г. При максимальном наполнении объем водохранилища достигнет 2006 млн. м<sup>3</sup>, полезный объем составит 1580 млн. м<sup>3</sup>, максимальная глубина плотины при НПУ будет равна 145,0 м, а площадь зеркала 0,1 км<sup>2</sup>.

Основной приток в водохранилище осуществляется по рекам Пскем, Чаткал и Коксу. Кроме того, в водохранилище впадает много мелких, периодически действующих водотоков.

Вода Чарвакского водохранилища будет использоваться для энергетики, ирригации, водоснабжения, рыбного хозяйства.

Из сказанного выше ясна актуальность проведения всесторонних научно-исследовательских работ на этом водохранилище, значительную роль должны играть гидрохимические исследования.

Изучение содержания биогенных элементов и органического вещества в водах Чарвакского водохранилища нами проводится с момента его наполнения. При химическом анализе вод были применены методы, описанные в руководствах [1, 3, 4, 6].

Биогенные элементы. Режим биогенных элементов в воде Чарвакского водохранилища определяется рядом факторов, вследствие чего их динамика представляет собой довольно сложную картину. Их содержание зависит от количества биогенных элементов, принесенных извне: с водами рек Пскем, Коксу, Чаткал; с водами многочисленных мелких притоков и подземными водами; с осадками; в результате эрозии коренных пород. Определенное влияние оказывают биологические и биохимические процессы, происходящие в самом водохранилище.

При увеличении объема воды в водохранилище постоянно воз-



растает возможность пополнения воды биогенными элементами за счет процесса выщелачивания на вновь залитых площадях с различными сельскохозяйственными угодьями, почвами и растительным покровом. Поэтому концентрация биогенных веществ, определяемая в каждый данный момент в водоеме, является интегральной характеристикой влияния указанных факторов.

В табл. 1 приведены результаты исследования предельных концентраций биогенных элементов в воде водохранилища, рек Пскем, Чаткал, Коксу, Чирчик и некоторых мелких водотоков, впадающих в водохранилище. Из таблицы видно, что минимальное содержание  $\text{NH}_4^+$  (0—0,75 мгN/л) в воде водохранилища наблюдается весной и в начале лета (апрель, май, июнь). В июле—августе концентрация  $\text{NH}_4^+$  увеличивается, особенно в придонных слоях воды (на глубинах 31,0—69,0 м), достигая 0,20 мгN/л. Накопление  $\text{NH}_4^+$  в придонных слоях воды связано с пониженным содержанием кислорода. Осенью содержание  $\text{NH}_4^+$  снижается в результате усиливающихся процессов дальнейшей минерализации азотсодержащих соединений с образованием нитритного и нитратного азота, а с начала зимы наблюдается постепенное увеличение концентрации аммония.

В реках Пскем, Коксу и Чаткал (рис. 1) максимальное содержание  $\text{NH}_4^+$  отмечается в мае. Это связано с началом увеличения расходов воды в этих реках, когда происходит интенсивная эрозия берегов и накапливаются продукты первичной минерализации органических веществ. Подобное положение наблюдается и в мелких водотоках (табл. 1). В июне при максимальных расходах воды содержание  $\text{NH}_4^+$  здесь минимальное. Затем, по мере уменьшения расходов воды, происходит увеличение концентрации  $\text{NH}_4^+$ , но начиная с августа и вплоть до декабря содержание  $\text{NH}_4^+$  почти постоянно.

Следует отметить, что содержание  $\text{NH}_4^+$  в водах рек Пскем и Коксу в период исследования не превышало 0,125 мгN/л, а в р. Чаткал — 0,25 мгN/л. В воде водотоков Авлиясай, Шаркрасай, Кайнарсай, Чимгансай и Сыджаксай концентрация  $\text{NH}_4^+$  значительно выше и в течение года изменялась в пределах 0,015—0,85 мгN/л.

Содержание азота  $\text{NO}_2^-$  в воде водохранилища минимально в вегетационный период (табл. 1). К концу лета количество нитритного азота немного возрастает, особенно в придонных слоях воды. К осени концентрация  $\text{NO}_2^-$  падает, а к зиме происходит его медленное накопление. Та же закономерность наблюдается и в реках Пскем, Коксу, Чаткал (рис. 1). Средние величины концентраций  $\text{NO}_2^-$  по водохранилищу в целом не превышает тысячных долей мгN/л и только в придонных слоях на отдельных участках увеличиваются до сотых, достигая зимой 0,025 мгN/л. В воде упомянутых ранее мелких водотоков концентрация азо-



Таблица I

Предельная концентрация биогенных элементов в воде Чарвакского водохранилища и впадающих в него рек в 1970-71 г.

| Ингредиент                    | Зима<br>(XII-II)           | Весна<br>(III-V)           | Лето<br>(VI-VIII)          | Осень<br>(IX-XI)           |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Чарвакское водохранилище      |                            |                            |                            |                            |
| $\text{NH}_4^+$ мгN/л         | 0,004—0,05<br>0,115—0,135  | 0—0,065<br>0,015—0,075     | 0—0,10<br>0,025—0,20       | 0—0,03<br>0,015—0,125      |
| $\text{NO}_2^-$ мгN/л         | 0,001—0,002<br>0,008—0,025 | 0—0,006<br>0—0,009         | 0—0,008<br>0—0,015         | 0,001—0,009<br>0,002—0,015 |
| $\text{NO}_3^-$ мгN/л         | 0,33—0,52<br>0,40—0,72     | 0,17—0,33<br>0,17—0,37     | 0,17—0,41<br>0,25—0,50     | 0,17—0,46<br>0,25—0,58     |
| P мг/л                        | 0,004—0,009<br>0,012—0,013 | 0,003—0,018<br>0,010—0,053 | 0,014—0,035<br>0,017—0,080 | 0,004—0,008<br>0,009—0,017 |
| $\text{Fe}_{\text{общ}}$ мг/л | 0,15—0,215<br>0,18—0,24    | 0,120—0,38<br>0,285—0,60   | 0,10—0,21<br>0,15—0,30     | 0,12—0,24<br>0,14—0,31     |
| Si мг/л                       | 2,66—3,18<br>2,99—3,32     | 2,43—3,36<br>2,45—3,55     | 1,87—2,58<br>2,10—4,21     | 2,29—2,45<br>2,92—3,27     |
| р. Пскем — с. Нанай           |                            |                            |                            |                            |
| $\text{NH}_4^+$ мгN/л         | 0,065                      | 0,035—0,125                | 0—0,125                    | 0,050—0,057                |
| $\text{NO}_2^-$ мгN/л         | 0,007                      | 0,004—0,005                | 0,002—0,006                | 0,001—0,005                |
| $\text{NO}_3^-$ мгN/л         | 0,40                       | 0,12—0,41                  | 0,20—0,33                  | 0,25—0,33                  |
| P мг/л                        | 0,004                      | 0,012—0,060                | 0,010—0,032                | 0,004—0,020                |
| $\text{Fe}_{\text{общ}}$ мг/л | 0,18                       | 0,10—0,22                  | 0,12—0,30                  | 0,06—0,10                  |
| Si мг/л                       | 3,18                       | 2,09—2,92                  | 1,87—3,51                  | 2,49—2,80                  |
| р. Коксу — с. Бурчмулла       |                            |                            |                            |                            |
| $\text{NH}_4^+$ мгN/л         | 0,035                      | 0—0,075                    | 0—0,050                    | 0,015—0,025                |
| $\text{NO}_2^-$ мгN/л         | 0,005                      | 0,002—0,003                | 0—0,006                    | 0,001—0,004                |
| $\text{NO}_3^-$ мгN/л         | 0,33                       | 0,20—0,33                  | 0,25                       | 0,17—0,25                  |
| P мг/л                        | 0,004                      | 0,014—0,025                | 0,004—0,030                | 0,006—0,007                |
| $\text{Fe}_{\text{общ}}$ мг/л | 0,168                      | 0,12—0,17                  | 0,07—0,23                  | 0,12—0,158                 |
| Si мг/л                       | 2,49                       | 1,56—2,06                  | 1,64—2,10                  | 2,22—2,28                  |
| р. Чаткал — с. Аурахмат       |                            |                            |                            |                            |
| $\text{NH}_4^+$ мгN/л         | 0,075                      | 0,075—0,25                 | 0—0,15                     | 0,025—0,030                |
| $\text{NO}_2^-$ мгN/л         | 0,008                      | 0,007—0,010                | 0—0,009                    | 0—0,006                    |
| $\text{NO}_3^-$ мгN/л         | 0,33                       | 0,20—0,50                  | 0,25—0,33                  | 0,17—0,28                  |
| P мг/л                        | 0,025                      | 0,032—0,075                | 0,02—0,051                 | 0,038—0,041                |



| Ингредиент | Зима<br>(XII-II) | Весна<br>(III-V) | Лето<br>(VI-VIII) | Осень<br>(IX-XI) |
|------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
|------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|

р. Чаткал—с. Аурахмат

|                        |      |           |           |           |
|------------------------|------|-----------|-----------|-----------|
| Fe <sub>общ</sub> мг/л | 0,14 | 0,10—0,25 | 0,12—0,15 | 0,09—0,12 |
| Si мг/л                | 3,41 | 2,58—3,24 | 2,11—2,99 | 2,80—3,08 |

р. Авлиясай

|                                    |  |             |             |             |
|------------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> мгN/л |  | 0,325—0,400 | 0,40—0,45   | 0,015—0,100 |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> мгN/л |  | 0,006—0,274 | 0,034—0,274 | 0,003—0,004 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> мгN/л |  | 0,91—3,10   | 3,00—3,17   | 2,82—3,00   |
| P мг/л                             |  | 0,025—0,035 | 0,132—0,21  | 0,064—0,105 |
| Fe <sub>общ</sub> мг/л             |  | 0—0,078     | 1,40—2,38   | 0,001—0,64  |
| Si мг/л                            |  | 5,26—5,38   | 5,98—6,73   | 2,22—4,49   |

р. Шаркрасай

|                                    |  |             |             |             |
|------------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> мгN/л |  | 0,55—0,85   | 0,025—0,075 | 0,02—0,15   |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> мгN/л |  | 0,003—0,005 | 0,001—0,01  | 0,007—0,034 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> мгN/л |  | 0,50—0,58   | 3,82—6,15   | 0,75—2,20   |
| P мг/л                             |  | 0,021—0,049 | 0,014       | 0,016—0,04  |
| Fe <sub>общ</sub> мг/л             |  | 0,038—0,070 | 0,34—0,35   | 0—0,152     |
| Si мг/л                            |  | 4,49—5,14   | 4,09—5,61   | 4,67—4,72   |

р. Кайнарсай

|                                    |  |             |             |             |
|------------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> мгN/л |  | 0,25—0,80   | 0,075—0,325 | 0,05        |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> мгN/л |  | 0,004—0,009 | 0,011—0,13  | 0,001—0,002 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> мгN/л |  | 0,33—0,41   | 2,15—2,46   | 0,15—1,40   |
| P мг/л                             |  | 0,019—0,032 | 0,12—0,24   | 0,074—0,082 |
| Fe <sub>общ</sub> мг/л             |  | 0—0,070     | 1,52—2,26   | 0,30—0,92   |
| Si мг/л                            |  | 3,51—3,98   | 4,97—5,14   | 3,97—4,86   |

р. Сыджаксай

|                                    |  |             |             |             |
|------------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> мгN/л |  | 0,275—0,625 | 0,025—0,20  | 0,015—0,125 |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> мгN/л |  | 0,003—0,01  | 0,003—0,01  | 0,004—0,007 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> мгN/л |  | 0,41—0,76   | 1,40—3,70   | 0,18—2,15   |
| P мг/л                             |  | 0,030—0,035 | 0,035—0,105 | 0,032—0,166 |
| Fe <sub>общ</sub> мг/л             |  | 0,01—0,10   | 0,39—0,64   | 0,30—0,46   |
| Si мг/л                            |  | 3,50—3,88   | 3,98—5,84   | 3,65—5,14   |



| Ингредиент | Зима<br>(XII-II) | Весна<br>(III-V) | Лето<br>(VI-VIII) | Осень<br>(IX-XI) |
|------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
|------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|

р. Чимгансай

|                        |  |             |       |       |
|------------------------|--|-------------|-------|-------|
| $\text{NH}_4^+$ мгN/л  |  | 0,035—0,275 | 0,230 | 0,100 |
| $\text{NO}_2^-$ мгN/л  |  | 0,004—0,011 | 0,005 | 0,005 |
| $\text{NO}_3^-$ мгN/л  |  | 0,42—0,50   | 0,17  | 0,33  |
| P мг/л                 |  | 0,04—0,215  | 0,11  | 0,082 |
| Fe <sub>общ</sub> мг/л |  | 0,10—0,70   | 1,82  | 1,50  |
| Si мг/л                |  | 3,98—4,11   | 4,67  | 4,49  |

р. Чирчик — в 0,5 км ниже плотины

|                        |       |             |             |             |
|------------------------|-------|-------------|-------------|-------------|
| $\text{NH}_4^+$ мгN/л  | 0,065 | 0—0,065     | 0,050—0,11  | 0—0,04      |
| $\text{NO}_2^-$ мгN/л  | 0,003 | 0,008—0,011 | 0—0,009     | 0,001—0,003 |
| $\text{NO}_3^-$ мгN/л  | 0,60  | 0,25—0,37   | 0,12—0,33   | 0,17—0,75   |
| P мг/л                 | 0,003 | 0,017—0,035 | 0,004—0,039 | 0—0,002     |
| Fe <sub>общ</sub> мг/л | 0,18  | 0,24—0,38   | 0,17—0,29   | 0,12—0,18   |
| Si мг/л                | 2,80  | 2,80—3,27   | 2,58—2,92   | 2,44—2,49   |

Примечание. В числителе — в поверхностных слоях, в знаменателе — в придонных.

а  $\text{NO}_2^-$  выше, чем в водохранилище, и колеблется от 0,001 до 0,274 мгN/л.

Содержание нитратов в воде водохранилища не претерпевает резких колебаний. Однако от конца весны и до конца лета концентрация  $\text{NO}_3^-$  постепенно уменьшается, особенно в поверхностных слоях воды. Начиная с осени и вплоть до весны количество нитратов постепенно возрастает. Это обусловлено процессом минерализации органических веществ. В распределении  $\text{NO}_3^-$  по вертикали наблюдается увеличение концентрации от поверхностных к придонным слоям воды.

В воде рек Пскем, Коксу и Чаткал максимальные количества  $\text{NO}_3^-$  наблюдаются в апреле—мае (0,30—0,50 мгN/л), минимальные — в августе — сентябре (0,16—0,20 мгN/л). Концентрация нитратов в мелких водотоках выше, чем в водохранилище, и в течение года колеблется от 0,15 до 6,15 мгN/л.

Содержание фосфатов в водохранилище увеличивается по мере возрастания объема воды и достигает максимума в марте (0,018 мгP/л в поверхностных слоях и 0,053 мгP/л в придонных). Во время паводка содержание фосфатов уменьшается.

В летний период на отдельных участках водохранилища количество фосфатов возрастает до 0,035 мгP/л у поверхности и 0,080 мгP/л у дна. Это вызвано повышенной скоростью процессов регенерации органических веществ при высокой температуре воды, от которой в значительной степени зависит константа фос-



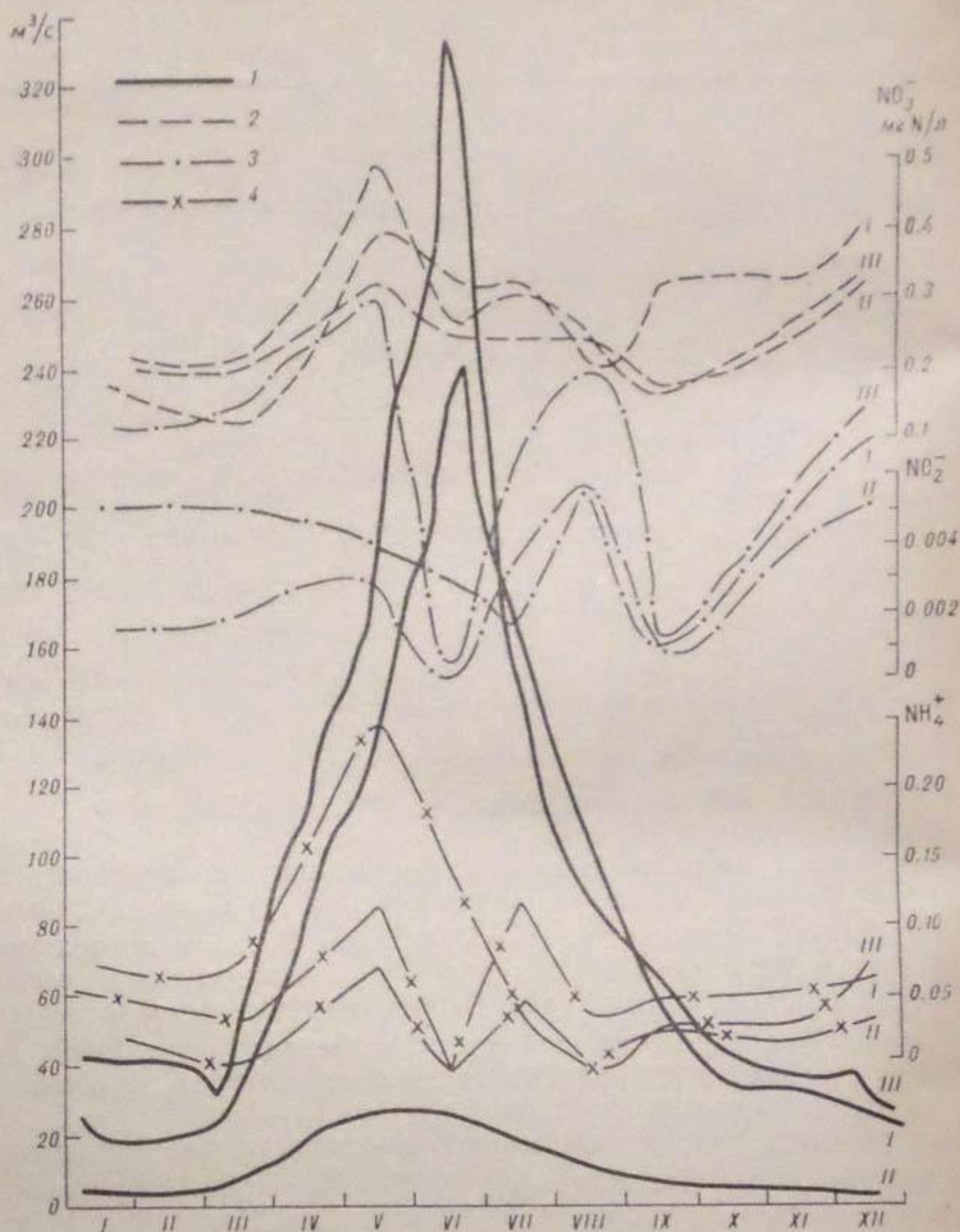


Рис. 1. Динамика различных форм минерального азота и расходов воды в реках Пскем (I), Коксу (II) и Чаткал (III).  
 1 — расходы воды, 2 —  $\text{N}_{\text{NO}_3^-}$ , 3 —  $\text{N}_{\text{NO}_2^-}$ , 4 —  $\text{N}_{\text{NH}_4^+}$ .

фатофикации. Время полного обращения фосфора в водоеме равно 4—5 суткам.

Осенью и зимой, с понижением температуры воды и уменьшением скорости процессов минерализации, содержание фосфатов снижается до 0,002—0,017 мгР/л. Подобная закономерность наблюдалась и в реках Пскем, Коксу, Чаткал, при этом наиболь-



шие концентрации фосфатов были в р. Чаткал (0,020—0,075 мгР/л), а наименьшие — в р. Коксу (0,004—0,030 мгР/л). Содержание фосфатов в воде мелких водотоков изменялось от 0,014 до 0,275 мгР/л.

Количество общего железа в водохранилище постепенно возрастало от начала его наполнения до конца весны до 0,38 — мгFe/л в поверхностных слоях и 0,60 мгFe/л в придонных. В летний период концентрация железа уменьшается, не превышая у дна 0,30 мгFe/л. В осенне-зимний период содержание железа в воде водохранилища медленно повышается. Обычно в придонных слоях воды количество железа больше, чем в поверхностных, в связи с более низкими значениями pH у дна, аккумуляционны-

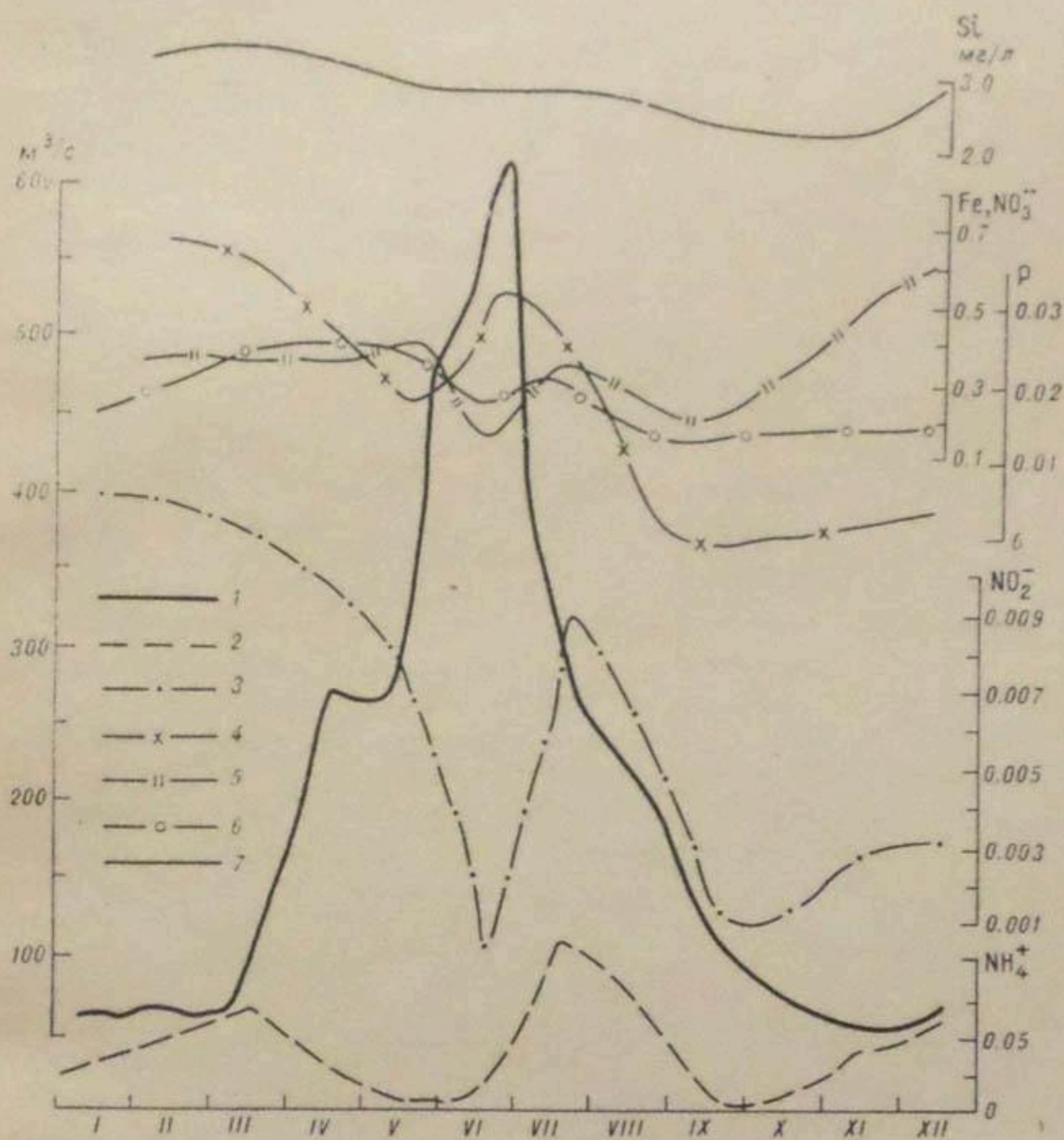


Рис. 2. Изменение содержания биогенных элементов в воде р. Чирчик в 0,5 км ниже плотины.

1 — расходы воды, 2 —  $N_{NH_4^+}$ , 3 —  $N_{NO_2^-}$ , 4 — P, 5 —  $N_{NO_3^-}$ , 6 — Fe, 7 — Si.



ми и другими внутриводоемными процессами. В воде рек Пскем, Коксу и Чаткал содержание железа увеличивается при подъеме расходов воды во время паводка. В летний период в воде рек наблюдаются небольшие колебания концентрации железа и в отдельные месяцы ее уменьшение. В общем количество железа в воде этих рек находилось в пределах 0,07—0,30 мгFe/л. В воде мелких водотоков содержание общего железа значительно выше, чем в воде водохранилища, и достигает в отдельные месяцы 2,38 мгFe/л.

Концентрация кремния в поверхностных слоях водохранилища, а также в воде рек Пскем, Коксу и Чаткал изменяется от 1,56 до 3,36 мгSi/л. Вертикальная стратификация в содержании

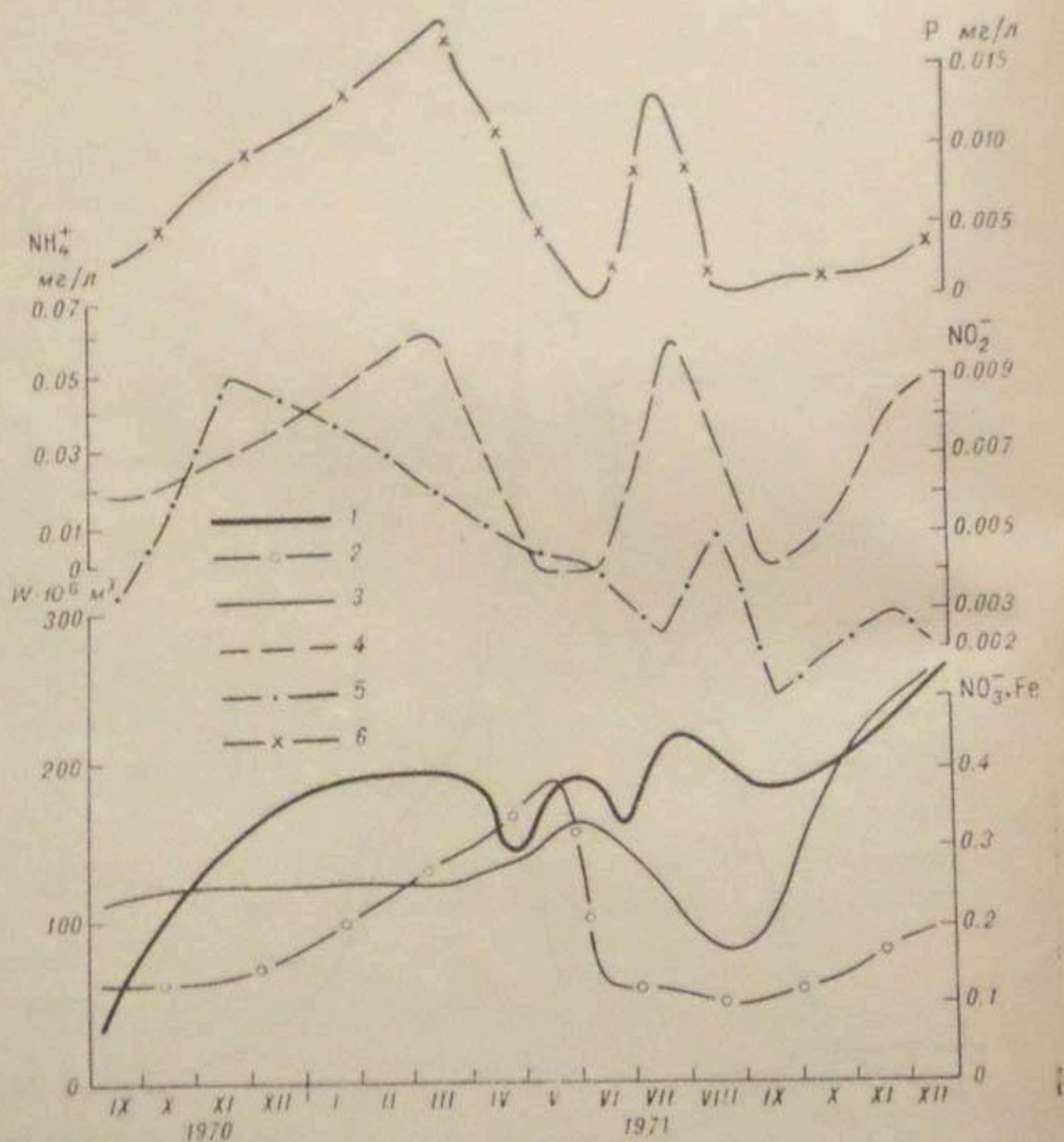


Рис. 3. Динамика биогенных элементов в воде приплотинного участка Чарвакского водохранилища (поверхностный слой). 1 — расходы воды, 2 — Fe, 3 —  $N_{NO_3^-}$ , 4 —  $N_{NH_4^+}$ , 5 —  $N_{NO_2^-}$ , 6 — P.



Пределы колебаний показателей содержания органического вещества в воде Чарвакского водохранилища и впадающих в него рек в разные сезоны 1971 г.

| Показатель                           | Зима (XII—II)          | Весна (III—V)          | Лето (VI—VIII)         | Осень (IX—XI)          |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Чарвакское водохранилище             |                        |                        |                        |                        |
| Перманганатная окисляемость, мгО/л   | 0,62—0,78<br>0,85—1,01 | 0,47—1,28<br>0,78—1,36 | 0,70—1,26<br>1,24—3,50 | 0,70—1,18<br>1,01—1,50 |
| Бихроматная окисляемость, мгО/л      | 1,33—1,52<br>1,90—2,28 | 1,46—2,85<br>2,66—3,98 | 1,10—2,35<br>1,66—5,10 | 1,54—1,92<br>1,92—2,30 |
| БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л | 0,64—1,10<br>0,96—1,34 | 1,09—2,46<br>1,50—2,84 | 0,84—1,58<br>1,57—2,23 | 0,60—1,33<br>1,30—2,19 |
| р. Пскем — с. Нанай                  |                        |                        |                        |                        |
| ПО мгО/л                             | 0,39                   | 0,78—1,04              | 0,57—1,19              | 0,54—0,94              |
| БО мгО/л                             | 0,84                   | 2,09—2,70              | 1,18—1,92              | 1,15—1,54              |
| БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л | 0,60                   | 1,12—1,59              | 0,77—1,70              | 0,60—0,68              |
| р. Коксу — с. Бурчмулла              |                        |                        |                        |                        |
| ПО мгО/л                             | 0,39                   | 0,55—1,12              | 0,14—1,21              | 0,62—0,94              |
| БО мгО/л                             | 0,76                   | 1,99—2,47              | 0,38—2,35              | 1,15—1,54              |
| БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л | 0,71                   | 1,59—2,19              | 0,63—1,15              | 1,11—1,58              |
| р. Чаткал — с. Аурахмат              |                        |                        |                        |                        |
| ПО мгО/л                             | 0,47                   | 0,55—1,48              | 0,63—0,93              | 1,01—1,02              |
| БО мгО/л                             | 0,95                   | 1,99—2,28              | 0,92—2,16              | 1,73                   |
| БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л | 0,52                   | 1,13—2,16              | 0,80—1,27              | 1,23—1,53              |
| р. Авлиясай                          |                        |                        |                        |                        |
| ПО мгО/л                             |                        | 0,78—1,84              | 4,16—4,28              | 1,89—2,60              |
| БО мгО/л                             |                        | 2,70—4,75              | 7,10—7,18              | 3,38—5,38              |
| БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л |                        | 1,98—2,65              | 3,17—3,41              | 2,24—2,57              |
| р. Шаркрамсай                        |                        |                        |                        |                        |
| ПО мгО/л                             |                        | 0,71—1,84              | 1,12—2,20              | 2,72—5,05              |
| БО мгО/л                             |                        | 2,70—4,47              | 1,92—3,68              | 5,64—5,76              |
| БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л |                        | 1,68—3,00              | 2,24—2,28              | 2,71—3,04              |
| р. Кайнарсай                         |                        |                        |                        |                        |
| ПО мгО/л                             |                        | 0,94—1,76              | 1,50—3,02              | 1,66—3,03              |
| БО мгО/л                             |                        | 3,55—4,47              | 2,92—5,95              | 3,01—6,14              |
| БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л |                        | 2,13—6,27              | 2,51—2,63              | 2,27—2,98              |



| Показатель                           | Зима (XII—II) | Весна (III—V) | Лето (VI—VIII) | Осень (IX—XI) |
|--------------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| р. Сыджаксай                         |               |               |                |               |
| ПО мгО/л                             |               | 1,33—2,16     | 1,33—3,64      | 1,63—2,34     |
| БО мгО/л                             |               | 3,98—7,60     | 1,66—6,17      | 2,30—3,38     |
| БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л |               | 2,16—2,57     | 2,05—2,83      | 1,95—2,58     |
| р. Чимгансай                         |               |               |                |               |
| ПО мгО/л                             |               | 0,88—2,88     | 3,41           | 1,16          |
| БО мгО/л                             |               | 4,94—5,33     | 4,23           | 1,92          |
| БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л |               | 0,90—1,45     | 2,98           | 1,86          |
| р. Чирчик—в 0,5 км от плотины        |               |               |                |               |
| ПО мгО/л                             | 0,62          | 0,47—0,80     | 0,56—0,91      | 0,54—1,25     |
| БО мгО/л                             | 1,33          | 1,99—2,47     | 0,96—1,84      | 1,15—1,92     |
| БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л | 0,93          | 1,04—2,78     | 0,87—0,98      | 0,98—1,88     |

кремния выражена слабо. Максимальное количество кремния (4,21 мг/л) было обнаружено в июне в центральной части водохранилища на глубине 62,5 м. Содержание кремния в воде мелких водотоков в различные периоды изменяется от 2,22 до 6,73 мгSi/л.

Концентрация биогенных элементов в воде р. Чирчик связана с расходами воды из водохранилища и полностью зависит от изменений, происходящих в нем (рис. 2). На рис. 3 в качестве примера показана динамика биогенных элементов в воде приплотинного участка водохранилища (поверхностный слой); на рисунке видно, что с началом наполнения водохранилища происходит увеличение концентрации всех биогенных элементов в связи с влиянием целого ряда факторов, описанных выше.

Следует отметить, что динамика биогенных элементов в воде Чарвакского водохранилища еще далеко не устойчива и в последующие годы будет претерпевать значительные изменения по акватории и особенно по глубинам.

**Органическое вещество.** Количество органического вещества в водах Чарвакского водохранилища определялось нами косвенными методами. К этим методам относятся: 1) перманганатный при нагревании (метод Кубеля); 2) бихроматный; 3) биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>).

Как известно, перманганатный метод не обеспечивает полного окисления различных органических соединений. Однако по величине перманганатной окисляемости (ПО) можно определить содержание органического углерода. По данным Б. А. Скопинцева и Л. П. Крыловой [8], в пресных водах величина ПО, выраженная в мгО/л, близка к величине органического углерода;



крайние величины этого отношения составляют 0,65—1,1. Содержание органического углерода в органических веществах принимают приближенно за 50% [2, 7]. Таким образом, по величине ПО можно ориентировочно судить о содержании органического вещества в воде.

Применением бихроматной окисляемости (БО) достигается практически полное окисление органического вещества [4, 5].

По БПК<sub>5</sub> также можно судить о содержании органического вещества.

В табл. 2 приводятся пределы колебаний показателей содержания органического вещества в воде Чарвакского водохранилища.

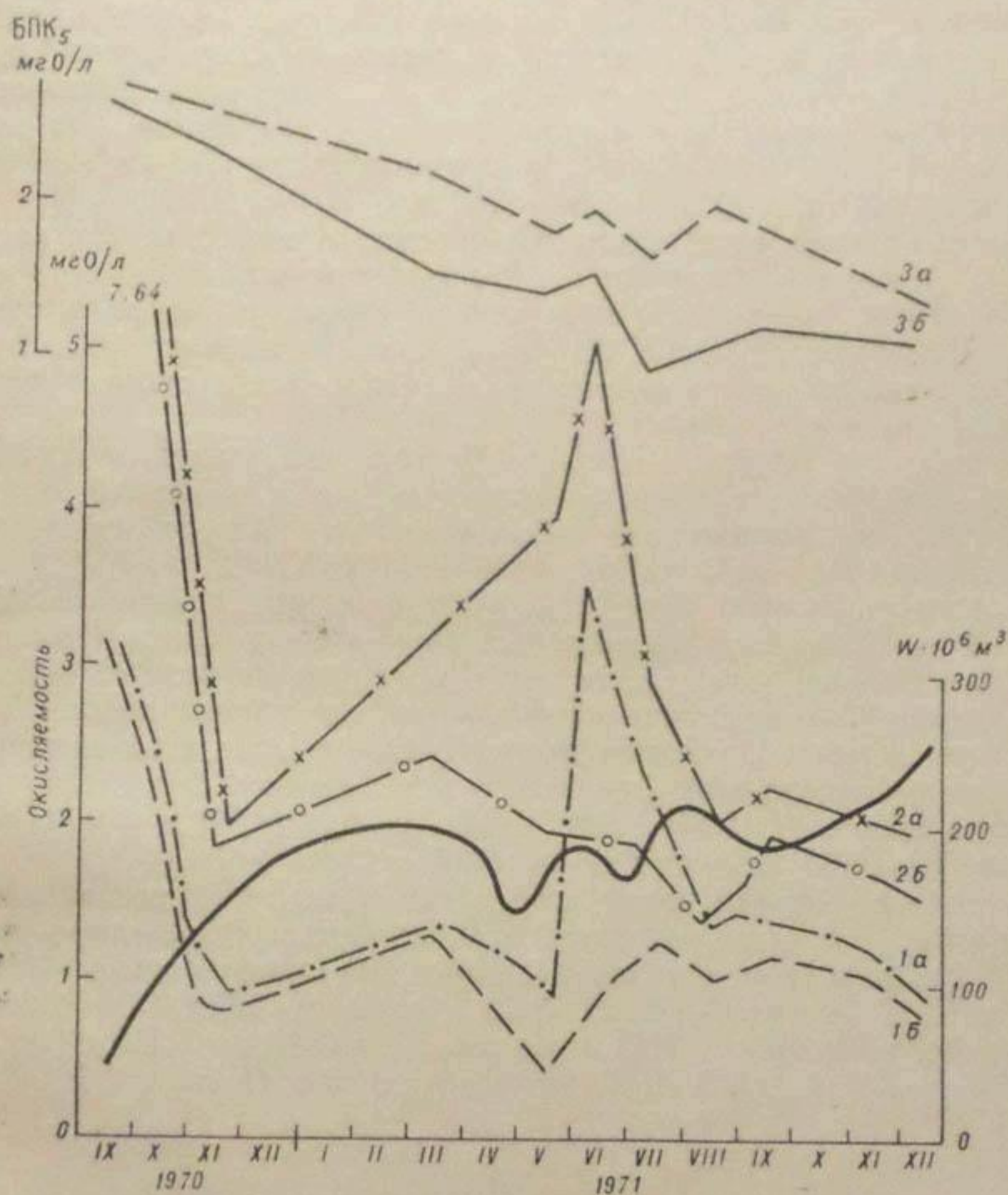


Рис. 4. Динамика окисляемости и БПК<sub>5</sub> в воде приплотинного участка Чарвакского водохранилища.

1а — перманганатная окисляемость у дна, 1б — перманганатная окисляемость у поверхности, 2а — бихроматная окисляемость у дна, 2б — бихроматная окисляемость у поверхности, 3а — БПК<sub>5</sub> у дна, 3б — БПК<sub>5</sub> у поверхности.



на, а также некоторых рек (речек), питающих его в различные сезоны 1971 г. На рис. 4 в качестве примера показана динамика окисляемости и БПК<sub>5</sub> в воде приплотинного участка Чарвакского водохранилища с начала его наполнения.

Максимальное количество органического вещества, обнаруженное в сентябре 1970 г., имело аллохтонное происхождение, так как во мере наполнения водохранилища затопливались почвы-грунты, остатки растительных и животных организмов. За все время исследования количество взвешенных веществ в этот период было максимальным (26,0 мг/л). Поэтому в начале наполнения ПО была выше 3,0 мгО/л, БО — 7,6 мгО/л, а БПК<sub>5</sub> достигла 2,60 мгО<sub>2</sub>/л.

По мере увеличения объема воды в водохранилище происходило разбавление органического вещества за счет вод, поступающих из рек Искем, Коксу, Чаткал. К концу осени количество органического вещества в водохранилище уменьшается. Так, в ноябре величина ПО колебалась в пределах 0,75–1,06 мгО/л, БО — 1,88–3,01 мгО/л, а БПК<sub>5</sub> — 1,34–2,40 мгО<sub>2</sub>/л.

Максимальное содержание органического вещества (за период 1971 г.) в воде водохранилища было летом (табл. 2). При этом в придонных слоях воды содержание его было более высоким, чем в поверхностных, на 30–65%. Осенью содержание органического вещества уменьшается и в начале зимы становится минимальным.

В воде рек Искем, Коксу и Чаткал наибольшие количества органического вещества приходится на весенне-летний период, но общее их количество невелико. Так, ПО не превышала 1,48 мгО/л, БО — 2,70 мгО/л, а БПК<sub>5</sub> — 2,19 мгО<sub>2</sub>/л.

В воде водотоков Авлиясай, Шаркрамасай, Кайнарсай, Сыджаксай и Чимгансай содержание органического вещества значительно больше, чем в воде рек и водохранилища. Это обусловлено тем, что большинство этих водотоков расположено вблизи населенных мест. За время исследования в воде этих водотоков показатели содержания органического вещества изменялись следующим образом: ПО — от 0,71 до 4,28 мгО/л, БО — от 1,66 до 7,60 мгО/л и БПК<sub>5</sub> — от 0,90 до 6,27 мгО<sub>2</sub>/л.

В воде р. Чирчик количество органического вещества зависит от режима сработки воды из водохранилища. В сентябре, ноябре 1970 г. в воде р. Чирчик величина ПО изменялась от 0,45 до 3,16 мгО/л, БО от 1,13 до 8,23 мгО/л и БПК<sub>5</sub> от 2,60 до 3,48 мгО<sub>2</sub>/л. В 1971 г. ПО колебалась от 0,47 до 1,25 мгО/л, БО от 0,96 до 2,47 мгО/л и БПК<sub>5</sub> от 0,87 до 2,78 мгО<sub>2</sub>/л.

## ВЫВОДЫ

1. В начальный период возникновения Чарвакского водохранилища в воде его наблюдалось повышенное содержание биогенных элементов и органического вещества, что было обусловлено



инанием затопленных почво-грунтов, остатков растительных животных организмов, попавших в зону затопления, а также эрозией берегов.

2. С 1971 г. в водохранилище обнаруживается вертикальная стратификация в содержании биогенных элементов и органического вещества с увеличением их концентрации в придонных водах.

3. В воде мелких водотоков, впадающих в водохранилище, содержание биогенных элементов и органического вещества значительно больше, чем в воде рек Пскем, Коксу и Чаткал, но из-за малых расходов воды эти водотоки не могут оказывать существенного влияния на режим биогенных элементов и органического вещества в воде водохранилища.

4. Внутригодовой ход биогенных элементов и органического вещества в воде р. Чирчик в 0,5 км от плотины зависит от режима их в водохранилище и от режима сброса воды из водохранилища.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алекин О. А. Химический анализ вод суши. Л., Гидрометеиздат, 1954. 199 с.
- Брызгалов В. А., Семенов А. Д. О количественном определении общего содержания органических веществ в природных водах. — «Гидрохим. материалы», 1966, т. 41, с. 63—69.
- Методы химического и бактериологического анализа воды. М., Медгиз, 1953. 280 с. Авт.: Драчев С. М., Разумов А. С., Бруевич С. В., Скопинцев Б. А., Голубева М. Г.
- Монакова С. В., Скопинцев Б. А. Сопоставление некоторых вариантов метода определения бихроматной окисляемости в природных водах. — В кн.: Материалы к совещанию по прогнозированию содержания биогенных элементов и органического вещества в водохранилищах. Рыбинск, 1969, с. 156—162.
- Николаева Е. А. О бихроматном методе определения окисляемости органических веществ в пресных водах. — «Гидрохим. материалы», 1953, т. 20, с. 68—77.
- Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природных вод. М., «Недра», 1970. 488 с.
- Скопинцев Б. А. О соотношении между кислородом окисляемости, органическим углеродом и общим содержанием органических веществ в природных водах. — «Гидрохим. материалы», 1950, т. 18, с. 57—58.
- Скопинцев Б. А., Крылова Л. П. Вынос органического вещества крупнейшими реками Советского Союза. — «ДАН СССР», 1955, т. 105, № 4, с. 770—773.



Е. М. ВИДИННОВА

## ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КАТТАКУРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Каттакурганское водохранилище расположено в предгорьях Зерабулакских гор в 5,5 км юго-западнее г. Каттакургана (Самаркандская область). Строительство водохранилища было начато в 1941 г., закончено в 1953 г. Наполняется водохранилище водой р. Зарафшана из левой его протоки — р. Карадарьи — с помощью подводящего канала. В 1967 г. была закончена реконструкция плотины, при этом она была поднята на 3 м. После реконструкции полный объем водохранилища вырос с 625,1 до 835,1 млн. м<sup>3</sup>. Вода водохранилища используется для орошения земель Бухарской и Самаркандской областей.

Основной приходной статьей водного баланса Каттакурганского водохранилища является приток воды по подводящему каналу [4], поэтому естественно предположить, что и гидрохимический режим водохранилища должен быть сходен с гидрохимическим режимом канала и р. Карадарьи у Ак-Карадарьинского вододелителя, ниже которого вода забирается подводящим каналом.

В рамках настоящей статьи из-за ее ограниченного объема трудно осветить все элементы гидрохимического режима водохранилища, поэтому ниже говорится лишь об общей минерализации и относительном составе воды.

### Река Карадарья у Ак-Карадарьинского вододелителя и подводящий канал Каттакурганского водохранилища

Величина общей минерализации воды р. Карадарьи за четыре года наблюдений (1966—1969) колебалась от 186,5 до 397,5 мг/л. Внутри года общая минерализация меняется следующим образом. В марте отмечается максимум ее, затем одновременно с ростом расходов воды в реке идет уменьшение минерализации до июля. В июле минимум минерализации совпадает с максимумом половодья. В августе начинается увеличение минерализации, длящееся до марта (табл. 1). Максимум минера-



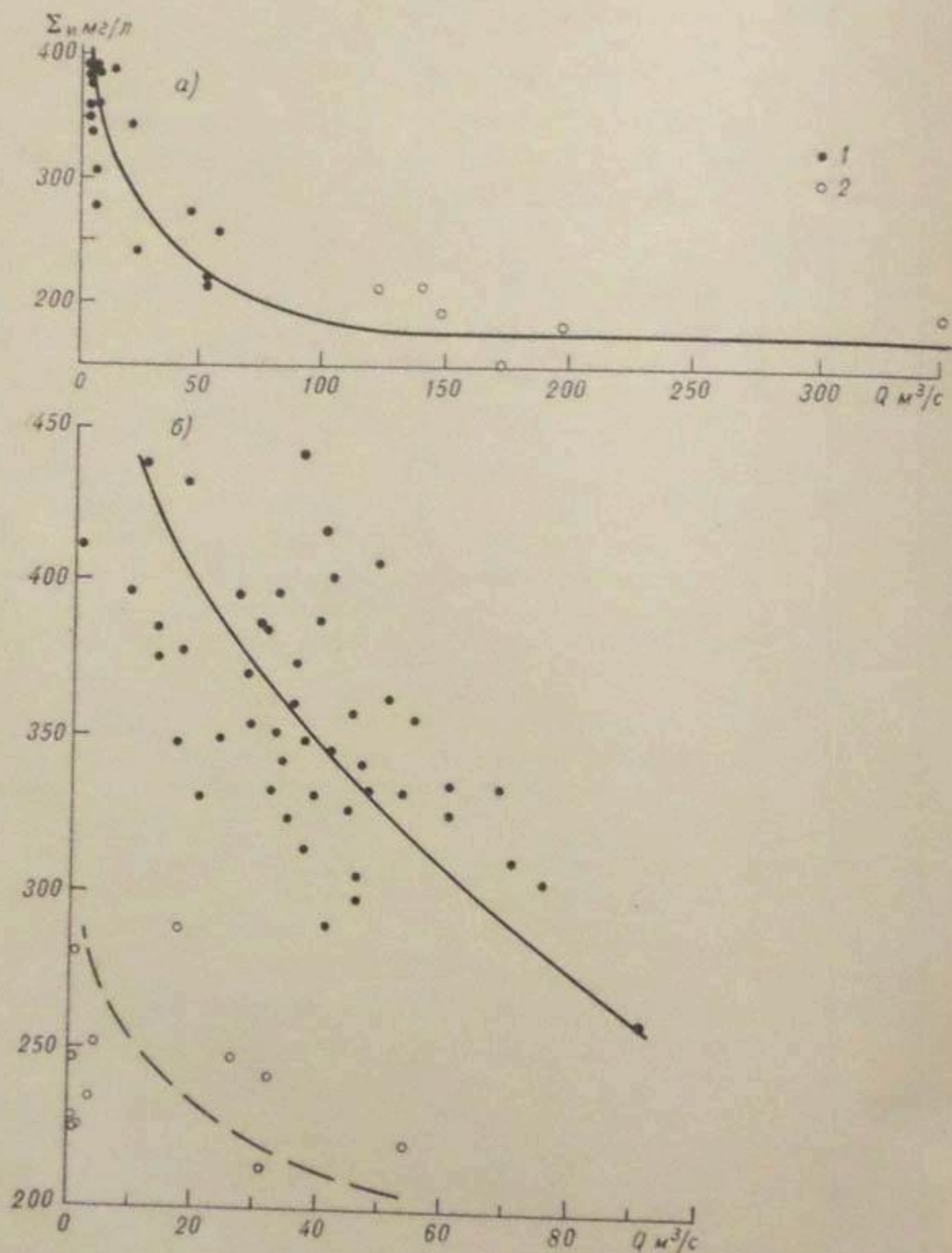
Среднее многолетнее внутригодовое распределение водоносности и общей минерализации р. Карадарья  
и подводящего канала

| Характеристика                                                 | I    | II   | III  | IV   | V    | VI  | VII | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|----------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| р. Карадарья — Ак-Карадарьинский вододельитель (1965—1968 гг.) |      |      |      |      |      |     |     |      |      |      |      |      |
| Расход воды, м <sup>3</sup> /с . . . . .                       | 6,0  | 6,0  | 9,0  | 13,0 | 30,8 | 175 | 196 | 93,0 | 54,8 | 28,6 | 18,0 | 10,0 |
| Сумма ионов, мг/л . . . . .                                    | 373  | 385  | 386  | 368  | 287  | 222 | 196 | 203  | 217  | 293  | 268  | 352  |
| Подводящий канал — устье (1954—1968 гг.)                       |      |      |      |      |      |     |     |      |      |      |      |      |
| Расход воды, м <sup>3</sup> /с . . . . .                       | 30,3 | 29,0 | 29,0 | 32,5 | 30,3 | 6,5 | 4,2 | 1,5  | 2,4  | 19,0 | 41,0 | 37,3 |
| Сумма ионов, мг/л . . . . .                                    | 388  | 394  | 400  | 368  | 290  | 257 | 228 | 215  | 297  | 322  | 351  | 352  |



лизации воды совпадает с концом межени, так как в это время река питается из самых глубоких водоносных горизонтов, дренируемых ею. Вода этих горизонтов наиболее длительное время соприкасается с грунтами и, следовательно, наиболее минерализована.

Внутригодовой ход общей минерализации воды подводящего канала Каттакурганского водохранилища такой же, как



Зависимость общей минерализации от расходов воды р. Карадарьи (а) и подводящего канала Каттакурганского водохранилища (б).

1 — сентябрь — май; 2 — июнь — август.



и у р. Карадарьи, с той лишь разницей, что минимум минерализации отмечается в августе (табл. 1). Вода в подводящем канале более минерализована, чем в р. Карадарье. За период нормальной эксплуатации она колебалась от 201,6 до 440,9 мг/л.

Зависимость общей минерализации воды р. Карадарьи от расходов воды слабая, но хорошо видна тенденция к уменьшению минерализации с ростом расходов (см. а на рисунке). Интересно, что точки, соответствующие периоду половодья (июнь—август), расположились правее остальных, причем в это время минерализация остается почти постоянной. Аналогичная зависимость для подводящего канала Каттакурганского водохранилища оказалась еще слабее (см. б на рисунке). Точки, соответствующие периоду половодья, также расположились отдельно от остальных — ниже и левее них.

В естественных водотоках линия связи  $\Sigma u = f(Q)$  для лета лежит выше линии такой связи для меженного периода [2], в подводящем же канале, наоборот, наименьшим расходам соответствует малая минерализация воды. Наименьшие расходы воды в подводящем канале отмечаются в июне — августе. Хотя в это время на р. Зарафшане половодье и проходит свыше 60% годового стока [5], но заборы воды на орошение из реки так велики, что воды не хватает, и в августе подводящий канал часто пересыхает. Поскольку канал забирает из реки в это время талую воду, то минерализация ее в этот период минимальная.

Внутригодовое распределение содержания основных ионов в воде р. Карадарьи и подводящего канала хорошо согласуется с распределением общей минерализации: минимум приходится на июль — август, максимум — на февраль — март.

Относительный состав воды р. Карадарьи и подводящего канала похож: в течение всего года основную часть анионов составляет  $\text{HCO}_3^-$ , второе место принадлежит  $\text{SO}_4^{2-}$ , последнее — анионам  $\text{Cl}^-$ . Из катионов преобладает  $\text{Ca}^{2+}$ , второе место принадлежит  $\text{Mg}^{2+}$ , третье —  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ . Следовательно, по относительному составу вода этих водотоков в течение всего года гидрокарбонатно-кальциевая второго типа (по классификации О. А. Алекина [1]).

### Каттакурганское водохранилище

Общая минерализация. Пробы воды на химический анализ в период с 1954 по 1957 г. отбирались на семи рейдовых вертикалях, результаты анализов помещены в гидрологических ежегодниках. С 1958 г. пробы воды стали отбирать только на одной, 2-й вертикали, а результаты печатать в «Материалах наблюдений на озерах и водохранилищах».

Для 2-й вертикали были подсчитаны средние за период нормальной эксплуатации (1958—1968 гг.) величины общей мине-



рализации и содержания главных ионов. Экстремальные значения общей минерализации за 11 лет составили: 301 мг/л в августе 1964 г. и 1443 мг/л в октябре 1965 г. В среднем за 11 лет минерализация воды изменялась внутри года следующим образом: в июне — июле отмечался ее минимум, затем она росла и в сентябре — октябре наблюдался ее максимум (табл. 2).

Как известно, на многих реках и в русловых водохранилищах максимум минерализации воды приходится на конец зимней межени [1, 3]. В р. Карадарье и подводящем канале вода наиболее минерализована в марте — апреле, затем в период половодья минерализация падает, маломинерализованная вода поступает в водохранилище, что и обуславливает минимум минерализации в июне — июле. Сработка водохранилища начинается в среднем в мае, в августе — сентябре она заканчивается, уровни в водохранилище становятся наименьшими. Минерализация же в этот период возрастает, достигая в сентябре — октябре годового максимума (табл. 2). Объясняется это явление тем, что под ложем Каттакурганского водохранилища имеется подземная регулирующая емкость [4], более минерализованные воды которой начинают интенсивно стекать в водохранилище в период наинизших горизонтов в нем (август — сентябрь). В ноябре начинается наполнение водохранилища, длящееся до мая. Минерализация воды в нем в течение всей зимы удерживается довольно высокой.

Изменение минерализации воды Каттакурганского водохранилища происходит не только по сезонам года, но и по глубине, и по акватории его.

За счет перемешивания воды вследствие значительных ветров в районе водохранилища величина общей минерализации воды в придонных слоях его близка к поверхностной. Внутригодовой ход минерализации воды в придонных слоях мало отличается от внутригодовых колебаний ее в поверхностных слоях.

До 1958 г. пробы воды на химический анализ отбирались по всей акватории водохранилища (на семи рейдовых вертикалях). По этим данным нами были построены карты распределения общей минерализации по поверхности в изогалинах. Анализ карт показал, что районам с большими глубинами во все месяцы года соответствует меньшая минерализация, и наоборот. Особенно заметно это в мелководных районах, обнажающихся из-под воды в периоды максимальной сработки водохранилища. При обсыхании этих участков соли от испаряющейся воды остаются на поверхности, а затем при затоплении растворяются в воде, несколько повышая ее минерализацию по сравнению с глубоководными районами. Аналогичное явление наблюдается на берегах Карловского водохранилища в Донбассе [2].

При сравнении внутригодового изменения минерализации воды в водохранилище в маловодном 1965 г. и в многоводном 1964 г. оказалось, что в оба эти года внутригодовой ход минерализации близок к среднему многолетнему, но в маловодном



Средние многолетние величины содержания главных ионов и общей минерализации в воде Каттакурганского водохранилища за 1958—1968 гг.

| Ионы                       | Форма выражения концентрации | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|----------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\text{Ca}^{2+}$           | мг/л                         | 50,3 | 51,3 | 54,2 | 50,5 | 45,9 | 45,8 | 39,9 | 47,7 | 70,4 | 81,1 | 50,6 | 68,8 |
|                            | % экв                        | 22,8 | 23,8 | 25,3 | 23,4 | 23,2 | 22,4 | 19,9 | 19,1 | 17,0 | 20,0 | 24,1 | 22,3 |
| $\text{Mg}^{2+}$           | мг/л                         | 24,8 | 22,6 | 23,1 | 23,2 | 21,5 | 21,5 | 23,6 | 29,7 | 47,1 | 43,4 | 23,0 | 33,1 |
|                            | % экв                        | 18,6 | 17,4 | 17,6 | 17,7 | 17,9 | 17,9 | 19,9 | 18,0 | 18,3 | 16,1 | 18,0 | 17,1 |
| $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ | мг/л                         | 21,7 | 24,0 | 19,6 | 29,8 | 22,7 | 24,1 | 26,7 | 44,3 | 91,7 | 89,4 | 21,0 | 50,8 |
|                            | % экв                        | 8,6  | 8,8  | 7,3  | 10,4 | 9,1  | 9,6  | 10,5 | 12,0 | 13,3 | 5,3  | 8,0  | 10,5 |
| $\text{HCO}_3^-$           | мг/л                         | 181  | 184  | 173  | 152  | 161  | 149  | 141  | 134  | 126  | 206  | 172  | 175  |
|                            | % экв                        | 26,9 | 28,3 | 26,4 | 24,5 | 26,7 | 24,7 | 23,2 | 18,6 | 12,3 | 17,0 | 32,1 | 21,9 |
| $\text{SO}_4^{2-}$         | мг/л                         | 104  | 91,8 | 105  | 111  | 97,3 | 103  | 129  | 170  | 317  | 323  | 100  | 203  |
|                            | % экв                        | 19,6 | 17,7 | 20,1 | 20,9 | 20,2 | 21,5 | 22,9 | 25,7 | 30,5 | 26,4 | 19,6 | 22,9 |
| $\text{Cl}^-$              | мг/л                         | 12,0 | 14,9 | 11,0 | 15,0 | 10,2 | 13,6 | 13,9 | 29,7 | 58,4 | 68,4 | 10,5 | 36,0 |
|                            | % экв                        | 3,1  | 3,8  | 2,9  | 3,8  | 2,9  | 3,8  | 3,4  | 5,6  | 7,2  | 3,4  | 2,8  | 4,7  |
| $\Sigma_{\text{и}}$        | мг/л                         | 394  | 389  | 386  | 382  | 359  | 357  | 374  | 455  | 721  | 811  | 377  | 567  |



1965 г. минерализация даже летом в период наименьших значений была выше, чем в многоводном 1964 г. осенью. Средняя годовая минерализация в 1965 г. оказалась в 1,8 раза выше, чем в 1964 г., вследствие того что в маловодном году в питании водохранилища повышается роль подземных вод, более минерализованных, чем поверхностные.

В отличие от р. Карадарьи и подводящего канала, вода которых в течение всего года остается гидрокарбонатной, в Каттакурганском водохранилище относительный состав воды меняется в течение года. Так, с января по июль и в ноябре в воде среди анионов преобладает  $\text{HCO}_3^-$ ; в августе, сентябре — октябре и декабре преобладающими являются ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ . Среди катионов в течение всего года, кроме сентября, преобладают ионы  $\text{Ca}^{2+}$ , в сентябре они уступают первое место ионам  $\text{Mg}^{2+}$  (табл. 2). Следовательно, вода в Каттакурганском водохранилище, согласно классификации Алекина [1], с января по июль является гидрокарбонатной, кальциевой группы второго типа. В августе, октябре и декабре она становится сульфатной, кальциевой группы второго типа, а в сентябре она тоже сульфатная, но магниевой группы.

Как указывалось выше, в августе — октябре в водохранилище выклинивается подземная вода, скопившаяся в период высокого стояния уровней в подземной регулирующей емкости. Так как в это время воды в водохранилище очень мало, то роль подземного притока в формировании состава воды повышается, и состав ее меняется. В ноябре этот фактор играет меньшую роль, потому что начинается интенсивное наполнение водохранилища зарафшанской водой — приток по подводящему каналу в отдельные годы возрастает по сравнению с октябрём в 4—5 раз, вода в водохранилище становится, как и в р. Зарафшане, гидрокарбонатной.

Чтобы выявить изменения в соотношении отдельных ионов при изменении общей минерализации, строились связи абсолютного и относительного содержания главных ионов с величиной общей минерализации. Выяснилось, что с ростом ее относительный состав воды меняется. При минимальной минерализации (около 300 мг/л) летом состав воды характеризуется наибольшим содержанием ионов  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$ . С увеличением общей минерализации относительное содержание  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$  падает, содержание же  $\text{SO}_4^{2-}$  и суммы щелочных ионов возрастает. При этом содержание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  интенсивно растет от 18 до 32% экв с ростом минерализации от 300 до 700 мг/л. Естественно, что относительное содержание ионов  $\text{HCO}_3^-$  при этом падает с 30 до 10—12% экв. При дальнейшем возрастании суммы ионов содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  остается примерно постоянным — около 32 и 10—12% экв соответственно.

Сравнивая изменения внутри года содержания основных



ов в воде подводящего канала и Каттакурганского водохранилища, можно заметить, что водохранилище сглаживает изменчивость относительного состава воды.

### ВЫВОДЫ

1. Химический состав воды Каттакурганского водохранилища определяется химическим составом воды р. Зарафшана и подного притока.
2. Внутригодовой ход общей минерализации воды Каттакурганского водохранилища отличается от хода минерализации вод подводящего канала и р. Карадарьи: максимум отмечается не в конце межени, а в сентябре — октябре.
3. Относительный состав воды Каттакурганского водохранилища меняется внутри года: с января по июль и в ноябре она гидрокарбонатная, а в августе-декабре — сульфатная.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алекси О. А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеониздат, 1970. 444 с.
- Баранов В. А., Попов Л. Н. Исследование водно-солевого режима и баланса Карловского водохранилища. — «Тр. ВОДГЕО», 1968. 68—99 с.
- Видинеева Е. М., Селиванова А. К. Влияние Кайраккумского водохранилища на гидрохимический режим реки Сырдарьи. — «Сб. работ ТГМО», 1971, вып. 4, с. 185—195.
- Бейзвих В. Н. Водный баланс водохранилищ Узбекистана. — «Тр. ТашГУ», 1967, вып. 330, с. 175—205.
- Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Л., Гидрометеониздат, 1965. 692 с.



## СОЛЕВОЙ БАЛАНС КУЮМАЗАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Куюмазарское водохранилище, строительство которого было завершено в 1959 г., расположено в естественной котловине в низовьях р. Зарафшан и предназначено для орошения Каракульского оазиса.

В первые годы работы водохранилище наполнялось водой р. Зарафшан, а с 1966 г. дополнительно подпитывается водами р. Амударьи по Аму-Бухарскому каналу. Наполнение водохранилища начато 1 октября 1957 г. и закончено в паводок 1958 г. С 1959 г. оно введено в режим нормальной эксплуатации и работает в два такта, каждый из которых состоит из наполнения с последующим частичным или полным опорожнением. При первом такте наполнение начинается в апреле и длится до июня, затем следует интенсивная сработка, длящаяся до сентября. При втором такте с октября до января водохранилище наполняется, а в феврале и марте частично срабатывается [8].

Куюмазарское водохранилище расположено в засушливом районе с высокой испаряемостью. Основное питание оно получает из низовьев р. Зарафшан, где в питании самой реки заметную роль играют возвратные воды, поэтому вода в Куюмазарском водоеме более минерализована, чем в других водохранилищах Средней Азии.

На основании данных о водном балансе, приводимых в «Ежемесячных бюллетенях УГМС УзССР», автором был составлен солевой баланс Куюмазарского водохранилища за 1965—1970 гг.

Химический состав воды водохранилищ определяется совокупностью факторов, из которых нами учитывались лишь основные. Общий вид уравнения солевого баланса следующий:

$$S_{п.к} + S_{А-Б.к} + S_{атм} = S_{о.к} + S_{исп} \pm S_{акк},$$

где  $S_{п.к}$  и  $S_{А-Б.к}$  — поступление солей по подводящему и Аму-Бухарскому каналам;  $S_{атм}$  — количество солей, вносимых из атмосферы с осадками;  $S_{о.к}$  — вынос солей с водами отводящего канала;  $S_{акк}$  — прирост или убыль общего количества солей.



растворенных в воде водохранилища (аккумуляция);  $S_{исп}$  — расход солей из водохранилища при испарении.

Солевой баланс составлялся на основе водного баланса помесячно. Все составляющие приходной и расходной частей уравнения солевого баланса получены умножением элементов водного баланса на соответствующие концентрации.

Отбор проб воды на анализ производится на каналах не ежемесячно. Поэтому при составлении баланса минерализация воды подводящем и отводящем каналах определялась по хроноло-

Таблица 1

Внутригодовое распределение общей минерализации воды (г/л)  
в среднем за 1965—1970 гг.

| Название водного объекта             | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Подводящий канал . . . . .           | 1,02 | 1,69 | 1,43 | 1,41 | 1,15 | 0,74 |
| Му-Бухарский канал . . . . .         | 0,89 | 0,97 | 1,62 | 0,90 | 0,81 | 0,92 |
| Куюмазарское водохранилище . . . . . | 0,85 | 0,83 | 0,83 | 0,99 | 0,97 | 0,99 |
| Отводящий канал . . . . .            | 0,87 | —    | 0,89 | 1,03 | 1,06 | 0,89 |

| Название водного объекта             | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Подводящий канал . . . . .           | 0,79 | 0,67 | 0,85 | 1,28 | 1,07 | 1,08 |
| Му-Бухарский канал . . . . .         | 0,47 | 0,77 | 0,90 | 1,05 | 1,09 | 1,11 |
| Куюмазарское водохранилище . . . . . | 0,98 | 0,94 | 1,05 | 0,80 | 0,99 | 0,86 |
| Отводящий канал . . . . .            | 0,93 | 0,99 | —    | 1,11 | —    | 0,93 |

гическим графикам связи минерализации с расходами воды. Для подводящего канала эта связь гиперболическая, однозначная, естественная. Для отводящего канала получены две линии связи, так как точки, соответствующие августовским пробам, легли значительно выше остальных. Объясняется это некоторыми особенностями внутригодового распределения минерализации воды Куюмазарского водохранилища и, следовательно, отводящего канала.

Наименьшая минерализация воды подводящего канала отмечается летом (июнь — август) (табл. 1). В сентябре начинается рост минерализации, так как в низовьях Зарафшана в этот период в питании реки возрастает доля более минерализованных обратных вод. Этот рост с небольшими колебаниями длится до февраля, а с марта до августа минерализация воды подводящего канала падает.



Внутригодовое распределение минерализации воды Аму-Бухарского канала мало отличается от аналогичного распределения в подводящем канале.

Куюмазарское водохранилище так же, как и Кайраккумское [3], Куйбышевское [4] и Каттакурганское, заметно сглаживает внутригодовой ход минерализации воды в нем. Так, если в подводящем канале максимум минерализации превышает минимум в 2,5 раза, то в водохранилище — всего в 1,3 раза. Самой характерной чертой гидрохимического режима Куюмазарского водохранилища является то, что минерализация воды в нем, в отличие от некоторых других водохранилищ Средней Азии, таких, как Кайраккумское, Тюябугузское, Каттакурганское и Кассансайское, особенно велика летом (июнь — сентябрь) в период наиболее интенсивной его сработки и стояния в нем низших уровней. В это время в формировании гидрохимического состояния воды возрастает роль выклинивания воды из берегов при сработке уровней. Воды в это время в водохранилище очень мало, и относительная роль этого фактора возрастает.

В отводящем канале внутригодовой ход минерализации почти такой же, как и в водохранилище. Сток в отводящем канале наибольший в августе, и минерализация воды в нем близка к наивысшей тоже в этом месяце, поэтому на зависимости общей минерализации от расходов воды, как отмечалось выше, по августовским точкам можно провести свою линию связи.

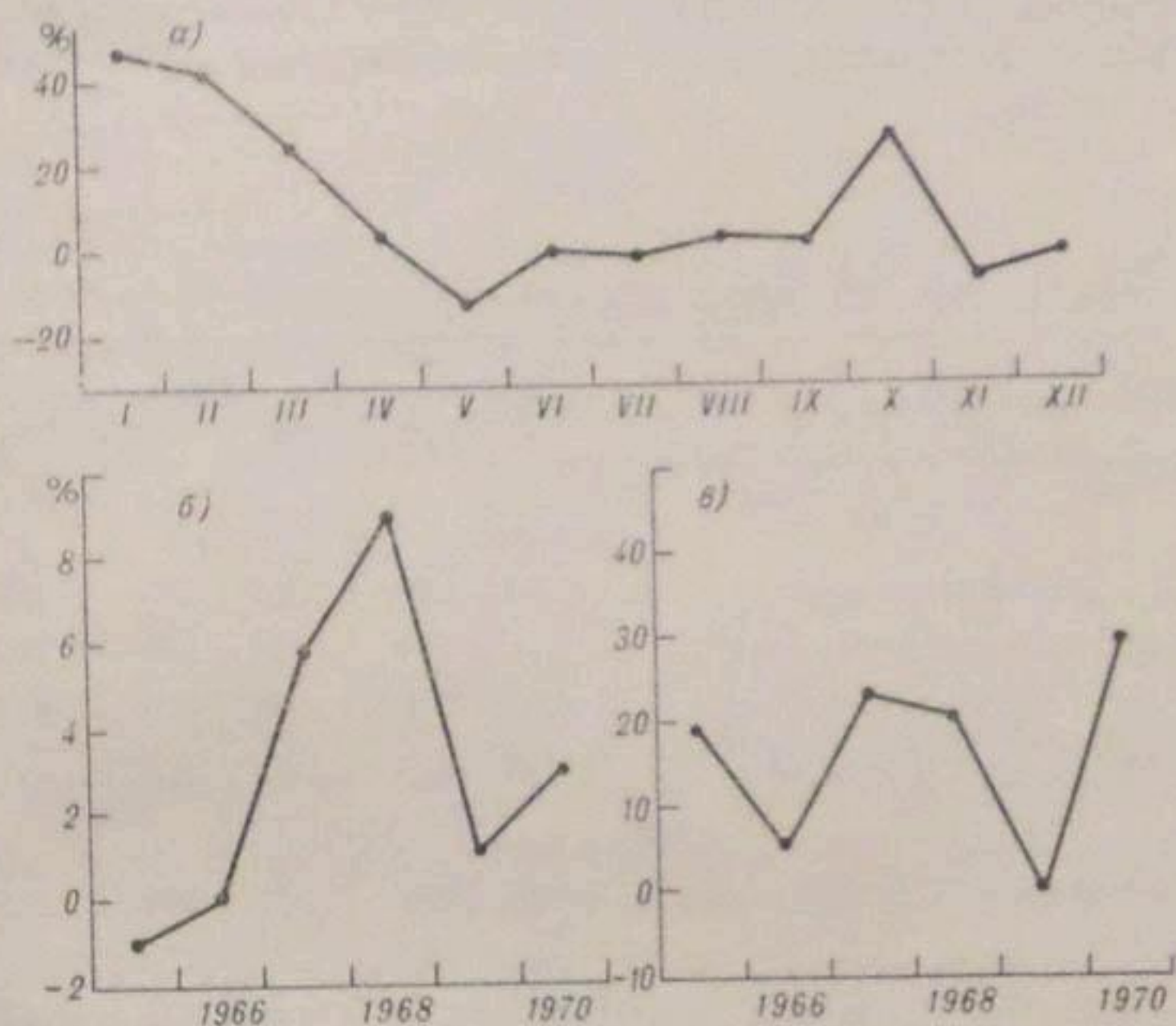
Отбор проб воды на анализ в самом водохранилище производится несколько чаще, чем в каналах, что позволило получить для водохранилища более надежные хронологические графики суммы ионов и использовать их для получения средних месячных концентраций воды водохранилища при подсчете аккумуляции солей ( $S_{\text{акк}}$ ) и выноса их при интенсивном испарении ( $S_{\text{исп}}$ ).

Многие исследователи, занимавшиеся составлением солевых балансов озер и водохранилищ [5—7], учитывали испарение только при составлении водного баланса, предполагая, что пары воды, образующиеся при этом, представляют собой дистиллят. Исследования Г. Е. Немерюка [6] показали, что при испарении отмечается миграция главных ионов, причем для пресных вод количество ионов в водяных парах выражается следующими убывающими рядами:  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$  и  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ . Кроме этого процесса, важную роль в выносе солей из водоема играет механическое испарение, происходящее при воздействии ветра на водную поверхность [2].

Для водохранилищ, где испарение значительно меньше других статей водного баланса, ошибки из-за неучета выноса солей при испарении могут лежать в пределах точности расчетов солевого баланса. Куюмазарское водохранилище — сравнительно небольшой водоем (емкость его при НПУ равна 328,45 млн. м<sup>3</sup>), но в летние месяцы испарение с его зеркала достигает значительных величин (4—7% объема водохранилища в эти месяцы). О недоучете какой-то расходной статьи солевого баланса гово-



т существенно положительный солевой баланс, полученный и наших расчетах без учета испарения, и тот факт, что в 17 учаях из 20 минерализация воды поверхностных слоев была же минерализации придонных горизонтов воды, причем эта зница особенно заметна в период максимального испарения (апрель — июль). Поэтому автором при составлении баланса была предпринята попытка учесть испарение следующим образом: ем испарившейся за месяц воды умножался на среднюю ме-



Хронологический ход невязок среднемесячного (а), годового водного (б) и годового солевого (в) балансов Куюмазарского водохранилища за 1965—1970 гг.

ачную минерализацию воды в поверхностных слоях водохранилища, и полученное количество солей суммировалось с расходными статьями баланса.

За шесть лет солевой баланс рассчитывался в двух вариантах: с учетом испарения и без него. Учет испарения несколько уменьшает невязки баланса в теплую часть года.

Поскольку Куюмазарское водохранилище наливное и не имеет притоков, то основной приходной статьей баланса является принос солей с водами подводящего канала, а расходной — вынос их с водами отводящего канала. Водоем расположен в резко засушливой зоне, поэтому осадки и подземный приток в него невелики.



По внутригодовому распределению невязок солевого баланса маловодные годы (1965) существенно отличаются от многоводных (1966): в маловодные годы невязка баланса большую часть года положительна. Отрицательными они были только в период наименьшего стояния уровня воды в водохранилище (июль — сентябрь). Предположительно это можно объяснить приносом солей водами, выклинивающимися из берегов водохранилища по мере спада уровней воды в нем при сработке. Очевидно, количество этих вод невелико, но они несомненно более минерализованы, и при небольших объемах воды в водохранилище неучет их может привести к отрицательным невязкам солевого баланса в маловодные годы.

Таблица 2

Солевой баланс (тыс. т) Куюмазарского водохранилища на 1965—1970 гг.

| Компонент баланса                    | Годы |      |       |      |       |       |
|--------------------------------------|------|------|-------|------|-------|-------|
|                                      | 1965 | 1966 | 1967  | 1968 | 1969  | 1970  |
| I. Приход                            |      |      |       |      |       |       |
| Приток по подводящему каналу . . .   | 196  | 290  | 264   | 176  | 180   | 299   |
| Приток по Аму-Бухарскому каналу . .  | —    | 164  | 164   | 236  | 18,5  | 136   |
| Осадки на зеркало водохранилища . .  | 0,23 | 0,13 | 0,42  | 0,35 | 0,60  | 0,25  |
| Сумма . . .                          | 196  | 454  | 429   | 412  | 199   | 435   |
| II. Расход                           |      |      |       |      |       |       |
| Сток по отводящему каналу . . . . .  | 265  | 232  | 326   | 302  | 238   | 320   |
| Испарение . . . . .                  | 16,1 | 20,5 | 13,7  | 17,1 | 13,3  | 10,8  |
| Сумма . . .                          | 281  | 252  | 340   | 319  | 251   | 331   |
| III. Аккумуляция                     |      |      |       |      |       |       |
| Аккумуляция в чаше водохранилища     | —136 | 153  | —10,8 | 8,4  | —51,9 | —31,4 |
| Невязка баланса абсолютная . . . . . | 50,9 | 49   | 100   | 84,8 | —0,4  | 136   |
| Невязка баланса относительная, % . . | 19,2 | 11   | 23    | 20,6 | 0,2   | 31    |

В многоводные годы невязки солевого баланса также большую часть года положительны. Отрицательными они, в отличие от маловодных лет, были в периоды наивысшего стояния уровней воды в водохранилище (апрель — июнь). Вероятнее всего, это объясняется недоучетом такой приходной статьи солевого баланса, как вымывание солей из берегов при повышении уровня воды. В. А. Баранова и Л. Н. Попов отмечали подобное явление на Карловском водохранилище: в период сработки водохранилища за счет испарения происходит отложение солей на берегах, а при последующем наполнении — их растворение [1].



В среднем за рассмотренный период максимальные положительные невязки приходятся на январь — февраль (см. а на рисунке), в период с апреля по сентябрь они равны нулю. Лишь в мае и октябре отрицательны.

Водный баланс Куюмазарского водохранилища за 1965—1970 гг. положителен, солевой баланс также положителен, но невязки его несколько выше (см. б, в на рисунке). В среднем за шесть лет минерализация воды в подводящем канале в 1,3—1,5 раза выше, чем в отводящем канале. Этот факт так же, как и положительный солевой баланс водохранилища (табл. 2), говорит об аккумуляции солей в водохранилище.

### ВЫВОДЫ

1. Куюмазарское водохранилище сглаживает внутригодовой ход минерализации воды, поступающей в него из р. Зарафшан в подводящему каналу.
2. Солевой баланс водохранилища за 1965—1970 гг. оказался положительным, что указывает на аккумуляцию солей в нем. Это подтверждается более высокой минерализацией притока по сравнению с оттоком.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранов В. А., Попов Л. Н. Исследования водно-солевого режима и баланса Карловского водохранилища. — «Тр. ВОДГЕО», 1968, с. 68—99.
- Блинов Л. К. О поступлении морских солей в атмосферу и о значении ветра в солевом балансе Каспийского моря. — «Тр. ГОИНа», 1950, вып. 15(27), с. 67—110.
- Видинеева Е. М., Селиванова А. К. Влияние Кайраккумского водохранилища на гидрохимический режим р. Сырдарьи. — «Сб. работ ТГМО», 1971, вып. 4, с. 185—195.
- Зенин А. А. Гидрохимия Волги и ее водохранилищ. Л., Гидрометеониздат, 1965. 259 с.
- Лачинова Р. Л. Водный и солевой баланс оз. Севан. — «Гидрохим. материалы», 1969, т. 51, с. 40—44.
- Немерюк Г. Е. Роль испарения при миграции солей в атмосферу. — «Гидрохим. материалы», 1969, т. 50, с. 38—47.
- Павелко И. М., Тарасов М. Н. Гидрохимический режим и солевой баланс Отказненского водохранилища в первый год его существования (1966). — «Гидрохим. материалы», 1969, т. 49, с. 48—54.
- Рейзвих В. Н. К вопросу о режиме работы водохранилищ Узбекистана. — «Сб. работ ТГМО», 1967, вып. 2, с. 121—142.
- Якушева А. С., Зенин А. А., Рогожкин В. И. Солевой баланс Цимлянского водохранилища. — «Гидрохим. материалы», 1969, т. 51, с. 51—54.



А. М. НИКИТИН, В. А. НИКОЛАЕНКО

### ВОДНО-СОЛЕВОЙ БАЛАНС ЧАРВАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Дальнейшее развитие орошаемого земледелия и гидроэнергетики в республиках Средней Азии поставило ряд практических задач в области гидрологических исследований водохранилищ Средней Азии. Важнейшей задачей этих исследований является составление водно-солевого баланса водохранилищ и предсказание изменений в их гидрохимическом режиме.

Настоящая работа посвящена вопросам составления водно-солевого баланса строящегося Чарвакского водохранилища и оценки изменения химического состава вод в связи с внутригодовым перерегулированием стока р. Чирчик.

Чарвакское водохранилище, строительство которого было начато в 1966 г., предназначено для комплексного использования водных ресурсов р. Чирчик: для целей гидроэнергетики, повышения водообеспечения орошаемого земледелия в долинах рек Чирчик и Ангрен и водоснабжения городов Ташкента и Чирчика. К концу семидесятых годов планируется строительство водопровода из водохранилища с переброской воды на расстояние более 70 км для бытового водоснабжения г. Ташкента. В связи с этим изучение компонентов водно-солевого баланса и прогноз изменения минерализации является весьма актуальным и своевременным.

Водохранилище расположено в Бурчмуллинской котловине при слиянии рек Пскем и Чаткал, занимает долины этих рек и является русловым, долинным водохранилищем сезонного регулирования стока (рис. 1). Для создания регулирующей емкости на р. Чирчик возводится каменно-набросная плотина с противофильтрационным экраном высотой 168 м.

Морфометрические характеристики водохранилища приведены в табл. 1.

Водохранилище начали наполнять в сентябре 1970 г., и к 1 января 1973 г. уровень достиг отметки 832,89 м, что соответст-



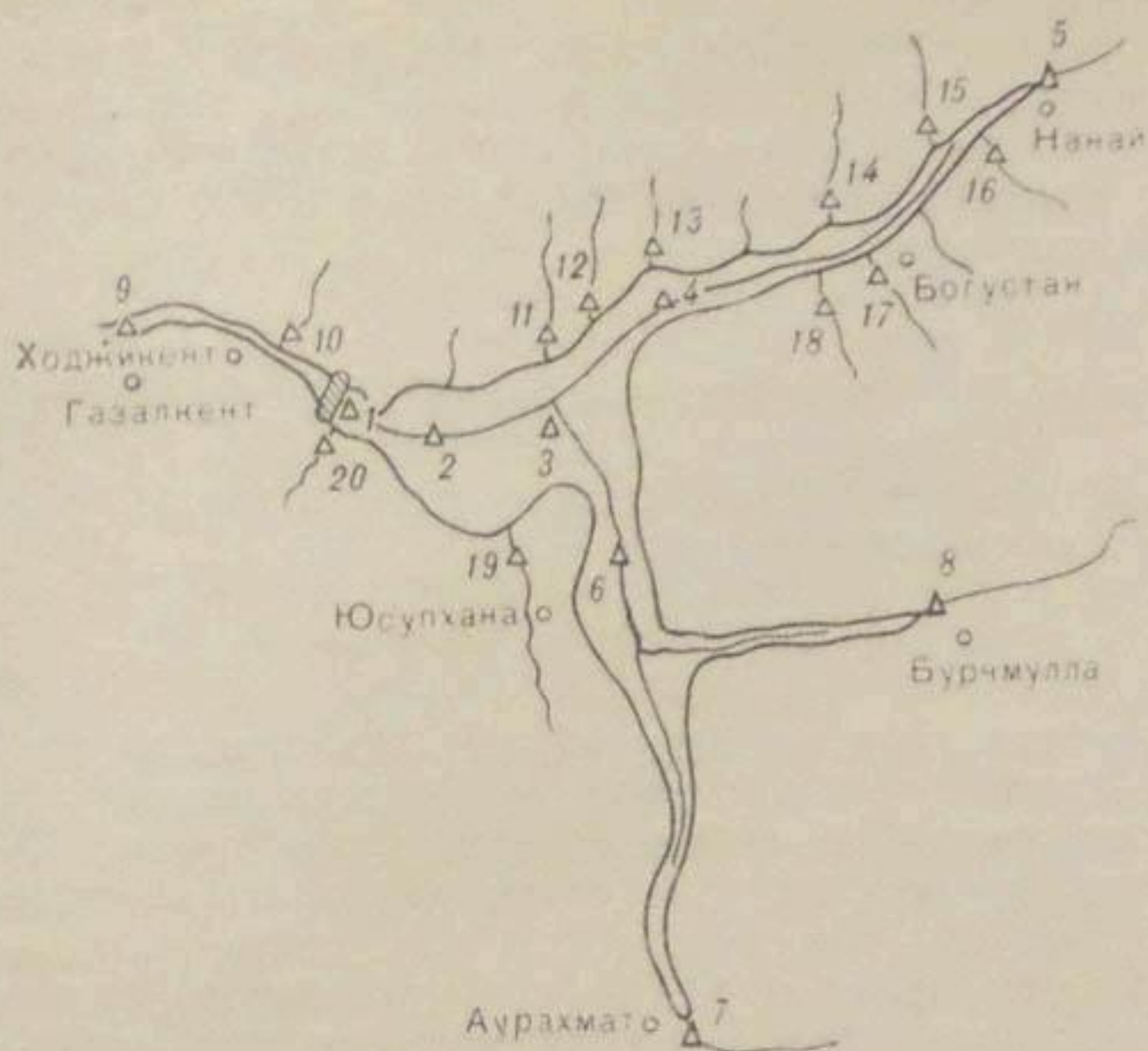


Рис. 1. Схема Чарвакского водохранилища.

Стационарные пункты (станции), на которых проводились наблюдения за физико-химическими свойствами воды: 1 — приплотинный участок, в 200 м от плотины; 2 — центральная озеровидная часть водохранилища, в 2,5 км от плотины; 3 — верхняя озеровидная часть водохранилища, в 4,0 км от плотины; 4 — район бывшего устья р. Пскем; 5 — р. Пскем у пос. Нанай; 6 — район бывшего устья р. Чаткал; 7 — р. Чаткал у пос. Аурахмат; 8 — р. Коксу у пос. Бурчмулла; 9 — р. Чирчик у г. Газалкент (в нижнем бьефе определялись также свойства воды, сбрасываемой через ГЭС и сбрасываемой из водохранилища через водосбросный тоннель, кроме того, в р. Чирчик у моста пос. Ходжикент); 10 — р. Угам — устье; 11 — р. Авлиясай — устье; 12 — р. Шакрамасай — устье; 13 — р. Кайнарсай — устье; 14 — р. Сыджаксай — устье; 15 — р. Науваласай — устье; 16 — р. Аксарсай — устье; 17 — р. Богустансай — устье; 18 — р. Сангастисай — устье; 19 — р. Чимгансай — устье; 20 — р. Ишаккупрюксай — устье.

Таблица 1

**Морфометрические характеристики Чарвакского водохранилища**

|                                 |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| Отметка НПУ . . . . .           | 890 м                    |
| Площадь зеркала . . . . .       | 40,1 км <sup>2</sup>     |
| Длина (по Чаткалу) . . . . .    | 22,0 км                  |
| Средняя ширина . . . . .        | 1,67 км                  |
| Максимальная ширина . . . . .   | 10,0 км                  |
| Глубина наибольшая . . . . .    | 148 м                    |
| "    средняя . . . . .          | 50 м                     |
| Объем воды полный . . . . .     | 2006 млн. м <sup>3</sup> |
| "    полезный . . . . .         | 1580 млн. м <sup>3</sup> |
| Длина береговой линии . . . . . | 69 км                    |
| Величина сработки . . . . .     | 55 м                     |



вует объему воды 393,7 млн. м<sup>3</sup>. По результатам наблюдений за компонентами приходно-расходных статей баланса водохранилища на сети УГМС УзССР и специальных исследований, проведенных авторами, был рассчитан баланс за период 1970—1972 гг., а также периодные балансы по годам и месячным интервалам времени.

### Водный баланс

Водный баланс Чарвакского водохранилища может быть представлен уравнением вида

$$X + Y_1 + Y_2 = Z + Y_3 + \Phi \pm I \pm H,$$

где  $X$  — осадки, выпадающие на площадь зеркала водохранилища;  $Y_1$  — приток, учитываемый гидрометрическим путем;  $Y_2$  — приток, не учитываемый гидрометрическим путем;  $Z$  — испарение с площади зеркала;  $Y_3$  — отток, учитываемый гидрометрическим путем;  $\Phi$  — фильтрация сквозь тело плотины;  $\pm I$  — изменение запасов воды;  $\pm H$  — невязка водного баланса.

Осадки, выпадающие на площадь зеркала водохранилища, оценивались по данным наблюдений метеостанции Чарвак, расположенной в непосредственной близости от водохранилища. По материалам «Справочника по климату СССР», средняя многолетняя величина осадков для данного района равна 856 мм, что составляет менее 1% суммы приходных компонентов баланса в период нормальной эксплуатации водохранилища [9]. В рассматриваемый период осадки изменялись от 77 до 110% средней многолетней величины.

Во внутригодовом ходе осадков выделяется два периода — холодный (зимне-весенний) с наибольшим увлажнением (декабрь — апрель) и теплый летне-осенний (май — ноябрь), когда выпадает осадков почти в три раза меньше. В отдельные месяцы осадки на площадь зеркала могут достигать 2% приходных статей баланса. Это указывает на то, что они не являются существенной величиной среди приходных компонентов водного баланса.

Метеостанция Чарвак до заполнения водохранилища находилась на дне заполняемой котловины и была вынесена на левый берег водохранилища в 1 км от уреза воды при НПУ. Данные наблюдений достаточно хорошо характеризуют величину выпадающих осадков, так как площадь зеркала незначительна и составляет при НПУ 40,1 км<sup>2</sup>. Из сказанного можно сделать вывод, что осадки учитываются с достаточной точностью и не оказывают сколько-нибудь существенного влияния на точность баланса.

Приток поверхностных вод в Чарвакское водохранилище осуществляется по трем основным рекам — Чаткал, Пскем



и Коксу, а также по большому числу малых водотоков между замыкающими створами. Поверхностный приток по основным водотокам учитывается гидрометрическим путем и составляет до 95% годового притока.

Приток, не учитываемый гидрометрическим путем, осуществляется по малым водотокам с общей площадью водосбора 510 км<sup>2</sup>. Приток с этой площади в различное время учитывался на водотоках Янгикурбан, Наувалисай, Чимгансай УГМС УзССР; эпизодические наблюдения проводились также на ряде саев бассейна р. Пскем И. Р. Алимухамедовым [2].

При учете стока рек Янгикурбан, Наувалисай и Чимгансай площадь водосбора, с которой не учитывался приток, сокращается до 265 км<sup>2</sup>. Определенные для различных водотоков модули стока, так же как и модули, определенные на карте стока, составленной Алимухамедовым, оказались равными для среднего по водности года 20 л/(с·км<sup>2</sup>). В качестве аналога внутригодового распределения стока было принято внутригодовое распределение стока р. Янгикурбан в створе Янгикурбан и р. Наувалисай в устье. В отдельные месяцы величина боковой приточности может достигать 10—15%, и недоучет ее может привести к значительным погрешностям в расчете водного баланса. Существенных величин боковая приточность достигает в период весеннего снеготаяния в низкогорной зоне (март — апрель) и в период осенних дождей (ноябрь — декабрь).

Реки, по которым осуществляется приток воды в водохранилище, относятся к водотокам снегово-ледникового и чисто снегового питания с прохождением половодья в период апрель — июль с ранней концентрацией стока и май — август с поздней [2].

Рассматриваемый период наполнения Чарвакского водохранилища по водности следует считать близким к среднему для рек Пскем и Чаткал — основных притоков Чарвакского водохранилища.

Испарение с водной поверхности Чарвакского водохранилища было рассчитано по данным наблюдений метеостанции Чарвак. Расчет был выполнен по формуле вида [8]

$$E = 0,16n(e_0 - e_{200})(1 + 0,61 W_{200}),$$

где  $e_0$  — максимальная упругость водяного пара;  $e_{200}$  — абсолютная влажность на высоте 200 см;  $W_{200}$  — скорость ветра на высоте 200 см;  $n$  — число дней.

Годовой слой испарения составил в 1971 г. 750 мм, в 1972 г. 805 мм.

В 1953—1956 гг. Саогидропроектом в районе заполняющейся нашей водохранилища были проведены инструментальные наблюдения за испарением с водной поверхности и выполнены предварительные расчеты. Данные наблюдения и расчеты Саогидропроекта подтверждают наши расчеты.

Во внутригодовом ходе испарения наблюдается летний максимум, который приходится на июль — август. В сентябре начина-



ется спад температуры воды и увеличение скоростей ветра, при этом в осенне-зимний период скорости ветра достигают наибольших значений, за счет чего происходит некоторая стабилизация величины испарения. В период января — март на водохранилище возможно установление сплошного ледостава. Так, в 1971 г. ледостав наблюдался в период февраль — начало марта, а в 1972 г. — конец января — середина марта. Весной в период апрель — май за счет резкого сокращения скоростей ветра и низких температур воды после вскрытия водоема наблюдаются минимальные величины испарения. Возможно также сокращение величины испарения за счет быстрого увеличения весеннего притока воды в водохранилище и временного падения значений температур воды.

Отток воды из водохранилища осуществляется по р. Чирчик путем сброса воды через турбины ГЭС, катастрофические сбросы и фильтрации сквозь тело плотины и в обход ее. Общий отток учитывается гидрометрическим путем в створе Ходжикент, расположенном в 2,8 км ниже створа плотины. На этом же участке р. Чирчик принимает р. Угам, сток по которой фиксируется гидрометрическим путем в створе устья р. Угам. Расходы были получены путем изъятия стока р. Угам из стока р. Чирчик у Ходжикента. На этом участке к руслу р. Чирчик примыкает водосборная площадь менее 20 км<sup>2</sup>, с которой не учитывается боковая приточность. В связи с тем, что возможный приток на этом участке составляет менее 1 м<sup>3</sup>/с, что равно величине ошибки учета стока р. Угам, она во внимание не принималась.

Изменение запасов воды. Наполнение Чарвакского водохранилища было начато 19 сентября 1970 г., что и предопределило период составления водного баланса. К 1 января 1971 г. объем наполнения составил 185,82 млн. м<sup>3</sup>, за 1971 г. водохранилище наполнилось еще на 80,78 млн. м<sup>3</sup>, а к 1 января 1973 г. объем наполнения составил 393,7 млн. м<sup>3</sup>.

Как видно из годовых балансов, наполнение шло крайне неравномерно, при этом даже внутри отдельных месяцев наблюдалась тенденция как к сработке, так и к наполнению (рис. 2). Так, в 1971 г. с января по март уровень находился в стабильном состоянии с последующим резким падением, в мае произошло наполнение, в июне — сработка, в июле наполнение и сработка в августе.

В осенний период отмечается неуклонный рост уровня и увеличение объема с последующей зимне-весенней (январь — май 1972 г.) стабилизацией наполнения. В июне — июле произошло резкое наполнение, в августе — сентябре — сработка с последующим осенним наполнением. Подобные резкие колебания уровня воды в водохранилище, а следовательно и попусков в нижний бьеф, не могли не сказаться на точности месячных водных балансов вследствие как неправильного подсчета стока воды из водохранилища, так и резких внутрисуточных изменений



сбросах. Подобный ход уровня с чередованием периодов стабилизации с последующим резким повышением объясняется переводом в эксплуатацию новых объемов с ростом высоты плотины.

Невязка водного баланса Чарвакского водохранилища в годовом интервале времени уменьшилась с 7% в 1970 г. (IX—XII) до 1% в 1972 г., при этом в 1971 г. невязка составила более 4%. В абсолютных выражениях невязки месячных балансов колеблются от +86 до -64 млн. м<sup>3</sup>, что составляет до

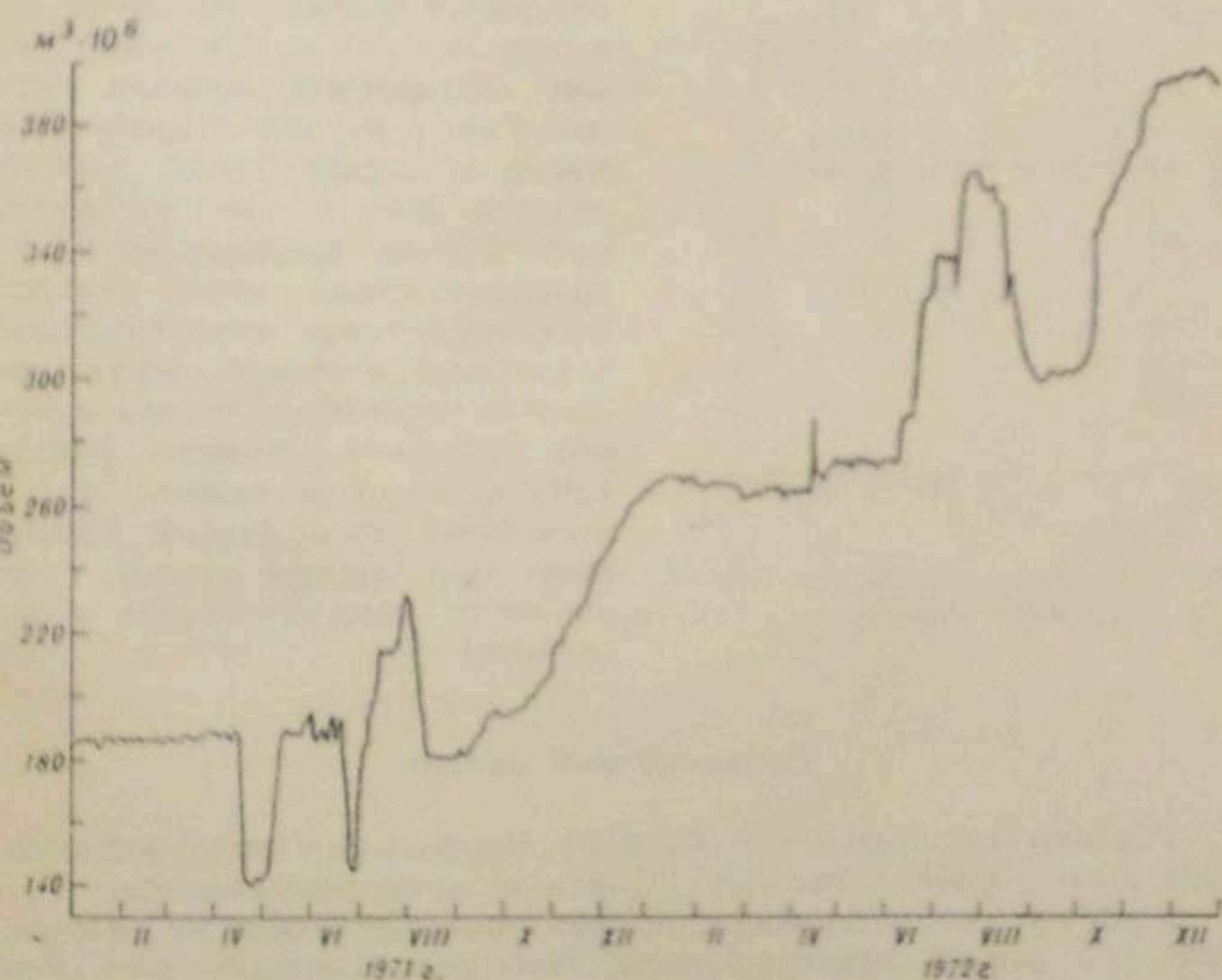


Рис. 2. График наполнения водохранилища.

0% объема наполнения водохранилища в указанные периоды. Наибольших значений невязки достигают в основном в осенне-зимний период, когда величины стока, являющиеся основными компонентами приходно-расходных статей водного баланса, резко сокращаются и недоучет даже отдельных малых по абсолютной величине компонентов баланса или допущение ошибок в подсчете стока приводит к большим невязкам. Так, в период октябрь — декабрь 1971 г. невязки составили 10—20%, а в период



январь — март 1972 г. 15—19%. В остальные месяцы величины невязок находятся в допустимых пределах (10%). Однако в отдельные месяцы (август 1971 г., октябрь 1972 г.) величина невязки резко выделяется в общем ходе невязок, что объясняется

как в одном, так и в другом случае, по-видимому, неправильным учетом стока через сбросные сооружения. На рис. 3 представлено внутригодовое распределение невязок баланса за 1971—1972 гг. В этот период наблюдается изменение знака невязки баланса с изменением самих абсолютных величин невязок. Так, в период летнего половодья и осенне-зимней межени невязка меняет знак на обратный. Можно предположить, что подобная смена знака объясняется недоучетом грунтовой составляющей в весенне-зимние месяцы и недоучетом оттока в летний период в условиях работы ГЭС в пиковом режиме и как следствие этого резким изменением хода уровня внутри суток по посту «нижний бьеф» (Ходжикент).

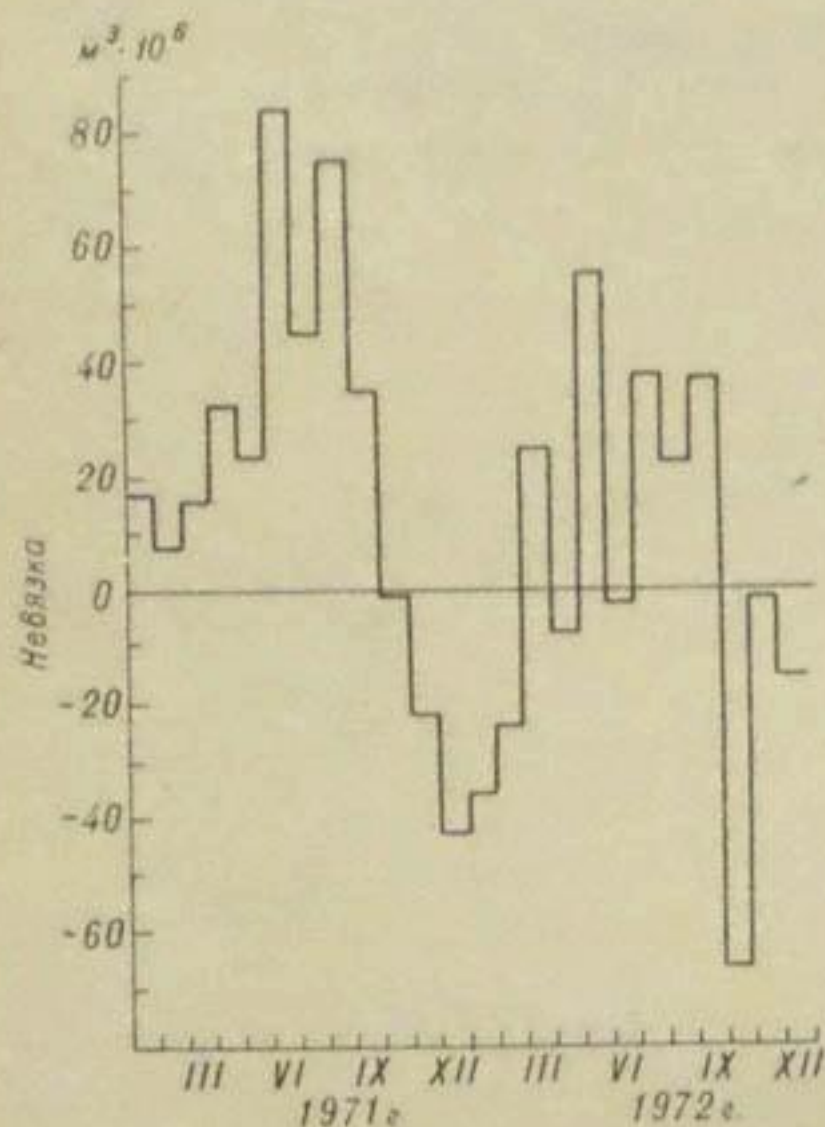


Рис. 3. Распределение невязок водного баланса.

### Водно-солевой баланс

Расчеты водно-солевого баланса Чарвакского водохранилища являются первой попыткой авторов в этом направлении.

В работе учтено большинство факторов, влияющих на гидрохимический режим водохранилища. Наряду с основными компонентами баланса — поверхностным притоком по основным артериям, питающим водохранилище, и оттоком из него — учитывались и такие компоненты, как возможность выщелачивания солей из ложа водохранилища, поступление солей с грунтовыми водами, дренируемыми мелкими саями, а также поступление солей из атмосферы.

В отечественных литературных источниках вопросы определения водно-солевого баланса наиболее полно рассмотрены в работах А. М. Алмазова, И. А. Быстрова, Д. А. Радкевича, И. М. Павелко, М. Н. Тарасова и ряда других авторов [3—7].

Для расчета приходно-расходных статей баланса использованы результаты химического анализа воды как на притоках и сбросе, так и в различных пунктах акватории водохранилища,



на поверхности и на глубинах (см. рис. 1). Пробы воды отбирались ежемесячно в течение всего расчетного периода. Динамика общей минерализации и главных ионов Чарвакского водохранилища представлена на рис. 4, 5.

По классификации О. А. Алекина, вода рек и водохранилища во все сезоны года относится к гидрокарбонатно-кальциевому классу второго типа. На долю гидрокарбонатных ионов приходится 78—89‰ экв/л. Содержание ионов кальция также велико

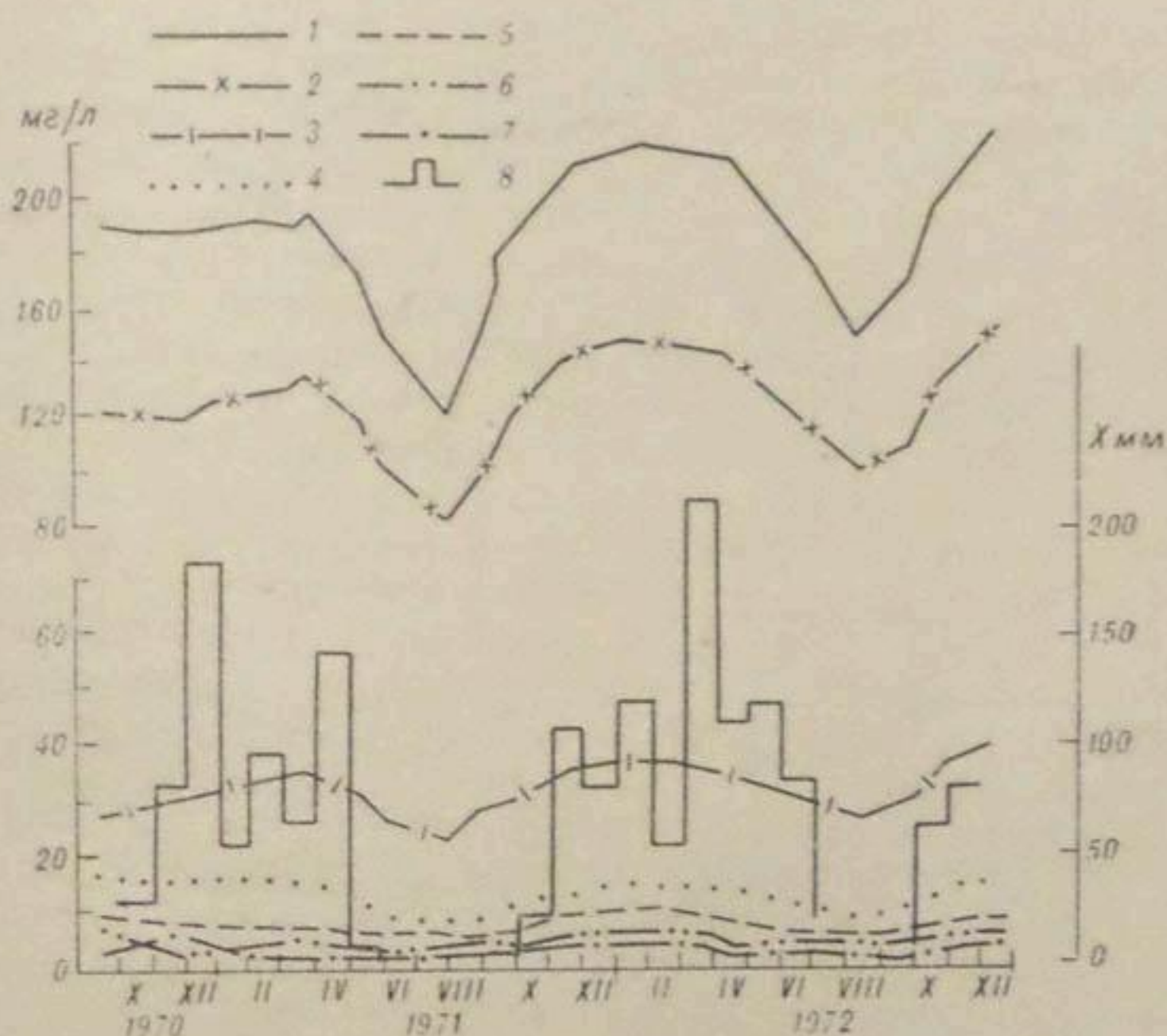


Рис. 4. Изменение минерализации и главных ионов в чаше водохранилища и количества осадков, выпадающих на площадь зеркала.

1 —  $\Sigma$ , 2 —  $\text{HCO}_3^-$ , 3 —  $\text{Ca}^{2+}$ , 4 —  $\text{SO}_4^{2-}$ , 5 —  $\text{Mg}^{2+}$ , 6 —  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  
7 —  $\text{Cl}^-$ , 8 — осадки.

по сравнению с другими ионами и изменялось от 53 до 77‰ экв/л. Наименьшее содержание приходится на анионы хлора (не выше 7,5‰ экв/л).

Минимальные значения минерализации наблюдаются во время прохождения половодья в июне — июле (118—136 мг/л), максимальные — в зимний меженьный период в декабре — феврале (212—244 мг/л).

Химический состав воды саев более разнообразен, нежели основных притоков, так как они дренируют как поверхностные, так и грунтовые (подземные) воды.



Наибольшая минерализация (390—563 мг/л) наблюдается в р. Авлиясай, и во все сезоны года вода в ней по химическому составу относится к гидрокарбонатно-магниевому классу первого типа, при этом гидрокарбонаты достигают 96% экв/л. Некоторые колебания отмечаются во внутригодовом составе вод р. Шаркрамсай, где при различных условиях питания вода относится к гидрокарбонатно-кальциевому классу первого и второго типов с общей минерализацией от 269 до 495 мг/л.

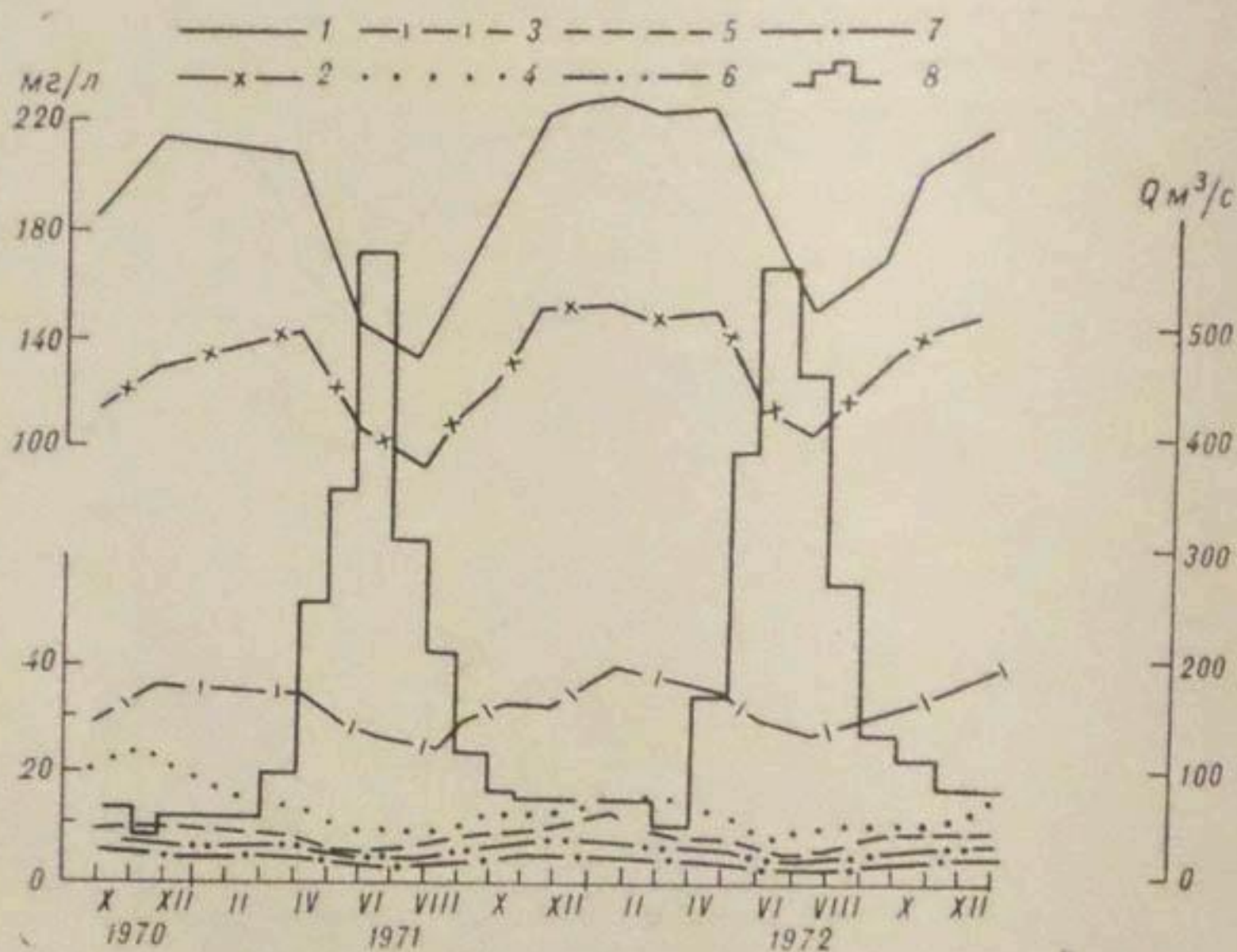


Рис. 5. Изменение минерализации, главных ионов и расхода воды в нижнем бьефе водохранилища.

1 —  $\Sigma$ , 2 —  $\text{HCO}_3^-$ , 3 —  $\text{Ca}^{2+}$ , 4 —  $\text{SO}_4^{2-}$ , 5 —  $\text{Mg}^{2+}$ , 6 —  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  
7 —  $\text{Cl}^-$ , 8 — расход воды.

Воды остальных саев относятся к гидрокарбонатно-кальциевому классу второго типа с общей минерализацией, изменяющейся в пределах 190—370 мг/л.

Минерализация атмосферных осадков исследовалась в интервале высот от 900 до 1500 м в различных зонах водосборного бассейна и колебалась от 5,8 до 14,9 мг/л с преобладанием ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{HCO}_3^-$ .

Химический анализ водных вытяжек из почво-грунтов ложа и берегов водохранилища показал, что преобладающими в них являются ионы  $\text{HCO}_3^-$ , содержание которых колеблется от 0,305 до 0,641 г/кг, и  $\text{Ca}^{2+}$  от 0,090 до 0,210 г/кг. Содержание ионов



$\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  колеблется от 0,008 до 0,042 г/кг, а  $\text{SO}_4^{2-}$  — от 0,025 до 0,132 г/кг.

Солевой баланс водохранилища рассчитывался на основании месячных и годовых балансов. Уравнение водно-солевого баланса Чарвакского водохранилища представлено в виде

$$Q'_{Y_1} + Q''_{Y_1} + Q'''_{Y_1} + Q_{Y_2} + Q_X = Q_{Y_3} \pm Q_4 \pm H,$$

где  $Q'_{Y_1}$  — поступление солей по р. Пскем;  $Q''_{Y_1}$  — поступление солей по р. Чаткал;  $Q'''_{Y_1}$  — поступление солей по р. Коксу;  $Q_{Y_2}$  — поступление солей с водосборной площади, не учтенной гидрометрическим путем;  $Q_X$  — поступление солей с атмосферными осадками;  $Q_{Y_3}$  — расходование солей в результате сбросов воды в нижний бьеф водохранилища, включая сток через агрегаты ГЭС, через водосливную плотину и фильтрацию через тело плотины;  $\pm Q_4$  — изменение запасов солей, растворенных в воде водохранилища (аккумуляция);  $\pm H$  — невязка баланса.

Составляющие приходной и расходной частей уравнения водно-солевого баланса получены умножением компонентов водного баланса на соответствующие концентрации как общей минерализации, так и каждого иона в отдельности.

Количество солей, растворенных в воде водохранилища, рассчитывалось с учетом общего объема воды и средней величины минерализации воды в водохранилище [10, 11].

Водно-солевой баланс Чарвакского водохранилища, приведенный в табл. 2, показывает, что в приходной части баланса из общего количества ионов, поступающих в водохранилище, 45,5—47,0% вносится р. Чаткал, 37,0—38,2% р. Пскем, 6,2—7,0% р. Коксу. Боковой приточностью вносится 9,8—10,1% ионов.

На долю осадков приходятся тысячные доли процента от общего количества ионов, вносимых в водохранилище, что связано с малыми значениями общей минерализации атмосферных осадков и малой площадью зеркала водохранилища. Общее количество ионов, вносимых в водохранилище, в 1971 г. составило 1051 тыс. т, в 1972 г. 1236 тыс. т. Близкие значения ионного стока в 1971 и 1972 гг. объясняются относительно близкими значениями водности р. Чирчик в расчетный период. Как уже говорилось, в ионном стоке преобладают гидрокарбонатные ионы (67,3—68,9%) и ионы  $\text{Ca}^{2+}$  (16,2—18,0%), сток других ионов незначителен: 4,0—4,6%  $\text{Mg}^{2+}$ , 2,1—2,7%  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , 5,2—6,9%  $\text{SO}_4^{2-}$ , 1,8—2,3%  $\text{Cl}^-$ . В расходной части баланса за 3 месяца 1970 г. сбрасывалось 69,1% общего количества ионов, в 1971 г. — 97,3% и в 1972 г. — 96,5%. Как ионный приток, так и ионный сток из водохранилища состоит главным образом из ионов  $\text{HCO}_3^-$  (61,6—68,0%) и  $\text{Ca}^{2+}$  (17,1—17,9%). Вынос других ионов из водохранилища составляет: 5,5—11,2%  $\text{SO}_4^{2-}$ , 3,6—4,8%  $\text{Mg}^{2+}$ , 2,3—2,8%  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  и 1,9—3,0%  $\text{Cl}^-$ .

Помимо компонентов прихода и расхода, определены величины изменения химического состава воды в водохранилище.



## Водно-солевой баланс Чарвакского водохранилища

| Компонент баланса                        | Сток воды,<br>10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> | Ионный сток, 10 <sup>3</sup> г |                  |                                  |                               |                               |                 |         |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------|
|                                          |                                              | Ca <sup>2+</sup>               | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Σи      |
|                                          |                                              | 1970 г.                        |                  |                                  |                               |                               |                 |         |
| Приток:                                  |                                              |                                |                  |                                  |                               |                               |                 |         |
| р. Пскем . . . . .                       | 307,59                                       | 9,301                          | 2,340            | 1,501                            | 36,627                        | 4,162                         | 1,291           | 55,222  |
| р. Чаткал . . . . .                      | 349,53                                       | 11,019                         | 3,430            | 1,748                            | 47,065                        | 5,002                         | 1,650           | 49,914  |
| р. Коксу . . . . .                       | 45,60                                        | 1,703                          | 0,494            | 0,252                            | 6,973                         | 0,646                         | 0,229           | 10,295  |
| неучтенный гидрометрическим путем        | 41,32                                        | 2,052                          | 0,663            | 0,445                            | 9,656                         | 0,396                         | 0,275           | 13,488  |
| Осадки на площадь зеркала . . . . .      | 2,34                                         | 0,001                          | 0,001            | 0,007                            | 0,010                         | 0,006                         | 0,004           | 0,029   |
| Итого . . . . .                          | 747,38                                       | 24,076                         | 6,928            | 3,953                            | 100,331                       | 10,212                        | 3,449           | 148,948 |
| Отток (р. Чирчик) . . . . .              | 482,07                                       | 17,523                         | 4,970            | 2,406                            | 63,473                        | 11,599                        | 2,991           | 102,962 |
| Испарение . . . . .                      | 1,05                                         |                                |                  |                                  |                               |                               |                 |         |
| Итого . . . . .                          | 483,12                                       | 17,523                         | 4,970            | 2,406                            | 63,473                        | 11,599                        | 2,991           | 102,962 |
| Изменение запасов воды и солей . . . . . | 165,96                                       | 7,329                          | 2,210            | 1,517                            | 29,760                        | 3,822                         | 1,351           | 45,990  |
| Невязка абсолютная . . . . .             | 98,30                                        | -0,776                         | -0,252           | 0,030                            | 7,098                         | -5,169                        | -0,893          | -0,004  |
| Невязка относительная, % . . . . .       | 13                                           | 3,2                            | 3,6              | 0,8                              | 7,1                           | 44,5                          | 25,8            | 0,003   |
| 1971 г.                                  |                                              |                                |                  |                                  |                               |                               |                 |         |
| Приток:                                  |                                              |                                |                  |                                  |                               |                               |                 |         |
| р. Пскем . . . . .                       | 2621,26                                      | 73,488                         | 15,801           | 8,451                            | 273,697                       | 22,991                        | 7,449           | 401,877 |
| р. Чаткал . . . . .                      | 3075,80                                      | 88,390                         | 17,866           | 9,712                            | 324,890                       | 29,204                        | 9,892           | 478,854 |
| р. Коксу . . . . .                       | 356,09                                       | 11,610                         | 2,747            | 1,286                            | 44,543                        | 4,043                         | 1,197           | 65,426  |
| неучтенный гидрометрическим путем        | 357,51                                       | 16,015                         | 5,683            | 2,962                            | 74,671                        | 3,410                         | 2,081           | 104,822 |



|                                          |         |         |        |        |         |         |        |          |
|------------------------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|----------|
| Итого . . . . .                          | 6416,91 | 189,506 | 41,999 | 22,421 | 717,815 | 59,656  | 20,625 | 1052,022 |
| Отток (р. Чирчик) . . . . .              | 6061,32 | 181,104 | 40,626 | 25,145 | 684,736 | 71,284  | 19,727 | 1022,622 |
| Испарение . . . . .                      | 6,65    |         |        |        |         |         |        |          |
| Итого . . . . .                          | 6067,97 | 181,104 | 40,626 | 25,145 | 684,736 | 71,284  | 19,727 | 1022,622 |
| Изменение запасов воды и солей . . . . . | 80,79   | 2,612   | 0,663  | 0,359  | 10,487  | 0,873   | 0,395  | 15,391   |
| Невязка абсолютная . . . . .             | 268,151 | 5,790   | 0,710  | -3,083 | 22,592  | -11,628 | 0,501  | 14,009   |
| Невязка относительная, % . . . . .       | 4,2     | 3,0     | 1,6    | 12,2   | 3,1     | 16,3    | 2,4    | 1,3      |

1972 г.

Приток:

|                                          |         |         |        |        |         |        |        |          |
|------------------------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|
| р. Пскем . . . . .                       | 2560,59 | 81,954  | 18,193 | 13,572 | 317,965 | 23,994 | 8,847  | 464,525  |
| р. Чаткал . . . . .                      | 3339,92 | 101,472 | 20,456 | 13,890 | 384,394 | 32,389 | 10,174 | 562,775  |
| р. Коксу . . . . .                       | 422,02  | 14,055  | 3,518  | 2,263  | 57,369  | 4,472  | 1,569  | 83,446   |
| неучтенный гидрометрическим путем        | 381     | 19,446  | 6,590  | 3,063  | 91,629  | 2,813  | 1,592  | 125,133  |
| Осадки на площадь зеркала . . . . .      | 11,67   | 0,011   | 0,008  | 0,023  | 0,032   | 0,026  | 0,022  | 0,122    |
| Итого . . . . .                          | 6715,20 | 216,938 | 48,765 | 33,011 | 851,389 | 63,694 | 22,204 | 1236,001 |
| Отток (р. Чирчик) . . . . .              | 6555,39 | 213,444 | 41,850 | 34,059 | 811,350 | 65,898 | 25,707 | 1192,308 |
| Испарение . . . . .                      | 10,28   |         |        |        |         |        |        |          |
| Итого . . . . .                          | 6565,67 | 213,444 | 41,850 | 34,059 | 811,350 | 65,898 | 25,707 | 1192,308 |
| Изменение запасов воды и солей . . . . . | 127,14  | 4,540   | 0,996  | 0,738  | 17,475  | 1,638  | 0,554  | 25,941   |
| Невязка абсолютная . . . . .             | 22,39   | -1,046  | 5,919  | -1,786 | 22,564  | -3,842 | -4,057 | 17,752   |
| Невязка относительная, % . . . . .       | 0,3     | 0,5     | 12,1   | 5,2    | 2,7     | 5,8    | 15,8   | 1,4      |



Аккумуляция получена как произведение средневзвешенной величины минерализации на объем аккумулярованной воды. Из расчетов баланса видно, что величины аккумуляции во все годы положительны. Это объясняется тем, что период расчета водно-солевого баланса в целом приходится на фазу наполнения. Но в отдельные месяцы, когда наблюдается сработка водохранилища, аккумуляция имеет отрицательный знак. В 1971 г. уменьшение запасов солей в чаше водохранилища происходило в феврале, апреле, июне и августе, а в 1972 г. — в феврале, августе, сентябре и декабре.

Приведенные компоненты солевого баланса, а также величины аккумуляции позволили рассчитать невязку баланса, включающую некомпенсированные погрешности расчета. В первые месяцы наполнения водохранилища для ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  невязки баланса были отрицательны, что говорит о выщелачивании этих ионов из почво-грунтов. В 1971 г. наблюдалось выщелачивание ионов  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , а в 1972 г. — ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$ . Наибольшему выщелачиванию подвергались ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  в первые месяцы наполнения водохранилища.

Годовые невязки всех ионов водно-солевого баланса составили в 1970 г. 4,0 т (0,003%), в 1971 г. 14009 т (1,3%), в 1972 г. 17752 т (1,4%). Причиной невязок водно-солевого баланса, во-первых, являются некоторые погрешности в определении компонентов водного баланса, о чем было сказано выше, и во-вторых, невозможность учета поступления ионов в водохранилище за счет эрозии берегов.

## ВЫВОДЫ

Рассмотрен наиболее интересный период в жизни водохранилища — период его интенсивного наполнения. В работе вскрыты погрешности в оценке составляющих приходно-расходных статей водно-солевого баланса, что дает возможность сделать следующие выводы:

1. Необходимо проведение дополнительных исследований по оценке боковой приточности, не учитываемой гидрометрическим путем, в период февраль — май, когда ее величина может достигать 20% среднемесячной величины приходных компонентов баланса.

2. Недоучет стока в нижний бьеф за счет разных внутрисуточных колебаний сбросов приводит к недопустимым невязкам водного баланса, в то время как невязка баланса до постройки гидроузла лежала в пределах допустимого — 3—5%. Необходим учет внутрисуточного колебания уровня воды в нижнем бьефе водохранилища.



3. Значительный привнос солей может быть осуществлен за счет переформирования берегов в первые годы эксплуатации водохранилища, тем более что все склоны по правобережью являются оползневыми. В настоящее время затоплено по существу дно котловины, при НПУ начнется интенсивная переработка склонов котловины, как надводных, так и подводных, что необходимо учитывать при составлении водно-солевых балансов, оперативных водных балансов для целей гидроэнергетики и определения изменений солевого состава воды в водохранилище.

4. Наибольшее количество солей по отношению к приходу было аккумулировано в 1970 г. — более 30%, когда шло интенсивное наполнение. В 1971 и 1972 гг. в водохранилище аккумулировано лишь 3—4% прихода солей, так как при малом объеме притока по отношению к годовому притоку порядка 0,05 водохранилище не является водоприемником и основные объемы стока проходили транзитом.

Отсюда следует, что основное количество солей будет накапливаться в периоды его интенсивного наполнения с последующей относительной стабилизацией процессов накопления солей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеиздат, 1970, 444 с.
2. Алимухамедов И. Р. Внутригодовое распределение стока рек бассейна Пскема. — «Тр. ТашГУ», 1968, вып. 325, с. 26.
3. Баранов В. А., Попов Л. Н. Исследования водно-солевого режима и баланса Карловского водохранилища. — «Тр. ВОДГЕО», 1968, с. 68—99.
4. Быстров И. А. Опыт гидрологических и гидрохимических исследований одного из водохранилищ. — «Тр. ВОДГЕО», 1964, вып. 10, с. 68—99.
5. Гидрохимия Днепра и его водохранилищ и притоков. Киев, «Наукова думка», 1967. 316 с. Авт.: Алмазов А. М., Денисова А. И., Майстренко Ю. Г., Нахшина Е. П.
6. Павелко И. М., Тарасов М. Н. Гидрохимический режим и солевой баланс Отказненского водохранилища в первый год его существования (1966). — «Гидрохим. материалы», 1969, т. 49, с. 48—54.
7. Радкевич Д. А. Исследование водно-солевого режима Елизаветовского водохранилища. — «Тр. ВОДГЕО», вып. 10, 1964, с. 36—67.
8. Рейзвих В. Н., Попова А. Б. К расчету испарения с водной поверхности в условиях Средней Азии. — «Тр. САНИГМИ», 1971, вып. 62(77), с. 57—74.
9. Справочник по климату СССР. Вып. 19. Л., Гидрометеиздат, 1967. 203 с.
10. Тарасов М. Н., Павелко И. М., Павелко В. Л. Некоторые вопросы методологии изучения гидрохимического режима водохранилищ. — В кн.: Материалы XXII гидрохимического совещания, 5—8 мая 1968 г. (тезисы докладов). Вып. 1. Новочеркасск, 1968, с. 27—28.
11. Тарасов М. Н., Павелко И. М., Павелко В. Л. Вопросы об основании методики исследований гидрохимического режима водохранилищ. — «Гидрохимические материалы», 1969, т. 49, с. 55—67.
12. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Л., Гидрометеиздат, 1965. 692 с.



А. Х. КАПКАЕВ

## УЧАСТИЕ ПРОДУКТОВ ОБРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ В СЕДИМЕНТАЦИОННОМ БАЛАНСЕ КАЙРАККУМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Уравнение седиментационного баланса, предложенное А. И. Молдовановым [1], применительно к Кайраккумскому водохранилищу (с составляющими, величины которых определены гидрометрическим путем) имеет вид

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{басс}} + V_{\text{бер}} - V_{\text{н.б}} \pm V_{\text{н}}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{пр}}$  — объем отложений наносов в водохранилище;  $V_{\text{басс}}$  — объем наносов, поступающих с водосборного бассейна водохранилища;  $V_{\text{бер}}$  — объем отложений, поступающих в водохранилище при переработке его берегов;  $V_{\text{н.б}}$  — объем наносов, сбрасываемых в нижний бьеф;  $V_{\text{н}}$  — объемная величина невязки седиментационного баланса (введена автором по тождественности с водным балансом).

За период эксплуатации Кайраккумского водохранилища (1956—1969 гг.) расход взвешенных наносов в створе ГМС Акджар в среднем за год составляет 1000 кг/с. Расходы влекомых наносов измерялись ловушкой Н. М. Аксакова в 1958 г. При изменении расходов взвешенных наносов от 120 до 5080 кг/с расходы влекомых наносов менялись соответственно от 1,32 до 6,68 кг/с. Сопоставление 14 определений расходов взвешенных и влекомых наносов показало, что последние составляют в среднем 0,6% величины взвешенных наносов. Следовательно, в среднем за год расход влекомых наносов составляет 6 кг/с. Эта величина приближенная и в то же время дающая единственную возможность оценить участие влекомых наносов в седиментационном уравнении.

Объемный вес отложений, слагающих заиляемую часть ложа Кайраккумского водохранилища, равен 1,29 г/см<sup>3</sup>. Наибольшее значение из всех определений объемного веса грунтов, равное 1,5 г/см<sup>3</sup>, позволяет сделать вывод, что это объемный вес поступивших влекомых наносов. По оценке Г. А. Петуховой [2], объем-



ый вес  $1,5 \text{ г/см}^3$  соответствует мелким пескам, из которых и состоят влекомые наносы р. Сырдарьи.

Если  $V_{\text{басс}} = V_{\text{взв.н}} + V_{\text{вл.н}}$ , где  $V_{\text{взв.н}}$  — объем отложившихся взвешенных наносов, а  $V_{\text{вл.н}}$  — объем отложившихся влекомых наносов, то  $V_{\text{басс}} = 502 + 9 = 511 \text{ млн. м}^3$ .

За период 1956—1969 гг. при среднегодовом расходе воды в нижнем бьефе водохранилища, равном  $580 \text{ м}^3/\text{с}$ , расход взвешенных наносов, определенный как непосредственными измерениями в выходном створе ГМС Кзылкишлак, так и по мутности воды в приплотинной части водохранилища и расходам воды в нижнем бьефе, составил  $27 \text{ кг/с}$ . Величина  $V_{\text{н.б}}$  при принятом объемном весе  $1,29 \text{ г/см}^3$  равна  $16 \text{ млн. м}^3$ .

Если участие величин  $V_{\text{басс}}$  и  $V_{\text{н.б}}$  в балансе наносов водохранилищ оценивалось различными способами, то величина  $V_{\text{бер}}$  обычно не была определена или оценивалась очень приблизительно. Величина  $V_{\text{бер}}$ , естественно, различна для различных водоемов и зависит от их морфологической структуры, геологического строения берегов, волнового воздействия, длительности стояния нормально подпертого уровня воды, глубины сработки многих других факторов.

Высота нормально подпертого уровня воды Кайраккумского водохранилища  $346,56 \text{ м БС}$ . Нормальная проектная сработка  $13 \text{ м}$ . В многоводном 1969 году водохранилище было наполнено до высоты  $346,86 \text{ м БС}$ , а в маловодном 1965 году сработано до отметки  $337,17 \text{ м БС}$ .

Для подсчета объема отложений, поступающих в водохранилище при переработке его берегов, использованы данные наблюдений на участках кишл. Джидалык, поста Правобережный, дома отдыха и ж.-д. ст. Завадский. По первым трем участкам использованы данные наблюдений за 1957—1970 гг., а по последнему — за 1962—1964 гг.

Берега водохранилища на участке в районе кишл. Джидалык сложены смесью песка с гравием мощностью  $8,3 \text{ м}$  и смесью мощностью  $7,2 \text{ м}$ . На участке поста Правобережный мощность песка с гравием достигает  $3,5 \text{ м}$ , суглинка —  $2 \text{ м}$ , а в зоне дома отдыха берега сложены в основном сцементированным песчаником мощностью  $10,5 \text{ м}$ . Высота берегов  $2,2—2,6 \text{ м}$  на участке кишл. Джидалык,  $1,1—1,3 \text{ м}$  на посту Правобережный и  $13—13,5 \text{ м}$  в зоне дома отдыха.

В результате обрушения берегов под воздействием вышеперечисленных факторов берег водохранилища за 1957—1970 гг. отступил на уровне НПУ на первом участке на  $51,6 \text{ м}$ , на втором — на  $25,8 \text{ м}$ , на третьем — на  $46,4 \text{ м}$ , а от бровки первоначального склона — соответственно на  $40$ ,  $16,8$  и  $19,4 \text{ м}$ . Результаты подсчета объемов размыва и аккумуляции на участках по годам и коэффициенты аккумуляции представлены в табл. 1. По этим данным подсчитаны общие объемы размыва и аккумуляции на участках за весь период существования водохранилища (табл. 2). Каждый



## Объемы размыва и аккумуляции на участках по годам

| Годы                              | Объем размыва               |              | Объем аккумуляции           |              | Коэффициент аккумуляции |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|-------------------------|
|                                   | $\text{м}^2$<br>на 1 пог. м | $\text{м}^3$ | $\text{м}^2$<br>на 1 пог. м | $\text{м}^3$ |                         |
| к и ш л. Д ж и д а л ы к          |                             |              |                             |              |                         |
| 1957—1960                         | 241                         | 72275        | 33,3                        | 10004        | 0,14                    |
| 1961                              | 6,3                         | 1900         | 6,3                         | 1900         | 1,00                    |
| 1962                              | 7,9                         | 2370         | 5,4                         | 1630         | 0,69                    |
| 1963                              | 39,4                        | 11811        | 15,6                        | 4688         | 0,39                    |
| 1964                              | 18,0                        | 5425         | 6,0                         | 1830         | 0,34                    |
| 1965                              | 9,0                         | 2685         | 39,6                        | 11872        | 1,26                    |
| 1966                              | 30,3                        | 9095         | 4,6                         | 1385         | 1,53                    |
| 1967                              | 28,0                        | 8450         | 51,9                        | 15575        | 1,85                    |
| 1968                              | 21,1                        | 6330         | 15,6                        | 4740         | 0,75                    |
| 1969—1970                         | 25,9                        | 7770         | 42,1                        | 12630        | 1,62                    |
| П о с т П р а в о б е р е ж н ы й |                             |              |                             |              |                         |
| 1957—1960                         | 67,7                        | 33856        | 29,4                        | 14700        | 0,43                    |
| 1960—1963                         | 27,6                        | 13795        | 24,8                        | 12404        | 0,90                    |
| 1964                              | 17,3                        | 8650         | 10,6                        | 8310         | 0,96                    |
| 1965                              | 27,3                        | 13640        | 17,2                        | 8590         | 0,63                    |
| 1966                              | 23,8                        | 11910        | 2,8                         | 1410         | 1,18                    |
| 1967                              | 15,6                        | 7800         | 10,9                        | 5430         | 0,70                    |
| 1968                              | 41,7                        | 20850        | 9,5                         | 4750         | 0,23                    |
| 1969—1970                         | 91,6                        | 45800        | 25,2                        | 12600        | 0,28                    |
| Д о м о т д ы х а                 |                             |              |                             |              |                         |
| 1957—1960                         | 98,7                        | 74000        | 17,3                        | 13000        | 0,18                    |
| 1960—1963                         | 113,6                       | 51138        | 10,7                        | 4816         | 0,09                    |
| 1964                              | 14,7                        | 6620         | 16,8                        | 7560         | 1,14                    |
| 1965                              | 23,1                        | 10379        | 17,8                        | 8014         | 0,22                    |
| 1966                              | 52,5                        | 23646        | 14,3                        | 6430         | 0,27                    |
| 1967                              | 2,7                         | 1215         | 61,4                        | 27630        | 2,28                    |
| 1968                              | 64,9                        | 29205        | 23,4                        | 10530        | 0,36                    |
| 1969—1970                         | 162,0                       | 72900        | 29,3                        | 13185        | 0,18                    |
| ж.-д. ст. З а в а д с к и й       |                             |              |                             |              |                         |
| 1962                              | 15,2                        | 7600         | 13,8                        | 6900         | 0,91                    |
| 1963                              | 16,4                        | 8200         | 24,3                        | 12187        | 1,49                    |
| 1964                              | 10,6                        | 5300         | 16,4                        | 8200         | 1,55                    |



Таблица 2

Объемы размыва и аккумуляции на участке за период эксплуатации водохранилища

| Период,<br>годы                   | Объем размыва  |                | Объем аккумуляции |                | Коэффициент<br>аккумуляции |
|-----------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------------------|
|                                   | м <sup>2</sup> | м <sup>3</sup> | м <sup>2</sup>    | м <sup>3</sup> |                            |
| к и ш л. Д ж и д а л ы к          |                |                |                   |                |                            |
| —1970                             | 426,9          | 128111         | 220,6             | 66254          | 0,74                       |
| дний за<br>од                     | 32,8           | 9855           | 17,0              | 50,96          |                            |
| П о с т П р а в о б е р е ж н ы й |                |                |                   |                |                            |
| —1970                             | 312,6          | 156301         | 130,4             | 68194          | 0,41                       |
| дний за<br>од                     | 24,0           | 12023          | 10,0              | 5246           |                            |
| Д о м о т д ы х а                 |                |                |                   |                |                            |
| —1970                             | 532,2          | 269103         | 19,1              | 91165          | 0,36                       |
| дний за<br>од                     | 40,9           | 29700          | 14,7              | 7013           |                            |
| ж.-д. ст. З а в а д с к и й       |                |                |                   |                |                            |
| 2—1964                            | 42,2           | 21100          | 54,5              | 27287          | 1,32                       |
| дний за<br>од                     | 14,1           | 7033           | 18,1              | 9096           |                            |

Таблица 3

Переформирование берегов водохранилища за 1957—1970 гг.

| Наименование участков                        | Отступание берега на уровне НПУ в среднем за год, м | Длина участка, м | Намыв, м <sup>2</sup> на 1 пог. м | Размыв, м <sup>2</sup> на 1 пог. м | Объем намыва, млн. м <sup>3</sup> | Объем размыва, млн. м <sup>3</sup> | Коэффициент аккумуляции |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| л. Жидалык . . . . .                         | 4,0                                                 | 3000             | 17,0                              | 32,8                               | 0,663                             | 1,279                              | 0,74                    |
| Правобережный . . . . .                      | 2,0                                                 | 14000            | 10,0                              | 24,0                               | 1,820                             | 4,368                              | 0,41                    |
| отдыха . . . . .                             | 3,6                                                 | 7000             | 14,7                              | 40,9                               | 1,338                             | 3,722                              | 0,36                    |
| ст. Завадский . . . . .                      |                                                     | 6000             | 18,1                              | 14,1                               | 1,412                             | 1,100                              | 1,32                    |
| остальному периметру водохранилища . . . . . |                                                     | 60000            | 3                                 | 3                                  | 2,340                             | 2,340                              |                         |
| общие по водохранилищу . . . . .             |                                                     |                  |                                   |                                    | 7,573                             | 12,809                             |                         |
| средние по водохранилищу . . . . .           |                                                     |                  | 12,6                              | 23,0                               | 0,583                             | 0,985                              | 0,70                    |



участок наблюдений характерен для определенного отрезка периметра водохранилища.

При распространении данных наблюдений на участках на соответствующие отрезки побережья были получены общие по водохранилищу объемы размыва и аккумуляции продуктов обрушения берегов и подсчитали их среднегодовые величины (табл. 3).

Величина  $V_{\text{бер}}$  за период эксплуатации водохранилища получилась равной 7,6 млн. м<sup>3</sup>.

Из уравнения (1) следует:

$$V_{\text{пр}} \pm V_{\text{н}} = (V_{\text{басс}} \pm V_{\text{бер}}) - V_{\text{н.б}} = (511 \pm 7,6) - 16 = 592,6 \text{ млн. м}^3$$

Величина  $V_{\text{пр}}$ , полученная как произведение средней толщины слоя отложений на площадь зеркала водохранилища непосредственно по данным съемок 1966 и 1969 гг. при сопоставлении их с проектными данными, равна 418 млн. м<sup>3</sup>. Подставив эту цифру в уравнение, получаем, что  $V_{\text{н}}$  равно 84,6 млн. м<sup>3</sup>; на первый взгляд это свидетельствует о несходимости баланса Кайраккумского водохранилища. Однако в работе [1] не учтены ряд элементов, прямо или косвенно играющих роль в седиментационном балансе водохранилищ. В первую очередь это касается факторов, увеличивающих емкость водохранилища. Еще в 1959—1960 гг. Ю. Н. Ивановым было отмечено явление просадок грунта на Кайраккумском водохранилище. Просадки грунта наблюдались автором на Каттакурганском, Куюмазарском и Чардаринском водохранилищах. Особенно интенсивно просадки грунта происходят в периоды наполнения и опорожнения водохранилищ. Объем просадок грунта на Кайраккумском водохранилище, определенный косвенным путем, за 1956—1966 гг. составил около 47 млн. м<sup>3</sup>.

За период между съемками 1966 и 1969 гг. объем просадок подсчитан непосредственно по совмещенным профилям методом, аналогичным подсчету объема заиления, и составил 15,8 млн. м<sup>3</sup> (табл. 4).

Явления просадок отмечены в островной и мелководной частях водохранилища, ежегодно обнажающихся при сработке. Таким образом, процесс заиления водохранилищ сопровождается абсолютно противоположным ему процессом просадки грунтов, увеличивающем первоначальную емкость водохранилища. В результате такого процесса первоначальная емкость Кайраккумского водохранилища увеличилась на 63 млн. м<sup>3</sup>. Эта величина приближенная и явно заниженная, так как невозможно учесть величину просадок грунта под отложившимися наносами.

При переформировании берегов водохранилищ происходят также два взаимно противоположных процесса размыва и аккумуляции продуктов обрушения берегов. Причем величина объема отложений, поступающих в водохранилище при переработке его берегов  $V_{\text{бер}}$ , учтена автором статьи [1] в уравнении седиментационного баланса, а объем размыва, составляющий 12,8 млн. м<sup>3</sup> (см. табл. 3), т. е. часть, которая увеличивает общий объем во-



Таблица 4

Объем просадок грунтов водохранилища за 1966—1969 гг.

| № створа | Площадь просадок по створу, м <sup>2</sup> | Площадь просадок между створами, км <sup>2</sup> | Среднее расстояние между створами, км | Ширина зоны просадок на створе, км | Средняя толщина слоя просадок, м | Толщина слоя просадок между створами, м | Объем просадок между створами, м <sup>3</sup> |
|----------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 4        | 0                                          |                                                  |                                       | 0                                  |                                  |                                         |                                               |
| 5        | 1940                                       | 1,5                                              | 2,4                                   | 2,34                               | 0,83                             | 0,83                                    | 7,47                                          |
| 11       | 3345                                       | 7,5                                              | 2,6                                   | 4,05                               | 0,83                             |                                         | 3,47                                          |
| 7        | 0                                          | 1,3                                              | 1,6                                   | 0                                  |                                  | 0,68                                    |                                               |
| 12       | 1885                                       | 3,8                                              | 2,1                                   | 3,64                               | 0,52                             | 0,57                                    | 4,90                                          |
| 6        | 2220                                       | 8,6                                              | 2,6                                   | 3,57                               | 0,62                             |                                         |                                               |
|          |                                            |                                                  |                                       |                                    |                                  |                                         | Общий объем: 15,84                            |

водохранилища, совершенно не фигурирует в этом уравнении. Имеется в виду та часть дополнительной емкости, которая создается при процессах размыва берегов, ниже нормально подпертого уровня водохранилища и составляет около 7 млн. м<sup>3</sup>.

При сопоставлении объемов Кайраккумского водохранилища при нормально подпертом уровне по проектным данным и по съемкам 1966 и 1969 гг. (табл. 5) видно, что они уменьшились к 1969 г. в общей сложности на 443 млн. м<sup>3</sup>.

Таблица 5

Площади зеркала и объемы Кайраккумского водохранилища

| Высота, м БС | Проектные данные             |                            | По промерам 1966 г.          |                            | По промерам 1969 г.          |                            |
|--------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
|              | площадь, млн. м <sup>2</sup> | объем, млн. м <sup>3</sup> | площадь, млн. м <sup>2</sup> | объем, млн. м <sup>3</sup> | площадь, млн. м <sup>2</sup> | объем, млн. м <sup>3</sup> |
| 326          |                              |                            | 0,450                        |                            | 0,450                        |                            |
| 328          |                              |                            | 4,025                        | 4,475                      | 3,925                        | 4,376                      |
| 330          |                              |                            | 11,100                       | 19,600                     | 11,325                       | 19,626                     |
| 332          |                              |                            | 38,350                       | 69,050                     | 38,225                       | 69,176                     |
| 334          |                              |                            | 67,750                       | 175,150                    | 66,650                       | 174,052                    |
| 336          | 138                          | 630                        | 134,225                      | 337,125                    | 126,350                      | 367,052                    |
| 338          | 178                          | 960                        | 166,250                      | 677,600                    | 152,900                      | 646,302                    |
| 340          | 233                          | 1380                       | 223,775                      | 1073,625                   | 220,125                      | 1019,326                   |
| 342          | 308                          | 1890                       | 304,350                      | 1607,750                   | 283,350                      | 1522,902                   |
| 344          | 351                          | 2560                       | 411,375                      | 2323,475                   | 346,225                      | 2152,378                   |
| 346          | 443                          | 3400                       | 475,750                      | 3210,600                   | 468,875                      | 2967,478                   |
| 347,50       | 520                          | 4160                       | 550,800                      | 3977,531                   | 530,625                      | 3717,103                   |
| 347,80       |                              |                            |                              |                            | 541,00                       | 3900,000                   |



Учитывая вышеизложенные соображения и подставляя полученные величины в уравнение (1), получаем почти уравненный баланс наносов Кайраккумского водохранилища. Уравнение баланса в цифровом выражении одновременно подтверждает, что вывод автора статьи [1] о незначительной, малоощутимой роли в седиментационном балансе малых водохранилищ отложений, образующихся от выпадения солей, разложения растительного вещества, песка, приносимого ветром и т. д., полностью относится и к Кайраккумскому водохранилищу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заиление водохранилищ и борьба с ним. М., «Колос», 1970. 319 с.
2. Практические рекомендации по расчету заиления водохранилищ. Л., Гидрометеониздат, 1966. 88 с.



А. М. НИКИТИН

## К ВОПРОСУ О ТЕРМИЧЕСКОМ И ЛЕДОВОМ РЕЖИМЕ ГОРНЫХ ОЗЕР СРЕДНЕЙ АЗИИ

Термический и ледовый режим горных озер Средней Азии изучен до настоящего времени еще крайне недостаточно, в связи с чем в работе рассматриваются лишь его общие черты. Стационарные наблюдения охватывают прибрежные зоны озер Карауль, Сарезского, Яшилкуль, Искандеркуль и Сарычелек. Наблюдения за термическим режимом открытых частей озер Средней Азии в стационарных условиях не проводились, в связи с чем для характеристики температурного режима в этих частях водоемов были использованы материалы экспедиционных наблюдений на вышеуказанных озерах, а также наблюдения, произведенные вторым при экспедиционных исследованиях в период 1967—1970 гг. на озерах Шавурколь, Кугала, Карасубашикуль, Ихнач, Аратоко, Айкуль, Сонкуль, Рангкуль, Шоркуль, Сасыккуль, Бузункуль и др. Однако эти исследования относятся к летнему периоду.

Термический режим горных водоемов Средней Азии формируется под воздействием ряда факторов, в первую очередь климатических; в то же время существенное влияние на термический режим водоемов оказывают их размеры, форма, морфометрия, характер сточности, прозрачность и сезонное изменение водной массы.

В Методических указаниях [5] рекомендуется водоемы со средней глубиной до 10—12 м относить к типу мелководных, более глубокие — к типу глубоководных [5]. Однако градации подобного рода не могут служить показателем перемешивания на больших горных озерах Средней Азии, так как здесь существенное влияние начинают оказывать такие факторы, как защищенность водоемов от ветра, прозрачность воды, размеры годового и месячного изменения объема водной массы, характер сточности.

К мелководным горным водоемам Средней Азии следует относить озера с относительными глубинами, определенными как отношение максимальной глубины к диаметру озера, не превы-



шающими 5%. К глубоководной группе водоемов относятся водоемы с относительной глубиной более 5%.

Температурный режим горных озер Средней Азии в зависимости от поступления и потерь тепла через водную поверхность и перераспределения тепла в водоеме следует рассматривать по следующим периодам: весенний период годового теплообмена (период весенней гомотермии); летний период годового теплообмена (период прямой температурной стратификации); осенний период годового теплообмена (период осенней гомотермии); зимний период годового теплообмена (период обратной температурной стратификации) [1, 4]. Согласно вышесказанному, абсолютное большинство горных озер Средней Азии относится к озерам умеренного типа. Внутригодовые изменения температуры воды колеблются в значительных пределах — от 0 до 30°C.

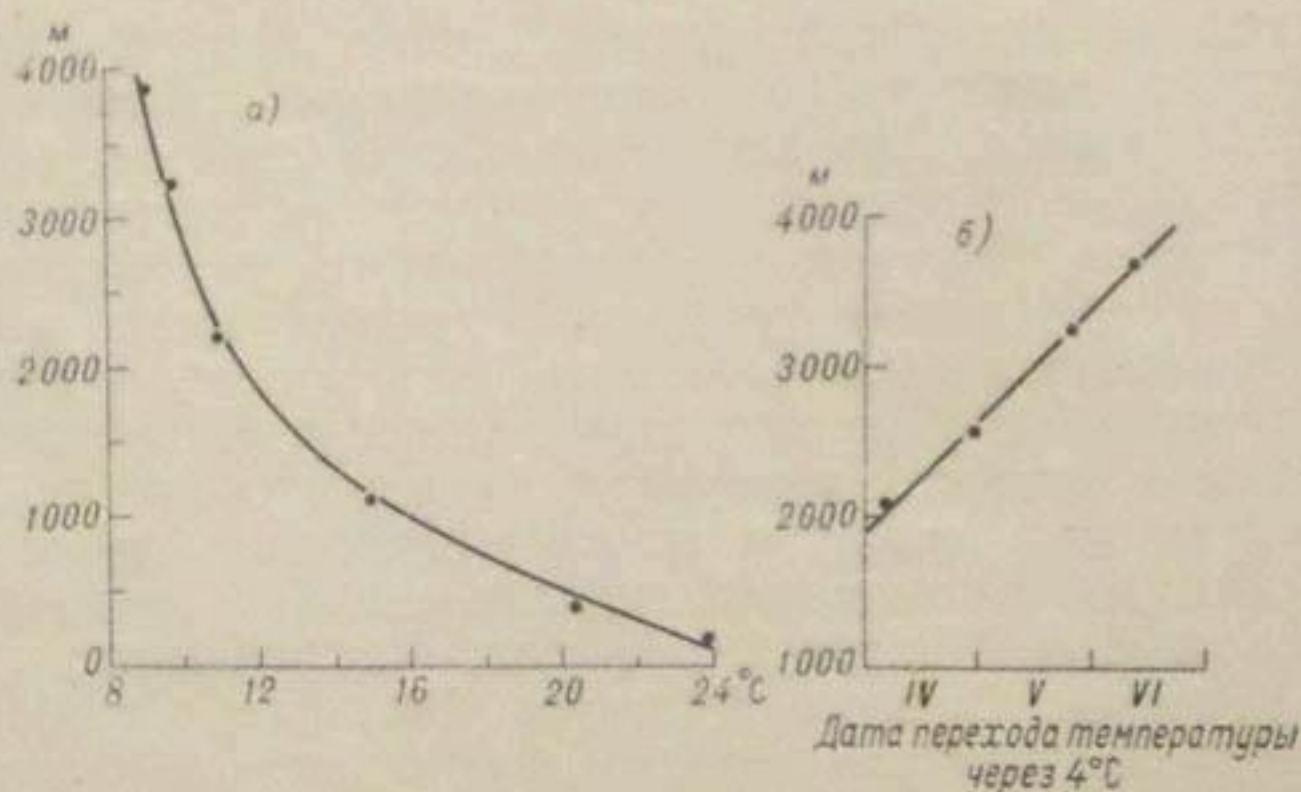


Рис. 1. Зависимость средней за май — октябрь температуры воды водоемов (а) и дат перехода температуры воды через 4°C (б) от высотного положения водоемов.

При рассмотрении периодов годового теплообмена следует учитывать влияние вертикальной зональности на термический режим водоемов, что проявляется в различии дат наступления отдельных фаз термического режима и, в частности, в изменении средних значений температуры воды водоема в зависимости от его высотного положения (рис. 1 а).

Весенний период годового теплообмена начинается одновременно со вскрытием озер и процессами очищения водоемов ото льда. При этом все тепло идет на очищение водоемов, а температура воды колеблется около 1—2°C. После очищения водоемов под влиянием солнечной радиации и теплообмена с воздухом начинается быстрый рост температуры воды. Этот процесс



охватывает период с февраля по июнь в зависимости от высотного положения водоемов и климатической характеристики года. Переход температуры воды через  $4^{\circ}\text{C}$  весной на горных озерах Средней Азии осуществляется в период март—июль, при этом средние даты перехода температуры воды через  $4^{\circ}\text{C}$  увязываются с высотным положением озер (рис. 1 б).

Период гомотермии совпадает с периодом перехода температуры воды через  $4^{\circ}\text{C}$  или значениями, близкими к ней. Период между датами вскрытия водоемов и перехода температуры воды через  $4^{\circ}\text{C}$  составляет в среднем 13—18 суток для таких крупных озер, как Сарезское, Яшилкуль, Исскандеркуль. На малых озерах этот период менее продолжителен. В это время наблюдается обратная стратификация температуры воды, которая на мелководных водоемах имеет постоянную тенденцию перехода к состоянию гомотермии. Амплитуда температур воды поверхностного и придонного слоев глубоководных водоемов может достигать  $5^{\circ}\text{C}$ .

Летний цикл годового теплообмена озер характеризуется наличием прямой температурной слоистости и для глубоководных водоемов четким делением на активные термические зоны эпиимнион и металимнион и зону замедленной активности — гипоимнион. Этот период охватывает во времени от четырех (озера Яшилкуль, Каракуль) до восьми (озера Сарычелек, Исскандеркуль) месяцев в зависимости от высотного положения водоемов. Этот цикл характеризуется быстрым нагреванием водоемов, особенно в течение первого месяца после перехода температуры воды через  $4^{\circ}\text{C}$ , с последующим более плавным ростом. Максимальных значений температура воды достигает в высокогорной зоне в августе, в низкогорной — в июле, что совпадает с максимальными значениями температуры воздуха. Максимальные значения температуры воды колеблются в довольно широких пределах, для оз. Исскандеркуль, например, за 32-летний период наблюдений — от  $11,5$  до  $25,2^{\circ}\text{C}$  (табл. 1). Подобная картина наблюдается на средних и малых озерах, где амплитуда максимальных температур может достигать еще больших значений в зависимости не только от погодных условий летнего периода, но и от внутригодового распределения притока воды в озеро. На больших водоемах, обладающих большей инертностью водных масс, эти значения не превышают  $5^{\circ}$  (табл. 1, оз. Сарезское).

В мелководных водоемах в открытых частях в этот период часто наблюдается гомотермия, сменяющаяся непродолжительным состоянием изотермического расслоения в связи с отсутствием динамического перемешивания. В качестве примера можно привести мелководные озера Сонкуль и Чатыркуль с большими площадями зеркала, сюда же относятся термокарстовые озера высокогорной безлесной зоны.

На малых водоемах с максимальными глубинами до 20 м в случае сильного и постоянного ветрового перемешивания или значительного притока, который по объему может в течение не-



| Характерис-<br>тика                 | Дата перехода температуры воды весной<br>через |              |            | Температура |     |     |      |      |      |      |
|-------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|------------|-------------|-----|-----|------|------|------|------|
|                                     | 0,2° С                                         | 4° С         | 10° С      | V           |     |     | V    | VI   | VII  | VIII |
|                                     |                                                |              |            | 1           | 2   | 3   |      |      |      |      |
| Оз. Яшилкуль — исток                |                                                |              |            |             |     |     |      |      |      |      |
| Средняя                             |                                                | 11/VI        |            | 1,3         | 2,0 | 3,6 |      | 6,2  | 9,5  | 10,3 |
| Наибольшая<br>(ранняя)              |                                                | 23/V-46, 63  |            | 5,7         | 8,3 | 7,1 |      | 10,2 | 12,0 | 12,0 |
| Наименьшая<br>(поздняя)             |                                                | 21/VIII-51   |            | 0,0         | 0,0 | 0,0 |      | 4,5  | 6,9  | 9,2  |
| Оз. Сарезское — залив               |                                                |              |            |             |     |     |      |      |      |      |
| Средняя                             | 20/IV                                          | 18/V         | 9/VII      | 2,7         | 4,4 | 5,7 |      | 8,0  | 12,1 | 14,0 |
| Наибольшая<br>(ранняя)              | 9/VII-47                                       | 4/IV-44      | 18/VI-42   | 5,1         | 7,6 | 6,9 |      | 9,4  | 14,8 | 15,7 |
| Наименьшая<br>(поздняя)             | 13/V-55                                        | 30/VI-53     | 20/VIII-54 | 0,3         | 1,4 | 4,6 |      | 6,6  | 10,2 | 12,2 |
| Оз. Искандеркуль — Северо-восточный |                                                |              |            |             |     |     |      |      |      |      |
| IV                                  |                                                |              |            |             |     |     |      |      |      |      |
| Средняя                             | 14/III                                         | 7/IV         | 17/VI      | 4,2         | 6,0 | 7,8 | 10,3 | 10,3 | 10,8 | 11,3 |
| Наибольшая<br>(ранняя)              |                                                | 21/III-62    | 5/V-62     | 6,4         | 8,0 | 9,4 | 12,3 | 12,8 | 12,7 | 13,0 |
| Наименьшая<br>(поздняя)             |                                                | 18/IV-39, 67 | 28/VII-58  | 1,5         | 3,6 | 5,5 | 8,3  | 8,4  | 9,0  | 9,5  |

дели превышать объем озера в несколько раз, по всему водоему устанавливается постоянная температура. К озерам подобного типа относятся абсолютное большинство малых завальных озер Средней Азии: Шавурколь, Урунгах, Бодаккуль, Коккуль, Карасубашикуль и ряд других.

Характерной особенностью данных водоемов является также то, что вследствие малости объема водной массы по отношению к объему притока на озерах в период их наполнения происходит падение температур пропорционально увеличению объема притока и в период опорожнения осуществляется быстрый рост температуры воды, т. е. максимальные температуры воды наблюдаются в конце августа — начале сентября.

В глубоководных водоемах, подобных озерам Сарезскому, Сарычелек, Айкуль, Искандеркуль и Каратоко, в период летнего цикла отмечается наличие температурной неоднородности ярко выраженных слоев эпи-, мета- и гипolimниона, постепенное перемешивание двух верхних слоев и погружение слоя металимнио-



Таблица 1

ы озер, °С

| X | XI | Дата перехода температуры воды<br>осенью через |   |   | Наибольшая температу-<br>ра воды из срочных наб-<br>людений и ее даты |                               |
|---|----|------------------------------------------------|---|---|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|   |    | 10° С                                          |   |   | Т                                                                     | даты<br>(средняя,<br>крайние) |
|   |    | 1                                              | 2 | 3 |                                                                       |                               |

Гунт (1946—1967 гг.)

|     |     |     |     |          |      |             |
|-----|-----|-----|-----|----------|------|-------------|
| 3,6 | 1,9 | 1,4 | 0,3 | 17/X     | 15,9 | 5/VIII      |
| 4,7 | 2,8 | 1,9 | 0,6 | 27/IX-60 | 20,0 | 7/VII-49,62 |
| 2,7 | 1,2 | 0,6 | 0,0 | 21/XI-62 | 12,4 | 7/IX-66     |

хт (1942—1967 гг.)

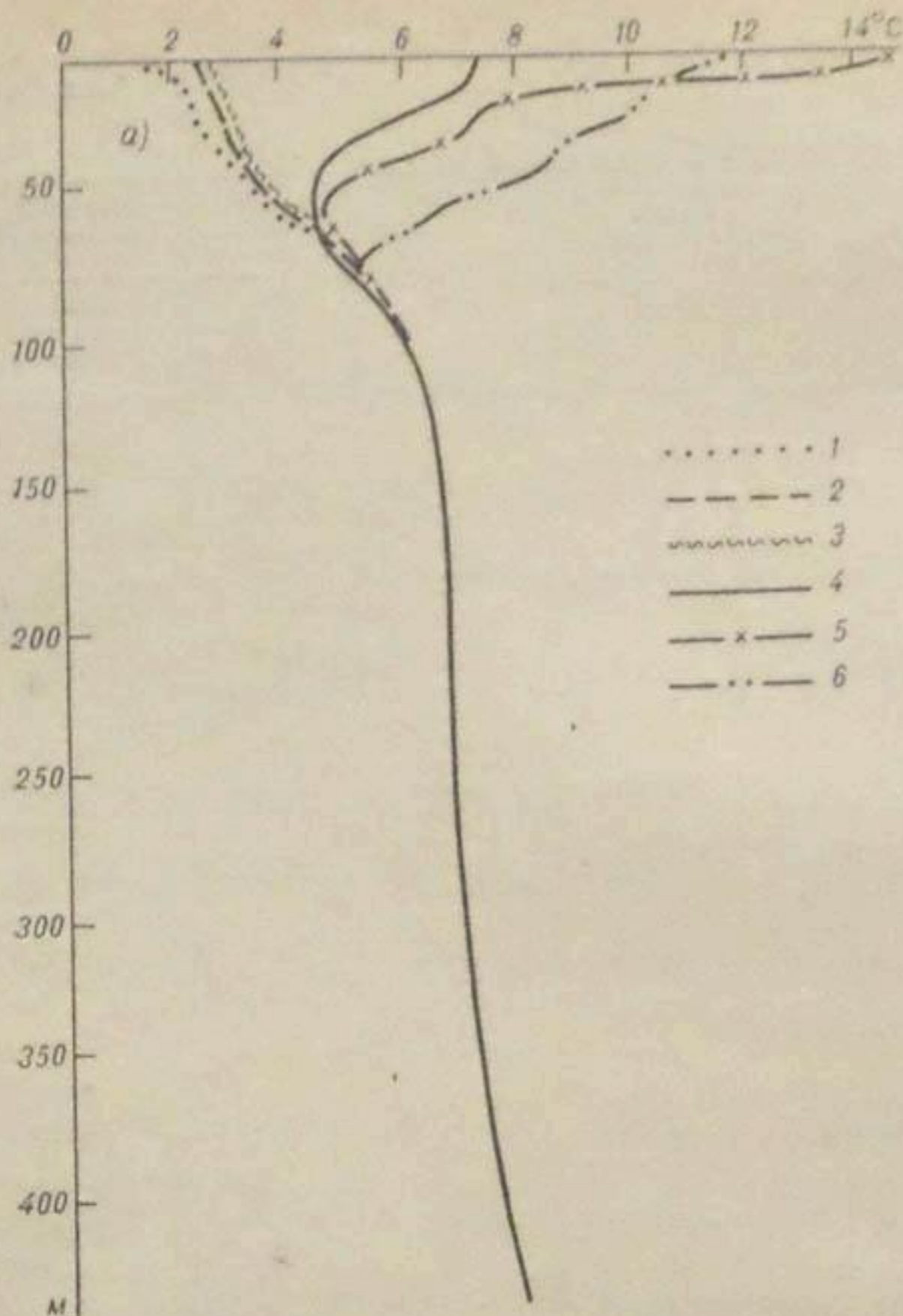
|      |     |     |     |     |          |          |           |      |           |
|------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|------|-----------|
| 9,0  | 5,7 | 3,9 | 3,4 | 2,5 | 12/X     | 10/XII   | 20/I      | 16,9 | 5/VIII    |
| 10,8 | 7,5 | 4,8 | 4,8 | 3,6 | 30/IX-53 | 13/XI-67 | 31/XII-44 | 18,8 | 13/VII-52 |
| 7,5  | 4,1 | 2,7 | 1,8 | 0,4 | 28/X-51  | 3/I-52   | 11/III-55 | 15,3 | 8/IX-59   |

рег (1936—1967 гг.)

|      |     |     |     |     |         |          |            |      |          |
|------|-----|-----|-----|-----|---------|----------|------------|------|----------|
| XII  |     |     |     |     | 4/X     | 22/XII   | 16/I       | 17,3 | 11/VII   |
| 8,5  | 6,3 | 4,9 | 4,1 | 3,3 | 5/IX-49 | 6/XII-39 | 20/VII-56  | 25,2 | 8/V-39   |
| 11,1 | 7,7 | 6,0 | 5,2 | 4,5 | 31/X-59 | 12/I-42  | 13/VIII-45 | 11,5 | 16/IX-59 |

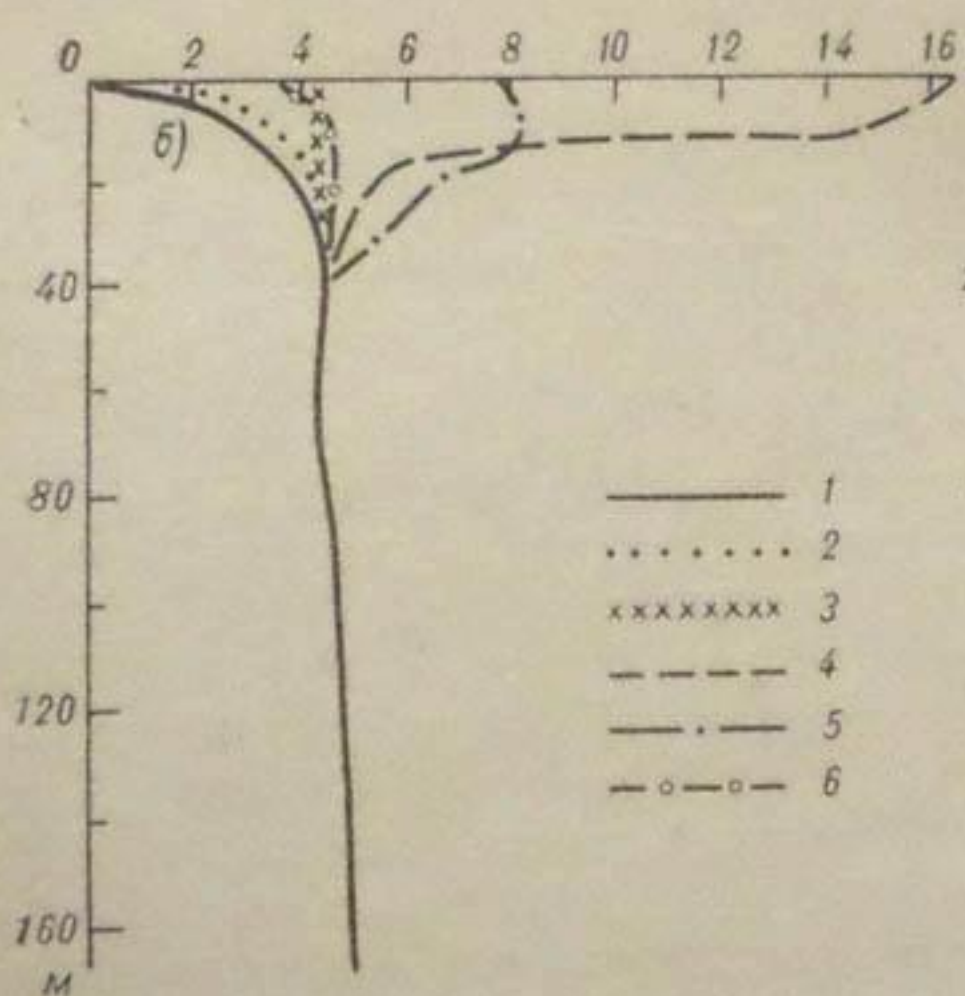
(рис. 2 а). Однако на таких водоемах, как Сарезское и Сарычелек, вследствие прогрева воды не только верхних, но и нижних слоев наблюдается постоянное явление дихотермии. Прогрев нижних слоев возможен за счет выделения энергии при разложении органических веществ, выхода термальных вод и увеличения плотности нижних слоев воды. Годовой термический цикл Сарезского озера охватывает слой воды до глубины 70—80 м и глубже, круглый год наблюдается обратная стратификация температуры воды, при этом температура у дна равна 7—8°C, т. е. на озере существует состояние устойчивой дихотермии [6]. Подобная картина наблюдается и на оз. Сарычелек (рис. 2 б). Средние даты начала охлаждения горных озер Средней Азии приходятся на вторую половину августа. В период охлаждения в глубоководных водоемах происходит понижение температур воды верхних слоев, охлаждение эпилимниона, перемешивание водных масс, увеличение эпилимниона, погружение слоя скачка, последующим исчезновением и установление осенней гомотер-



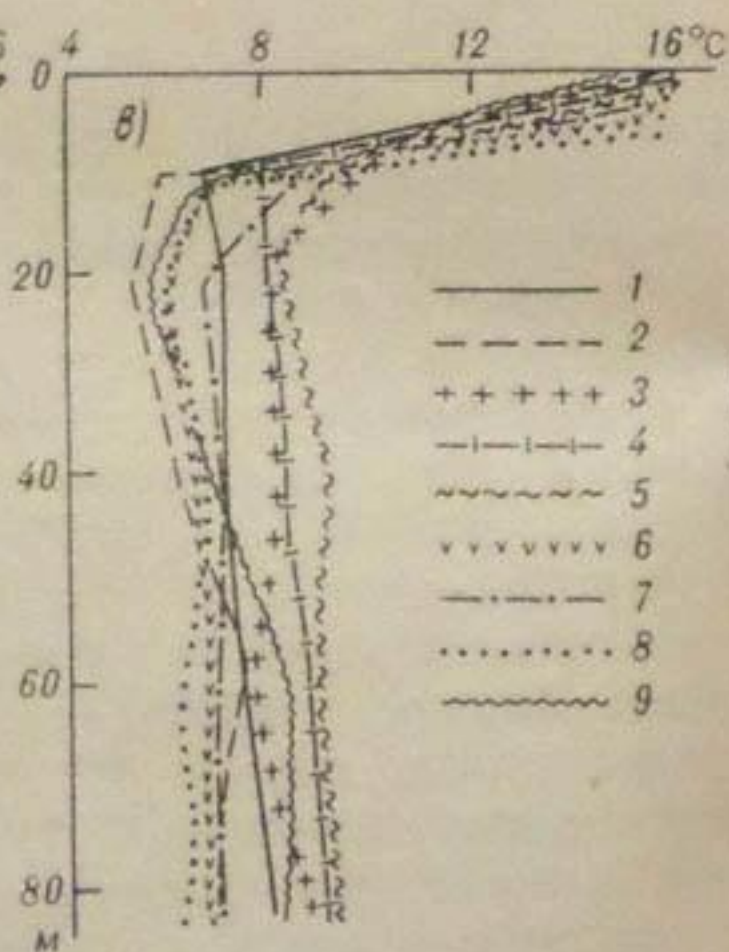


Озеро Сарезское: 1 — февраль, 2 — март, 3 — апрель, 4 — июнь, 5 — август, 6 — сентябрь; оз. Сарычелек: 1 — II/II, 2 — I/IV, 3 — 10/V, 4 — I/IX, 5 — I/XI, 6 — I/XII; оз. Кугала: 1—6 — соответственно 9, 12, 15, 18, 21 и 24 и 16/VIII 1968 г., 7—9 — соответственно 3, 6, 9 и 17/VIII 1968 г.

..... 1  
 --- 2  
 ~~~~~ 3  
 — 4  
 — x — 5  
 - . - 6



— 1  
 ..... 2  
 x x x x x x x x 3  
 --- 4  
 — . — 5  
 - o - o - 6



— 1  
 --- 2  
 + + + + + 3  
 | | | | | 4  
 ~~~~~ 5  
 v v v v v v v v 6  
 - . - 7  
 ..... 8  
 — o — 9

Рис. 2. Распределение температуры воды по глубине озер Сарезского (а), Сарычелек (б) и Кугала (в).



ии, которая является переходным моментом к осеннему периоду годового теплообмена. При этом состояние гомотермии наблюдается при температурах воды  $4-6^{\circ}\text{C}$ . На глубоководных водоемах осенняя гомотермия распространяется только до определенных глубин. Так, для оз. Сарычелек эта глубина равна 40 м, для оз. Сарезского — 70 м, для оз. Каракуль — 50 м. Ниже этих глубин динамическое перемешивание не захватывает водных масс озер.

На мелководных водоемах в период охлаждения состояние гомотермии может наблюдаться в период сильного ветрового перемешивания при температурах значительно выше  $4-12^{\circ}\text{C}$ .

Осенний период теплообмена наблюдается в сентябре — декабре, на крупных водоемах нередко захватывая январь. При этом продолжительность периода зависит в основном от теплозапасов водоема. Средние даты перехода температуры воды через  $4^{\circ}\text{C}$  в осенний период на малых высокогорных водоемах приходятся на сентябрь — ноябрь, а на больших водоемах — на декабрь — январь. При этом продолжительность периода между ранней и поздней датами перехода температуры воды через  $4^{\circ}\text{C}$  достигает двух месяцев на высокогорных озерах, а на низкогорных крупных водоемах — чуть больше месяца. Так, на озерах Искандеркуль и Сарезском этот период составляет 36—37 суток, а на оз. Яшилькуль — 56 суток.

В период **осенней гомотермии** конвекция прекращается, что затрудняет перемешивание и переход к обратной температурной стратификации. На мелководных водоемах состояние гомотермии сохраняется и после перехода температуры воды через  $4^{\circ}\text{C}$ .

Зимний период годового теплообмена наступает с устойчивым обратным термическим расслоением. До момента покрытия водоемов льдом водная масса теряет тепло в атмосферу. Этот процесс на незамерзающих водоемах происходит вплоть до начала весны.

Минимальные температуры воды наблюдаются в течение первых двух декад после замерзания ( $0,01-0,1^{\circ}\text{C}$ ), затем происходит некоторое увеличение температур на  $0,2-0,3^{\circ}$  за счет теплоотдачи от дна озерной котловины. На оз. Сарычелек в зиму 1964-65 г. минимальные температуры воды наблюдались во второй декаде января, к середине марта вода прогрелась на  $0,3-0,4^{\circ}$  в слое до 10 м, а к 1 апреля слой воды с температурой выше  $4^{\circ}\text{C}$  переместился с глубины 40 м на глубину 15—20 м (рис. 2 б).

В распределении температур воды по акватории горных озер Средней Азии наблюдается весьма пестрая картина. Даже в озерах простых форм с небольшими объемами сильное влияние на температуру водоема может оказывать температурный режим притоков.

В оз. Искандеркуль, в которое впадают три основные реки — Сарытаг, Хазормеч и Серима, распределение температуры воды по акватории зависит от температуры вод притоков.



Гидрологические разрезы, построенные по данным термической съемки П. Ф. Домрачевым в 1931 г. по линии Хазормечского и Сарытагского заливов и северной части озера, показывают охлаждающее влияние речных вод Сарытага и Хазормеча на горизонтальное и вертикальное распределение температур [3]. По мере удаления от устьев рек слои более прогретой воды утолщаются по направлению к северной части озера. По акватории озера температура поверхности воды в заливах на  $2^{\circ}$  ниже, чем в северной части.

Более сложное распределение температуры воды имеют водоемы с неоднородным распределением глубин по акватории.

Таблица 2

Распределение температуры воды по глубине оз. Каракуль 26/II 1894 г.

| Бассейн   | Глубина, м | Температура, $^{\circ}\text{C}$ | Бассейн  | Глубина, м | Температура, $^{\circ}\text{C}$ |
|-----------|------------|---------------------------------|----------|------------|---------------------------------|
| Восточный | 12,6       | 1,2                             | Западный | 73,0       | 2,1                             |
|           | 13,0       | 1,0                             |          | 222        | 2,4                             |
|           | 19,0       | 1,8                             |          | 229        | 3,5                             |
|           |            |                                 |          | 231        | 3,5                             |

В связи с этим отдельные зоны водоема характеризуются различием в годовом теплообмене. Характерным примером является оз. Каракуль, термический режим открытой части мелководного восточного бассейна которого резко отличается от глубоководного западного. Температура поверхности воды открытой части восточного бассейна в августе 1950 г. колебалась от  $10,7$  до  $13,0^{\circ}\text{C}$ , при этом В. Ф. Гурвич отмечает понижение температуры воды по мере удаления от берега. В сентябре температура воды составляла  $8,5\text{--}9,7^{\circ}\text{C}$ , в то время как максимальная температура поверхности воды в открытой части западного бассейна в августе была  $9,6^{\circ}\text{C}$  [2].

В противоположность восточному бассейну, где немаловажную роль играет ветровое перемешивание, водные массы западного бассейна испытывают значительное термическое расслоение. В летний период прямой температурной стратификации наблюдается ярко выраженный слой металимниона в диапазоне глубин  $25\text{--}50$  м. В зимний период также наблюдается значительное различие в распределении температур восточного и западного бассейнов (табл. 2).

На горных озерах Средней Азии наблюдается значительная по величине суточная амплитуда колебания температуры поверхности воды. На высокогорных озерах, где наблюдается мощная



оляция, суточная амплитуда колебания температуры воды достигает  $10^{\circ}\text{C}$  (оз. Каракуль). Суточный ход температуры воды обусловлен ходом метеорологических элементов и притоком вод (для малых водоемов). На водоемах с малой водной массой большим водообменом возможно наличие суточного хода температуры воды по всей глубине водоема. Это положение хорошо иллюстрируется материалами наблюдений на малых завальных озерах Ферганской долины — Карасубашикуль и Кугала (рис. 2 в). Наблюдения показывают, что на суточный ход температуры воды особое влияние оказывает приток более холодных вод, которые опускаются в глубинные слои озер, при этом амплитуда колебания придонных температур на  $2-3^{\circ}$  превышает амплитуду колебания температур поверхности воды. Температура воздуха и атмосферная радиация оказывают значительно меньшее влияние на термический режим водоемов, чем температура воды притока. Максимальных значений температура воды на малых озерах (Кугала, Карасубашикуль, Айкуль, Урунгах) достигает в начале, на крупных (Сарезское, Исхандеркуль) — ближе к 20 ч.

Горные озера, в большинстве из которых вода исключительно слабо минерализована, имеют температуру замерзания  $0,003-0,01^{\circ}\text{C}$ . Появление ледяных образований начинается в сентябре—октябре, при этом в первую очередь на малых водоемах высокогорной и приледниковой зоны. Замерзание водоемов происходит в несколько стадий. Первоначально появляются забереги и сало, после чего озеро затягивается льдом. Особенно быстро этот процесс происходит на водоемах, хорошо защищенных от ветра. Средняя продолжительность периода с осенними ледяными образованиями на крупных озерах, таких, как Сарезское, Яшилкуль, Исхандеркуль, изменяется от 17 до 27 дней, на малых водоемах ледостав устанавливается в течение одной недели после появления заберегов. Средние даты появления ледяных образований для озер Яшилкуль, Сарезское и Исхандеркуль приходятся соответственно на 31 октября, 21 декабря, 10 января. Крайние даты колеблются в широких пределах — от 60 до 100 суток. Даты наступления ледостава изменяются в меньших пределах: от 40 до 60 дней. Продолжительность

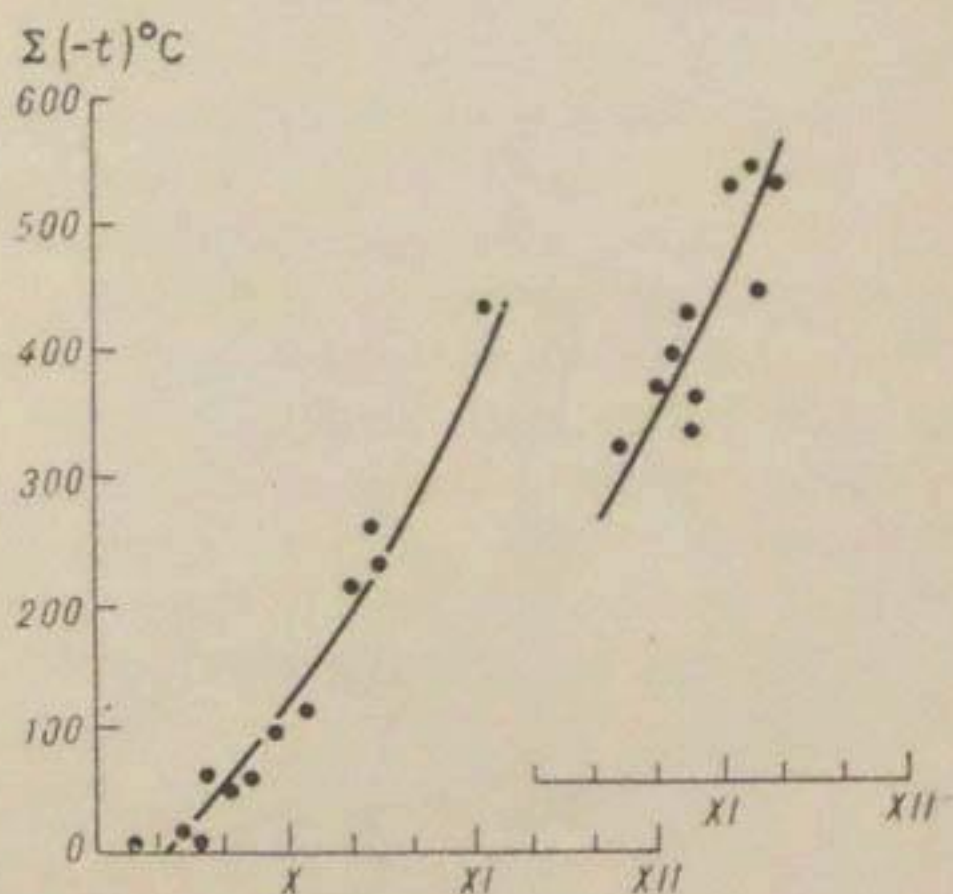


Рис. 3. График зависимости дат появления ледяных образований и замерзания от суммы отрицательных температур воздуха для оз. Яшилкуль.

начально появляются забереги и сало, после чего озеро затягивается льдом. Особенно быстро этот процесс происходит на водоемах, хорошо защищенных от ветра. Средняя продолжительность периода с осенними ледяными образованиями на крупных озерах, таких, как Сарезское, Яшилкуль, Исхандеркуль, изменяется от 17 до 27 дней, на малых водоемах ледостав устанавливается в течение одной недели после появления заберегов. Средние даты появления ледяных образований для озер Яшилкуль, Сарезское и Исхандеркуль приходятся соответственно на 31 октября, 21 декабря, 10 января. Крайние даты колеблются в широких пределах — от 60 до 100 суток. Даты наступления ледостава изменяются в меньших пределах: от 40 до 60 дней. Продолжительность



ледового периода составляет 0—200 суток. Сроки замерзания зависят для каждого водоема от его специфических особенностей и климатических факторов. В этой связи для различных водоемов возможно получить зависимости сроков замерзания от суммы отрицательных температур воздуха (рис. 3).

Горные водоемы вскрываются в период с февраля по июнь в зависимости от высотной зоны и размеров. Так, вскрытие оз. Искандеркуль происходит в феврале — апреле, оз. Сарезского в марте — мае, оз. Яшилькуль в апреле — июне. Очищение водоемов происходит в сравнительно короткий срок, в среднем за одну неделю. Однако в отдельные годы на высокогорных озерах с продолжительными холодными весенними периодами вскрытие озер растягивается до месяца. Вскрытие начинается с появления закраин за счет увеличения притока от стаивания

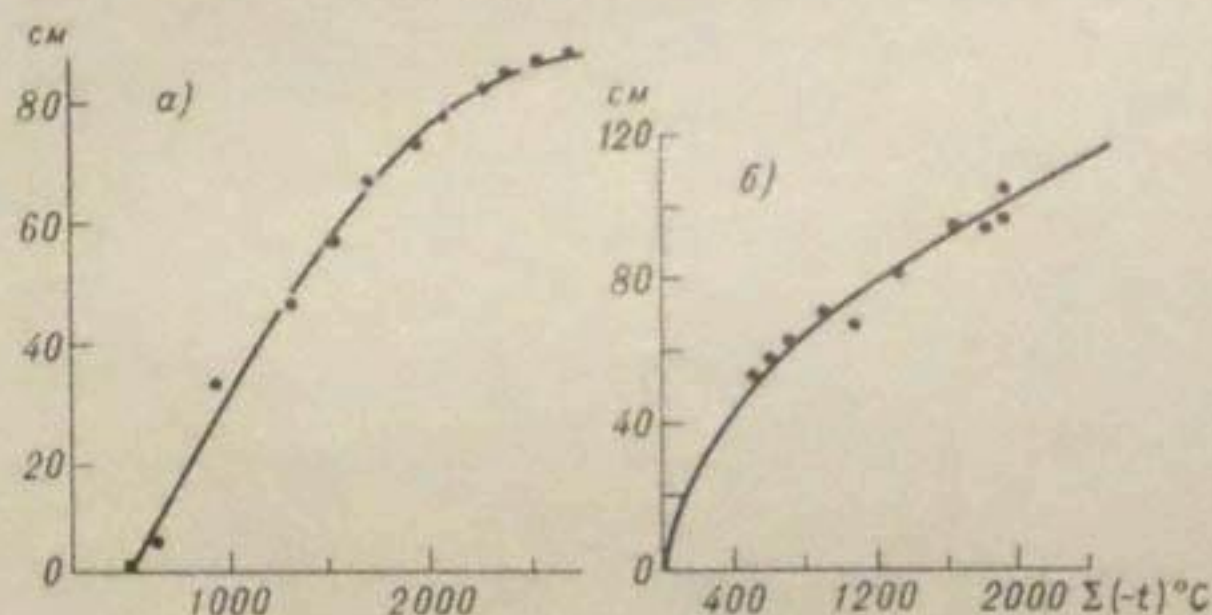


Рис. 4. График зависимости толщины льда горных озер от суммы отрицательных температур воздуха для озер Каракуль (а) и Яшилькуль (б).

снега на льду, прироста уровня воды, отрыва и всплытия ледяного покрова. В этот же период во льду появляются лунки и радиальные трещины. Затем наблюдается быстрое протаивание, дробление ледяного покрова и его исчезновение. Характер вскрытия можно проиллюстрировать на примере оз. Кугала в Ферганской долине, в 1969 г. период непосредственного таяния ледяного покрова на нем занял четверо суток.

Продолжительность ледостава может достигать более 200 суток. При этом период ледостава определяется в основном климатическими факторами.

Ледяной покров озер имеет слоистое строение, при этом толщина льда может достигать 1 м. Для большинства озер возможно нахождение зависимости толщины льда от суммы отрицательных температур воздуха. В качестве примера на рис. 4 приведены подобные зависимости для озер Каракуль и Яшилькуль.



## ВЫВОДЫ

В термическом режиме горных озер Средней Азии наблюдается четыре периода годового теплообмена: период весенней гомотермии, период прямой температурной стратификации, период осенней гомотермии, период обратной температурной стратификации. Большинство горных озер относится к типу умеренных. Озера, сосредоточенные в приледниковых зонах и на теле ледников, относятся к озерам полярного типа, но их немного.

Внутригодовое изменение температуры воды горных озер Средней Азии колеблется в значительных пределах — до  $30^{\circ}\text{C}$ .

При рассмотрении термического режима озер умеренного типа следует подразделить водоемы на мелководные и глубоководные. Решающую роль в термическом режиме крупных горных озер играют климатические факторы и в первую очередь температура воздуха. Для мелких водоемов в формировании термического режима первостепенное значение принадлежит температурному режиму притока, питающему водоему.

Глубоководным водоемам свойственно наличие эпи-, мета- и гипolimниона и их изменение в течение года. Для мелководных водоемов с малыми глубинами и объемами воды в течение отдельных сезонов наблюдается периодичность состояния гомотермии и изотермического расслоения. В годовом термическом режиме глубоководных завальных озер Средней Азии нередко наблюдается явление дихотермии за счет процессов биологического разложения и повышения температур в придонных слоях.

На высокогорных озерах ежегодно наблюдается ледостав продолжительностью до 200 дней при толщине льда до 1 м.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский Б. Б. Озероведение. М., изд. МГУ, 1961. 335 с.
2. Гурвич В. Ф. Озеро Каракуль как среда обитания. Ташкент, 1958. 70 с. (Тр. САГУ, вып. 132).
3. Домрачев П. Ф. Исследование озера Искандеркуль в гидрологическом и рыбохозяйственном отношении в 1931 г. — «Труды ледниковых экспедиций», вып. 3, 1936, с. 289—367.
4. Зайков Б. Д. Очерки по озероведению. Л., Гидрометеониздат, 1955. 271 с.
5. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 74. М., Гидрометеониздат, 1967. 68 с.
6. Рейзвих В. Н. Основные черты гидрометеорологического режима Сарезского озера. — «Сб. работ ТГМО», 1970, вып. 4, с. 29—48.



А. М. НИКИТИН

## О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ БЕССТОЧНЫХ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ПАМИРА

В высокогорных районах Восточного Памира расположено несколько сот больших и малых озер, среди них такие крупные бессточные горные водоемы, как Каракуль, Рангкуль, Шоркуль, Сасыккуль и ряд более мелких озер.

Исследования, проведенные автором в 1970 г., позволили уточнить современное состояние озер и на примере озер Рангкуль, Шоркуль, Сасыккуль и Тузкуль дать гидрометеорологическую характеристику современного состояния бессточных озер Восточного Памира.

### Озера Рангкуль и Шоркуль

Озера Рангкуль и Шоркуль занимают западную часть котловины Сарыкаламских гор. Сарыкаламская котловина представляет собой холодную высокогорную пустынную равнину, имеющую незначительный уклон (2‰) с востока на запад. Она окружена горами, вершины которых достигают 5000 м и более. Хребты, обрамляющие котловину, имеют сравнительно плавные, заплывшие щебнем склоны, и лишь в отдельных местах на них наблюдаются выходы палеозойских пород в виде небольших кряжей и скал. Дно котловины покрыто щебнем темно-серого цвета и в непосредственной близости от озер представляет собой щебнисто-гравелистую или гравелисто-песчаную поверхность.

Пустынная равнина покрыта редкими подушками и кольцами терескена и полыни. Восточнее оз. Рангкуль и по берегам протоки Узюкдарья, соединяющей озера, на типичных поверхностях морозного выпучивания, имеющих кочковатую форму, расположены влажные осоковые луга. По всему побережью оз. Шоркуль и по северному побережью оз. Рангкуль наибольшие пространства занимают солончаки.

Озера расположены в пониженных частях котловины и относятся по генезису впадин к озерам тектонического происхожде-



ния. Водосборная площадь озер 2410 км<sup>2</sup>, из них 1890 км<sup>2</sup> приходится на водосбор оз. Рангуль.

Общей характерной особенностью бассейна является сухость климата, отсутствие зон оледенения при средних высотах более 4000 м и, как следствие этого, отсутствие постоянно действующих водотоков.

Озеро Рангуль представляет собой водоем, постепенно сужающийся на запад, с довольно расчлененной береговой лини-

Таблица 1

Морфометрические характеристики озер Рангуль и Шоркуль

| Характеристика                         | Рангуль | Шоркуль |                       |         |                       |
|----------------------------------------|---------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|
|                                        |         | Большой |                       | Малый   |                       |
|                                        | при УВВ | при УВВ | современное состояние | при УВВ | современное состояние |
| Площадь водосбора, км <sup>2</sup>     | 1890    | 2410    | 2416                  | 2410    | 2416                  |
| Высота расположения озера, м . . . . . | 3784    | 3782    | 3779,5                | 3782    | 3779,5                |
| Площадь зеркала, км <sup>2</sup>       | 7,78    | 10,23   | 7,76                  | 6,06    | 1,99                  |
| Длина, км . . . . .                    | 5,8     | 5,84    | 4,60                  | 3,76    | 2,30                  |
| Ширина средняя, км . .                 | 1,34    | 1,75    | 1,43                  | 1,61    | 0,83                  |
| Ширина максимальная, км . . . . .      | 2,3     | 3,40    | 3,20                  | 3,28    | 1,22                  |
| Глубина средняя, м . .                 | 0,72    | 3,8     | 2,2                   | 1,77    | 0,27                  |
| Глубина максимальная, м . . . . .      | 2,80    | 7,5     | 5,0                   | 3,0     | 0,5                   |
| Объем озера, млн. м <sup>3</sup>       | 5,61    | 39,74   | 17,94                 | 10,75   | 0,527                 |
| Длина береговой линии, км . . . . .    | 21,3    | 17,4    | 12,6                  | 12,4    | 10,2                  |

ей. В северо-восточной части озера расположено два мелководных залива, по северному берегу — два небольших заливчика; коэффициент развития береговой линии озера равен 2,15 (табл. 1, рис. 1 а). Акватория озера слабо вытянута в западном направлении и имеет коэффициент вытянутости 2,52 и коэффициент компактности 0,59.

Берега оз. Рангуль большей частью пологие, плавно переходящие в окружающие формы рельефа, лишь по северному берегу наблюдаются останцы береговых уступов высотой до 2,5 м. Все восточное побережье озера представляет собой заболоченный луг с характерными для зон вечной мерзлоты кочками выпучивания. В июле — августе луга покрыты множеством цветов, издали сливающимися в фиолетово-розовый ковер. По северному берегу в понижениях прибрежной зоны также наблюдается лу-



говая растительность, но в основном побережье занято солончаками, в большинстве своем абсолютно лишенными растительности, с белым налетом солей. Чаша оз. Ранкуль объемом  $5,61 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup> характеризуется плавным понижением дна к центральной части котловины. На тектонические процессы образования котловины наложила свой отпечаток и вечная мерзлота с проявлением деятельности термокарста, в результате чего центральная часть котловины испещрена воронками. Относительная глубина озера, определенная как отношение максимальной глуби-



Рис. 1. Планы озер Ранкуль (а) и Шоркуль (б).

ны к диаметру озера, исключительно мала и равна 0,1%. Вся восточная часть озера мелководная, с глубинами менее 0,5 м. На большей части акватории глубины 0,6—1,2 м. Область максимальных глубин приурочена к центральной части водоема и ближе к северному берегу, где повсеместно расположены термокарстовые воронки. Диаметр большинства воронок не превышает 30 м, но в отдельных случаях достигает 100 м; глубина воронок более 2,0 м.

Дно озера покрыто слоем ила и иловатыми песками толщиной до 30 см, которые залегают поверх гравийной подушки. При глубинах до 0,6 м дно песчаное. Черный ил покрывает дно озера при глубинах более 1,2 м, что позволяет точно разграничить



характер озерных отложений по акватории. По всей акватории при глубинах более 0,6 м дно покрыто водорослями различных видов, при этом густота растений зависит от глубины. Наибольшей густоты растения достигают в глубоких термокарстовых воронках.

В южной части водоема расположен о. Арал-Баши. Остров абсолютно голый и возвышается над урезом воды, как и останцы по северному берегу, на 2,5 м. Суглинок, слагающий поверхность острова, серый или зеленовато-серый. Подобный характер имеют береговые уступы по северному берегу, которые, как и остров, побиты мерзлостойными трещинами. Отложения озерных глин на острове и останцах свидетельствуют о более высоком стоянии уровня в далеком прошлом.

В 3 км западнее оз. Ранкуль расположена чаша оз. Шоркуль, соединяемая с оз. Ранкуль, как уже указывалось, протокой Уюкдарья.

Озеро Шоркуль представляет собой водоем, разделенный сильно вдающимся в него полуостровом на два самостоятельных бассейна, соединяемых узкой протокой (рис. 1 б). В настоящее время западный и восточный бассейны существуют как два самостоятельных водоема. В дальнейшем они будут именоваться — Малый Шоркуль и Большой Шоркуль (табл. 1, рис. 1 б).

Большой Шоркуль незначительно вытянут в восточном направлении, имеет протяженность 5,84 км и коэффициенты вытянутости и компактности 1,72 и 0,52 соответственно. Береговая линия расчленена менее значительно, чем у оз. Ранкуль, и имеет коэффициент развития 1,54. Береговая линия малого водоема расчленена более значительно, акватория включает ряд небольших заливчиков, и коэффициент развития береговой линии равен 1,41. По форме в плане водоем имеет угловатую форму с коэффициентом вытянутости, близким к единице (1,15), и коэффициентом компактности 0,49.

Северное и западное побережье оз. Шоркуль имеет плавные формы и хорошо вписывается в окружающие формы рельефа. На юге и в районе полуострова берега поднимаются, на ряде участков полуострова и прилегающих к нему крыльях южного побережья они круто обрываются. Высота береговых уступов достигает 5 м.

В последнее десятилетие уровень воды в оз. Шоркуль понизился на 2,5 м, в связи с чем изменилась их форма. Особенно резко изменилось очертание берегов западного водоема и северное пологое побережье восточного. Площадь водной поверхности малого водоема уменьшилась на 4,07 км<sup>2</sup>, а северный берег Большого Шоркуля отступил на 200—250 м. Морфометрические характеристики современного состояния оз. Шоркуль приведены в табл. 1.

Чаша оз. Шоркуль представляет собой два обособленных понижения, разделенных поднятием в центральной части озера. Общий объем воды озера при УВВ равен 14,7 млн. м<sup>3</sup>. В релье-



фе дна наблюдается понижение к центральной части, более плавное с севера и крутое с юга. Области максимальных глубин смещены к полуострову, в зоне которого происходит наиболее резкое их изменение. Уже в 50 м от берега глубины достигают 2,5 м. Максимальные глубины занимают центральную часть восточного водоема и достигают 7,5 м. Глубины западного водоема невелики и в момент обследования составляли 0,5—0,6 м.

В отличие от оз. Рангуль центральная часть оз. Шоркуль значительно меньше испещрена термокарстовыми воронками. Ширина воронок значительна — 150—200 м, а глубина их менее 2 м. Примечательной особенностью рельефа дна Большого Шоркуля является наличие на глубинах более 5 м «коралловых» шапок диаметром до 3 м. Образование соляных «кораллов» связано с кристаллизацией солей на поверхности отмирающих растений. Строение их напоминает коралловые рифы. Это полые, покрытые почками соли стебли растений. Цвет выкристаллизовавшихся солей от розового до зеленовато-серого. «Коралловые» шапки чрезвычайно непрочны, имеют решетчатую структуру и легко пробиваются наметкой.

Внутриводная растительность занимает почти всю акваторию Большого Шоркуля при глубинах более 60 см. В результате волнения большие массы водорослей выносятся на берег. Отмершие водоросли образуют валки, заносимые песком и суглинками. Это явление наблюдается по всему северному побережью малого водоема, где в результате усыхания озера и концентрирования солей происходит отмирание растений, которые затем выбрасываются волнами на берег. Валки водорослей были обнаружены на расстоянии 250 м от уреза воды. Малый Шоркуль практически мертв, а по берегам его наблюдается масса сбившихся в валки (толщиной до 80 см) водорослей.

Глубоководная зона водоемов покрыта слоем ила до 30 см, под которым повсеместно прослеживается гравийная подушка. Мелководная зона покрыта слоем желтых песков с массой гусиного помета.

В центральной части Малого Шоркуля возвышается остров, имеющий то же происхождение, что и полуостров, и останцы оз. Рангуль.

В настоящее время озера Рангуль и Шоркуль представляют собой три самостоятельных водоема, соединенных между собой протоками. При дальнейшем усыхании Шоркуля произойдет полное отшнуровывание малого водоема и образование солончака. Однако еще в 1959 г. оз. Шоркуль представляло собой один целый водоем. В результате усыхания уровень озера за 13 лет понизился на 2,5 м. В далеком прошлом котловина была заполнена водами одного большого озера площадью более 30 км<sup>2</sup>, имевшего отток в долину р. Мургаб. Неопровержимость этой теории подтверждает отложение на большой площади древних озерных глин, высоко поднятых над современным уровнем воды, болото площадью 15 км<sup>2</sup> восточнее оз. Рангуль и общий рельеф котло-



ны. При наполнении оз. Шоркуль на 10 м выше существующих меток возможен отток воды в долину р. Мургаб и объединение доемов.

Озеро Ранкуль имеет в настоящее время постоянный стабильный уровень воды, годовая амплитуда колебания которого не превышает 20—30 см. Малая амплитуда колебания определяется оточностью озера, глубиной на пороге водослива 15—20 см характером питания.

Питание озер осуществляется в основном за счет грунтового потока и в исключительно короткие периоды — за счет стока временно действующих водотоков. Однако они не доносят своих вод до озер поверхностным путем, а дренируются и в виде родников выходят на поверхность в прибрежной зоне озер. Особенно много родников в восточной и юго-восточной оконечности оз. Ранкуль и по его южному берегу, где в результате мощного подпирания и продолжительного холодного периода наблюдается развитие явлений вечной мерзлоты — кочки выпучивания и залоченные луга-сазы. Дебит родников исключительно мал и в среднем суммарно не превышает  $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  в период летнего наполнения озер. Осадки на площади зеркала не могут дать прироста в уровне воды, так как их величины крайне незначительны.

Питание оз. Шоркуль осуществляется исключительно за счет потока из оз. Ранкуль по протоке Узюктарья. Кратковременный приток в озеро может осуществляться за счет действия временных водотоков, но это явление чрезвычайно редкое в суровых условиях Восточного Памира.

Следует добавить, что в питании озер участвует не вся водосборная площадь Сарыкаламской котловины, а лишь ее западная, озерная часть.

Термический режим водоема может быть охарактеризован только по данным единичных наблюдений. Температура воды озер претерпевает внутригодовые и внутрисуточные колебания. Весенний период (апрель — май) происходит вскрытие озер, переход температуры воды через  $0,2^\circ\text{C}$ . Переход температуры через  $4^\circ\text{C}$  наблюдается в конце мая, когда озеро полностью освобождается ото льда. В течение июня происходит быстрое нагревание водоемов, к середине месяца температура воды достигает  $10^\circ\text{C}$ .

Максимальный прогрев озер наблюдается в июле — августе, что хорошо согласуется с ходом температуры воздуха. Замерзание озер в октябре. С началом ледовых явлений совпадает осенний переход температуры воды через  $0,2^\circ\text{C}$ .

В июле 1970 г. температура воды в открытой части озера изменялась от  $11^\circ\text{C}$  в зонах выклинивания грунтовых вод до  $16^\circ\text{C}$  в зонах мелководья. 24 июля средняя температура поверхности Ранкуль равнялась  $12,2^\circ\text{C}$ , а оз. Шоркуль —  $12,1^\circ\text{C}$ . В связи с малыми глубинами в водоемах наблюдается постоянное перемешивание воды и состояние гомотермии.



Максимальная температура может составлять 20°C. Температура воды родников постоянна в течение суток и равна 3,0°C.

Район Восточного Памира характеризуется значительной внутрисуточной амплитудой колебания температуры воздуха, в связи с чем в ночное время в местах выхода грунтовых вод среди кочек вспучивания образуется тонкий (2—3 мм) ледяной покров.

Прозрачность озер равна максимальной глубине, а цвет воды изменяется от темно-зеленого до бурого и относится к XVI—XVIII группам по шкале цветности.

Вода оз. Ранкуль пресная, а оз. Шоркуль — солоноватая. По химическому составу озера следует отнести к сульфатно-гидрокарбонатно-магниевым-натриевым.

### Озера бассейна р. Аличур

В котловине на левобережье среднего течения р. Аличур расположена группа из 31 бессточного озера. Наиболее крупными из них являются озера Сасыккуль, Тузкуль и Кичиккуль.

Естественной границей озерной котловины служат отроги Северо-Аличурского и Южно-Аличурского хребтов. Возвышенность, расположенная в центральной части котловины, разделяет ее на северную — Тузкульскую — и южную — Сасыккульскую. Котловина представляет собой холодную высокогорную пустыню, имеющую незначительный уклон к озерным ваннам и общий уклон к руслу р. Аличур, являющейся естественной границей озерного комплекса на севере. Горные поднятия, обрамляющие котловину, имеют вид слаборасчлененной холмистой возвышенности. Это впечатление создается плавными формами рельефа, малыми уклонами и небольшой разностью отметок дна котловины и отрогов хребта.

Растительность исключительно редкая, и лишь по берегам озер произрастают влажные луга зон вечной мерзлоты.

Озера занимают наиболее пониженные участки котловин: Сасыккуль — 3825 м, Тузкуль — 3798 м, Кичиккуль — 3801 м. Котловины озер представляют собой остатки некогда большого водоема, занимавшего всю пониженную часть котловины до отметки 3830 м. На более высокое положение уровня воды в озерах в прошлом указывают отложения озерных глин, расположенных по берегам оз. Сасыккуль и между озерами Тузкуль, Кичиккуль и безымянными озерами. Останцы представлены в виде бугров, трудноразмываемых свинцово-серых глин. Высота бугров достигает 20 м, все они побиты мерзлостойкими трещинами глубиной до 5 м.

Граница водосборной площади озер выражена неявно. Отсутствие постоянно действующих водотоков есть следствие общей сухости климата. Среднегодовая температура воздуха по ближайшей метеостанции Булун-Куль равна —5,4°C, упругость во-



ного пара составляет 2,3 мб, а годовая сумма осадков 104 мм [2].

В июле 1970 г. были проведены рекогносцировочные обследования вышеперечисленных озер, в результате которых получены данные о генезисе котловин озер и их морфометрии (табл. 2, ис. 2).

В плане озера представляют собой вытянутые в северо-восточном и северном направлении водоемы со слабо изрезанной береговой линией. Коэффициент развития береговой линии озер не превышает 2,0, а коэффициенты вытянутости и компактности водоемов равны соответственно 2,03 и 0,83 для оз. Сасыккуль, 4,36 и 0,49 для оз. Тузкуль, 4,36 и 0,64 для оз. Кичиккуль.

Т а б л и ц а 2

Морфометрические характеристики озер Сасыккуль, Тузкуль и Кичиккуль

| Характеристика                                    | Сасыккуль | Тузкуль | Кичиккуль |
|---------------------------------------------------|-----------|---------|-----------|
| Высота расположения озера, м . . . . .            | 3825,0    | 3798,0  | 3801,0    |
| Площадь зеркала, км <sup>2</sup> . .              | 8,92      | 1,84    | 0,29      |
| Длина, км . . . . .                               | 4,68      | 2,98    | 1,40      |
| Ширина средняя, км . . .                          | 1,91      | 0,62    | 0,21      |
| Ширина максимальная, км                           | 2,30      | 1,26    | 0,32      |
| Глубина средняя, м . . .                          | 3,07      | 1,04    | 0,34      |
| Глубина максимальная, м                           | 5,30      | 1,40    | 0,90      |
| Объем озера, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> . . . | 30,45     | 1,95    | 0,1       |
| Длина береговой линии, км                         | 12,5      | 8,6     | 3,6       |
| Коэффициент развития береговой линии . . . . .    | 1,18      | 1,78    | 1,86      |

Берега озер большей частью пологие и хорошо вписываются в окружающие формы рельефа. Это понятно, так как современный уровень воды в этих озерах значительно ниже, чем в прошлом. Берега представляют собой песчаные, приподнятые над уровнем воды поверхности или низменные, заболоченные луговые пространства. Берега оз. Сасыккуль в основном песчаные и почти полностью покрыты солончаками, лишь в юго-западной и восточной оконечностях озера расположены низменные зоны вечной мерзлоты, покрытые луговой растительностью. Берегами оз. Тузкуль являются голые склоны близко подходящих к озеру небольших возвышенностей, которые сплошь покрыты солончаком, только в восточной оконечности озера при сопряжении его с безымянным озером наблюдается узкий перешеек луговой



растительности. Берега оз. Кичиккуль представляют собой типичные сазы с выходом большого числа родников и большой площадью заболоченной местности. Современное состояние мелких озерных чаш такое, что многие из них попросту перестали существовать, а вместо них дно котловин заполнили солончаки или болота. На окружающие озера низины наложили отпечаток и явления вечной мерзлоты с характерными для нее кочками выпучивания.



Рис. 2. Планы озер бассейна р. Аличур.  
а — оз. Тузкуль, б — оз. Кичиккуль, в — оз. Сасыккуль.

Строение дна озер характеризуется первоначальным резким понижением и столообразной поверхностью центральных зон котловин. Относительная глубина озер составляет 0,1%. Наибольшая глубина оз. Сасыккуль 5,3 м, однако зоны распространения больших глубин невелики. На значительной части оз. Сасыккуль глубины составляют 3 м, оз. Тузкуль — 1,0 м и оз. Кичиккуль — 0,5 м. При этом зоны максимальных глубин расположены именно в центральных частях водоемов.

Дно озер сложено гравием и крупными песками, покрытыми слоем ила толщиной до 50 см. На отдельных участках в центральной зоне оз. Сасыккуль обнажены кристаллические породы. При-



режные зоны сложены песком, гравием, крупной галькой. Внутренняя растительность в озерах развита чрезвычайно слабо.

Питание озер осуществляется за счет притока грунтовых вод в краткие промежутки времени — по временно действующей сети мелких саев. Горные сая котловины не доносят своих вод в озера поверхностным путем, и лишь р. Тамды достигает оз. Сасыккуль.

Годовая амплитуда колебания уровня воды в озерах незначительна и не превышает 30—50 см в связи с общей суровостью климата, незначительным притоком воды и расходом ее на испарение. За последнее десятилетие отмечается тенденция к падению уровня всех озер и особенно Сасыккуль. Современный уровень наполнения оз. Сасыккуль, по данным наблюдений 1970 г., ниже отметки УВВ на 2,5 м. Мелкие озера с глубинами менее 5 м имеют, видимо, многолетнюю амплитуду колебания уровня, равную их максимальному наполнению, т. е. озера периодически пересыхают, что и наблюдается в настоящее время.

Как уже говорилось, по контуру озер и в межозерных перепадах наблюдаются останцы отложений древних озерных глин. Определения, произведенные по отметкам заложения этих отложений, позволяют утверждать о значительно более высоком положении уровня воды в прошлом — до отметок 3825—3830 м. При достижении указанных отметок озера становились проточными и отток из них осуществляется в русло р. Аличур. Чаша озер занимает понижения рельефа в трудноразмываемых озерных отложениях, в связи с чем наблюдается полное отсутствие подземной связи между водоемами. Расположенные в непосредственной близости друг от друга, водоемы имеют перепады в отметках уровня воды в несколько метров, так что каждый водоем имеет свой водный баланс, не зависящий от наполнения остальных озер этой группы.

Вода в озерах пресная, солоноватая, а в оз. Сасыккуль горько-соленая, при этом величина плотного остатка достигает 140 г/л. По составу воды озера относятся к гидрокарбонатно-хлоридно-натриевому типу, а значения рН, равные 9,6—9,7, позволяют отнести озера к щелочным водоемам.

Величина прозрачности озер неодинакова и составляет для оз. Сасыккуль 2 м, оз. Тузкуль — 0,30 м, оз. Кичиккуль — 0,90 м. Цвет воды озер относится к VII—VIII группе по шкале Фореля, а цвет воды оз. Тузкуль не подходит ни к одной группе по шкале цветов — вода молочного цвета.

Приведенные материалы современного состояния бессточных озер различных районов Восточного Памира позволяют сделать вывод, что в последнее десятилетие они усыхают. Бессточные горные водоемы, гидрометеорологический режим которых еще не нарушен хозяйственной деятельностью человека, не в пример озерам равнинных территорий, являются индикаторами общей увлажненности горных зон Средней Азии. В связи с вышесказанным было бы целесообразно организовать стационарные лим-



нологические подразделения на таких водоемах Средней Азии, как Караккуль, Ранкуль, Шоркуль на базе уже существующих метеорологических станций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гвоздецкий Н. А. О современной эволюции оз. Шоркуль на Памире.—«Изв. ВГО», 1970, т. 102, вып. 6, с. 556—557.
2. Справочник по климату СССР. Вып. 31. Л., Гидрометеиздат, 1969. 212 с.



## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ И ДЕЛЬТОВЫХ ОЗЕР р. АМУДАРЬИ

В связи с изъятием воды на орошение и резким снижением уровня Аральского моря с 1960 г. (рис. 1), огромная дельта р. Амударьи претерпевает большие изменения, которые существенно отражаются на хозяйстве этого района. Неучет этих изменений может явиться причиной появления нерациональных и неоправданных решений по освоению природных ресурсов устьевой области. Задача настоящей работы заключалась в том, чтобы выявить закономерности в происходящих изменениях, дать определенные рекомендации по прогнозу возможных изменений в будущем, которые могли бы быть учтены при планировании народного хозяйства.

Главным фактором, определяющим изменения природных условий устьевой области, является изменение режима стока Амударьи и изменения в строении гидрографической сети дельты, включая ее озера. Изменения стока вызываются как естественными факторами (климатические), так и деятельностью человека (антропогенные), ведущими, как правило, к безвозвратной потере стока. Изменения гидрографической сети, особенно естественные обводнения отдельных районов и массивов дельты, а также и акваторий устьевого взморья, в значительной мере обуславливаются русловыми процессами.

Объектом исследований являлась устьевая область Амударьи, определенная в границах, описанных в монографии М. М. Рогова [5]. Дельта Амударьи с вершиной у Тахиаташа занимает площадь около 9 тыс. км<sup>2</sup>, по М. М. Рогову [5], и 7,5 тыс. км<sup>2</sup>, по А. М. Никитину [2]. По нашим подсчетам она оказалась равной 9,33 тыс. км<sup>2</sup> за счет падения уровня Аральского моря.

В монографии [5] показано общее состояние гидрографической сети и устьевой области на 1964 г. За период 1964—1972 гг. значительно сократились затапливаемые площади в отдельных районах дельты, произошло обмеление взморья и его отступление. В этот период все посты в дельте отмечали спад уровня воды.



Характерным в этом отношении является водпост Темирбай, где средняя годовая интенсивность падения уровня составила 0,3—0,4 м, а общее понижение уровня 2,50 м. На рис. 2 приведено изменение уровней воды на этом водпосту в зависимости от заданных расходов воды по этому же створу.

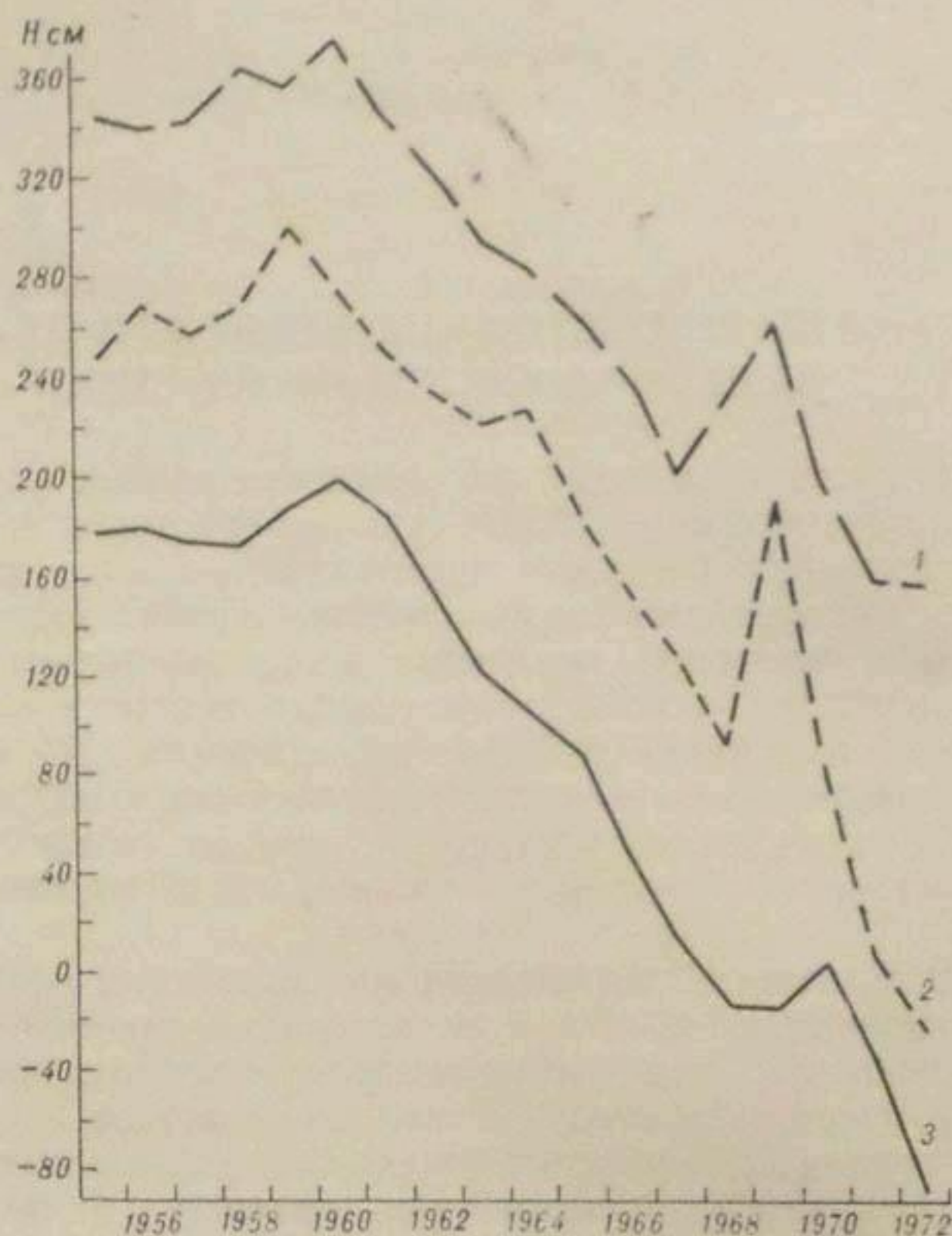


Рис. 1. Многолетние колебания уровней воды Аральского моря и дельты Амударьи.  
1 — Казахдарья, 2 — Темирбай, 3 — Тигровый.

В этот период произошли большие изменения в строении русловой сети. По основному руслу Амударьи произошло спрямление Есберген-Шеганакской излучины, которое привело к сокращению общей длины реки на 11 км и изменению морфологии русла ниже самой излучины. Практически отмерла Кипчакдарья, сток Амударьи сосредоточился по Акдарье. Ограниченная пропускная способность Акдарьи на участке до Порлытау обуславливает, с одной стороны, значительные потери стока в период паводков, с другой — значительные переработки самого русла, которые выражаются в некотором выпрямлении (укрупнении) узлучин за



счет поглощения более мелких, общем увеличении ширины и глубины [3]. Переработка русла ведет к увеличению пропускной способности его. Наиболее существенные изменения происходят на нижнем участке от Порлытау до моря.

На участке Порлытау — Темирбай происходит значительное сужение и углубление русла. Наблюдается процесс довольно активного отмирания дельтовых рукавов Инженер-узeka и Аккая.

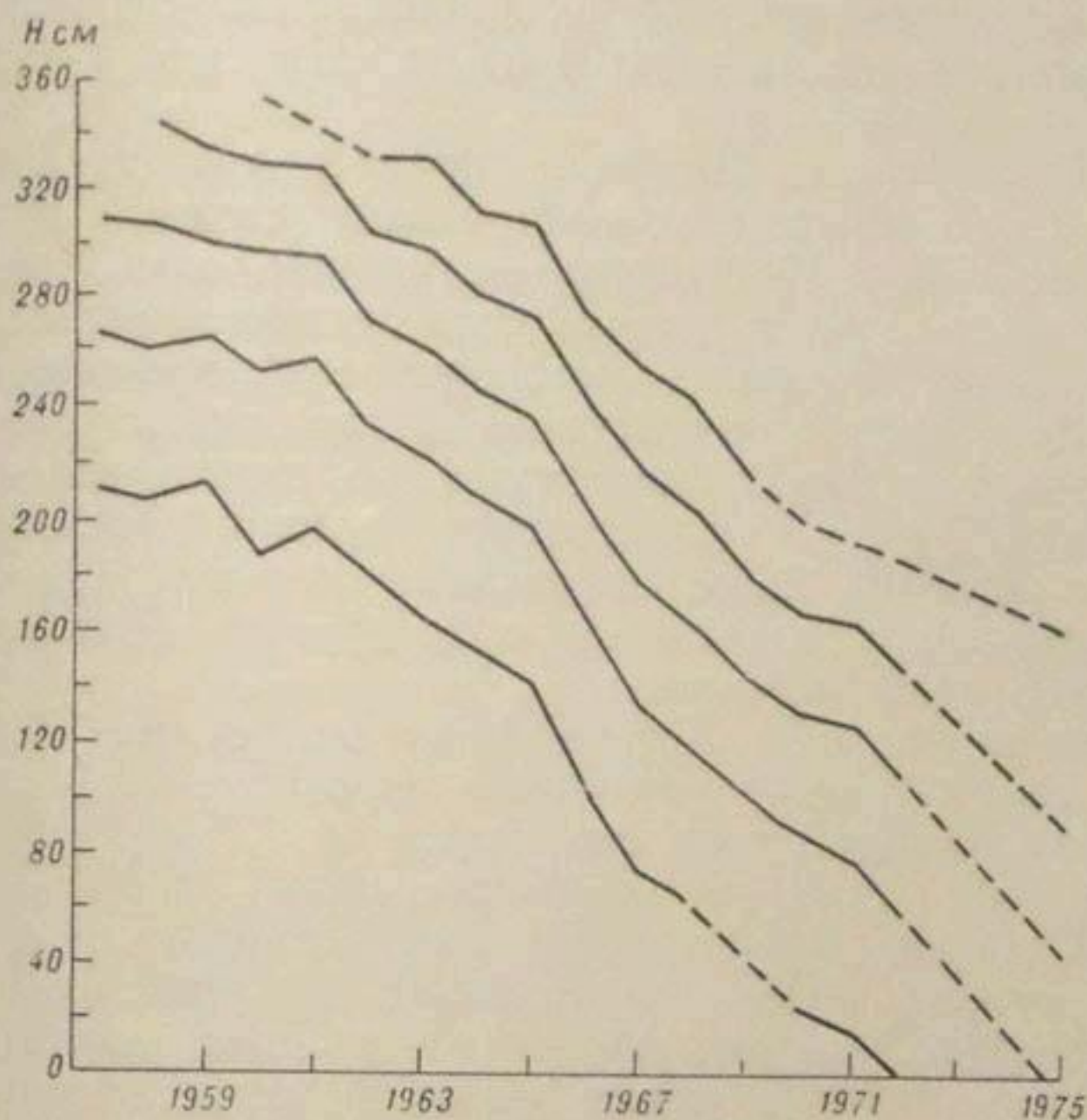


Рис. 2. График изменения уровней воды по водпосту Темирбай, соответствующих заданным расходам воды на этом же посту.

Снизу вверх кривым соответствуют следующие расходы воды: 500, 1000, 1500, 2000, 2500 м³/с.

Инженер-узек в 1965 г. был перекрыт в нижнем течении и направлен по более короткому искусственному руслу. Еще совсем недавно он использовался как удобная судоходная трасса, но в последние годы в связи с интенсивным его отмиранием ежегодно проводятся значительные землечерпательные работы в головной части по предупреждению полного его отмирания. Несмотря на эти меры рукав продолжает отмирать. Русло заиливается почти на всем протяжении, главным образом путем интенсивного роста побочных. Отмирание Инженер-узeka сопровождается значительным уменьшением скоростей потока, а следовательно, и выпадением как влекомых, так и взвешенных наносов в самом русле.



За период 1964—1972 гг. Инженер-узек удлинился на 5 км (около 0,7 км/год), при этом пассивное удлинение за счет падения уровня моря составило 1 км, а активное, за счет устьевоего удлинения, — 4 км.

Аккай, прежде основной рукав Амударьи [4], в последние годы также интенсивно отмирает, русло сильно заиливается, засоряется многочисленными осередками и отмелями. Осередки закрепляются не только травяной растительностью, но и кустарниками, что свидетельствует об их постоянстве. Особенно сильное заиление наблюдается на участке до разветвления рукава на Правый и Левый Аккай.

Левый Аккай также быстро отмирает и действует только при пике паводка. В нижнем течении левый устьевой рукав отмер, а правый устьевой с 1965 г. перехватил весь сток Левого Аккая. Правый Аккай в нижнем течении стал сильно извилистым, мелководным, разбивается на ряд мелких устьевых протоков, что является наиболее верным показателем отмирания в условиях Амударьи. Отмирание Аккая происходит не только вследствие снижения уровня моря, значительное влияние оказывает распределение расходов воды по рукавам дельты [1], когда один рукав (Урдабай) перехватывает сток другого (Аккая), который в результате этого отмирает.

Устьевое выдвижение Левого Аккая за период 1964—1972 гг. составило около 1 км, в том числе пассивное — 0,1 км и активное — 0,9 км. Правый Аккай удлинился на 3,5 км, из них пассивное удлинение составило около 0,3 км.

Рукав Урдабай развивался из бокового прорыва, русло которого было узким, с весьма ограниченной пропускной способностью. Во все последующие годы оно систематически разрабатывалось, особенно после 1964 г., когда Урдабай сосредоточивал преобладающую часть стока Амударьи. На участке от развилки Аккай — Урдабай и ниже происходит двусторонний размыв берегов и углубление русла, далее вниз по течению оно сужается по мере устьевоего удлинения и постепенно врезается. Русло слабоизвилистое, надводные фермы донного рельефа не прослеживаются, подводные на всем протяжении до устья сильно сглажены. Формы руслового процесса укрупненные с незначительным вертикальным пересечением.

За рассматриваемый период Урдабай активно формировал мощный конус выноса. За этот же период общее устьевое удлинение его составило 11 км (1 км/год), из них пассивное удлинение в результате снижения уровня Аральского моря на 2,3 м при очень крутом свале глубин составило всего 0,2—0,3 км (рис. 3), а остальное выдвижение происходило за счет отложения наносов Амударьи со скоростью 1 км/год. Общий объем вновь сформировавшегося конуса выноса, по приближенным расчетам, составляет около 50% стока наносов в низовьях Амударьи. Следовательно, другая половина объема наносов вынесена в глубь моря.



Наряду с интенсивным устьевым удлинением происходило врезание русла Урдабая на участке от развилки Аккай — Урдабай до бывшего устья Урдабая (бывшего гребня устьевого бара по состоянию на 1963 г.). Глубина врезания русла достигла 3—4 м, наибольшее врезание наблюдалось на участке устьевого бара начала 60-х годов от 3 до 11-го км (рис. 3). На рисунке приведен совмещенный продольный профиль промеров глубин, выполненных эхолотом по геометрической оси потока (начало промеров в 1 км выше развилки Аккай — Урдабай). Ниже по течению происходило аккумулятивное формирование русла.

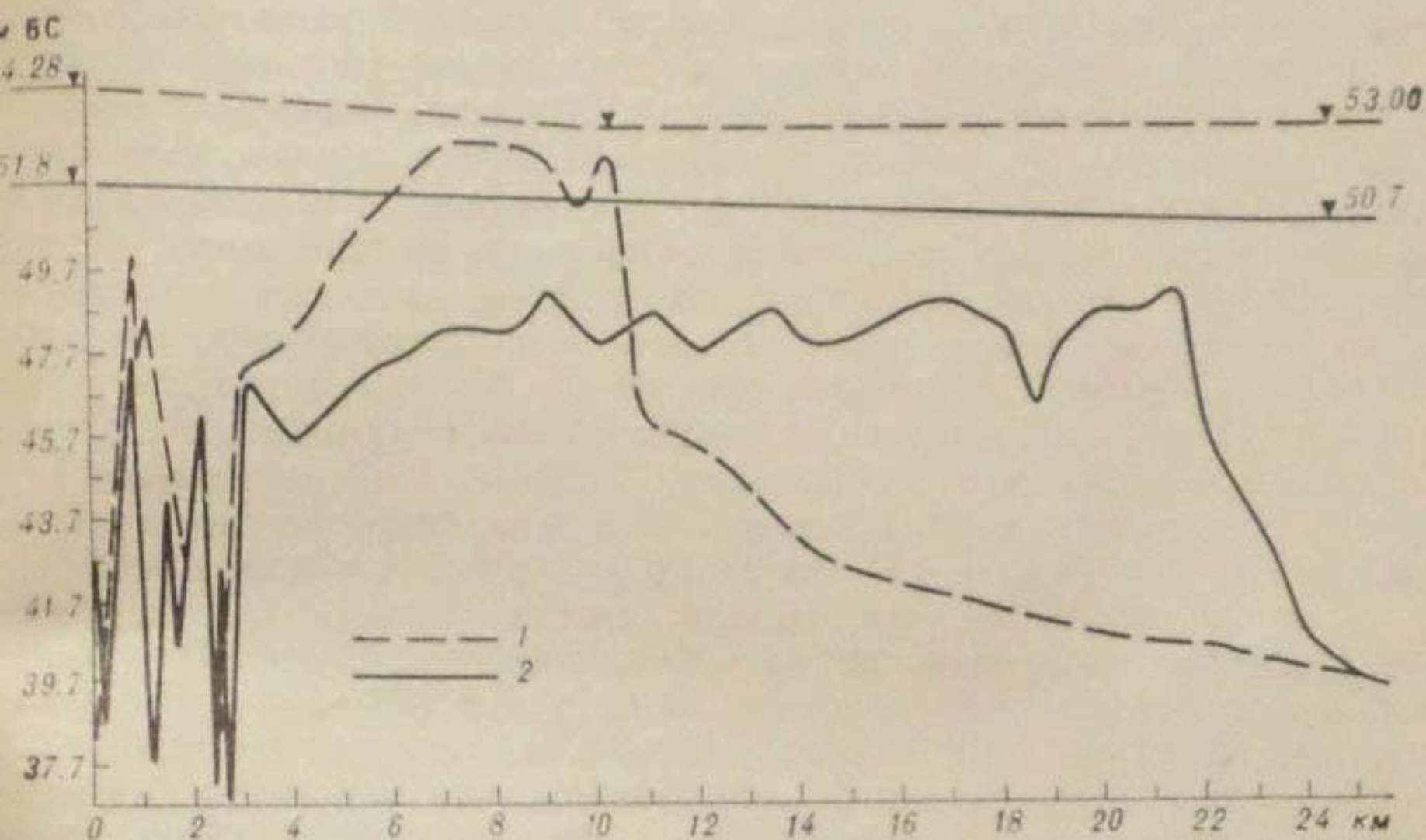


Рис. 3. Продольный профиль дельтового рукава Амударьи — Урдабая по фарватеру (1) и по геометрической оси русла (2).

53,0 и 50,7 м БС — отметки уровня моря в 1963 и 1972 гг. соответственно.

Отмирание Инженер-узeka и Аккай обусловлено не различием в продольных уклонах, а чисто русловыми процессами в узлах деления. В верхнем узле деления Инженер-узек — Аккай (бывший) вдоль левого берега развивается мощный побочень, прикрывающий вход в Инженер-узек. Устойчивое положение и активное развитие этого побочня обусловлено общим процессом развития русла на участке от Порлытау до истока Инженер-узeka и, в частности, развитием излучины у Темирбая.

Отмирание Аккай ниже развилки обусловлено главным образом переформированием излучин между двумя развилками (инженер-узекской и аккайской). Это переформирование вызвало значительное относительное увеличение стока донных наносов по Аккаю, явившихся причиной образования короткого побочня, блокирующего вход в Аккай.



**Изменение условий затопления дельты.** В результате значительного снижения уровня воды в русле Амударьи, обусловленного, с одной стороны, маловодностью, с другой — врезанием русла, в средней и нижней частях дельты нерусловой сток в дельте резко сократился. Практически в настоящее время не наблюдается перелива вод через берега. Период действия временных водотоков, через которые осуществлялся сток в дельтовые массивы разливов, резко сократился. Эпизодические мероприятия по перекрытию русла и обводнению дельты у Кызылджара и Байгужи имели кратковременный эффект. Вследствие значительного сокращения поступления вод в разливы и больших норм испарения и транспирации многие водоемы дельты начали высыхать.

В таблице приведены сведения о площадях дельты, которые обсохли за рассматриваемый период. Массивы разливов сократились почти на 15% за период 1964—1972 гг. и в настоящее время составляют всего 10% (956 км<sup>2</sup>) от общей площади. Резко уменьшились озерные массивы дельты, которые занимают около 4% площади дельты (367 км<sup>2</sup>). Достаточно отметить, что площадь такого крупного озера дельты, как Судочье, сократилась почти в 3,5 раза и составила 96 км<sup>2</sup> в 1972 г. против 330 км<sup>2</sup> в 1964 г. По правобережью Амударьи почти все озера пересохли. Произошло обсыхание прибрежной полосы за счет снижения уровня Аральского моря. Площадь полосы осушки составляет значительную величину — 426 км<sup>2</sup> (4,6% общей площади).

Многоводный 1969 год явился своего рода катализатором катастрофического сокращения обводняемых массивов нижнедельтового района. Переполнение междуречья Акдарьи — Кипчакдарьи в паводок 1969 г. вызвало образование многочисленных и глубоких прорывов дамб обвалования, что привело к почти полному спуску вод с междуречья в период низкого послепаводочного уровня. Избыточное поступление вод на Макпалкульские массивы вызвало образование глубоких промоин морского вала по краю дельты на этом участке, что также привело к спуску вод с массива.

Огромный массив разливов междуречья Амударьи — Улькундарьи был подпружен морским валом по побережью залива Аббас. При переполнении этого междуречья в половодье 1969 г. береговой вал был прорван. При низком уровне моря многие прорывы были врезаны на глубину ниже отметок дна самых глубоких отметок междуречья, что привело к полному обсыханию всего массива. Многочисленные озера междуречья и большие площади тростниковых зарослей высохли полностью. В последующие годы высохшие тростниковые массивы были выжжены.

Снижение уровня Аральского моря на 2,3 м за рассматриваемый период привело к резкому ухудшению гидрологических условий на взморье. Наиболее значительные неблагоприятные изменения для рыбного хозяйства претерпели мелководные слабозащищенные акватории устьевого взморья (южная часть зали-



# Гидрографическое районирование дельты Амударьи

| Район | Общая площадь, км² | Сохраняющиеся водоемы, км² | Пересохшие массивные разливов, км² | Пересохшие водоемы, км² | Вновь образованные участки дельты за счет аккумуляции наносов реки, км² | Вновь появившиеся массивные разливы (искусственно подтопленные), км² | Сохраняющиеся массивные разливы, км² | Общая площадь береговой Аральского моря (по линии осушения), км² | Существующие островные массивы (их площадь), км²                                                                                                                    |
|-------|--------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I     | 1990               | 18,7                       |                                    | 10,4                    |                                                                         |                                                                      | 127                                  |                                                                  | Сопнакуль (3,4); Дауткуль, Ковнакуль (11,8); Азтытоткуль (3,52)                                                                                                     |
| II    | 870                | 0,38                       | 1,8                                | 0,9                     |                                                                         |                                                                      | 8,0                                  |                                                                  | Макпалкуль (6,5); Шеге                                                                                                                                              |
| III   | 2080               | 25                         | 513                                | 30                      |                                                                         |                                                                      | 173                                  |                                                                  | (2,4); Закиркуль (3,68); Коксу (3,2)                                                                                                                                |
| IV    | 2710               | 119                        | 580                                | 203                     | 136                                                                     |                                                                      | 547                                  | 426                                                              | Хошакуль (4,16); Карандык (11,0); Кевсыр (0,95); Чагарлык I (3,60); Судочье (96); Узун-Ойдын (7,0); Чагарлык II (1,76); Тамарлы (1,9) Бакланы (2,21); Ильмень (9,2) |
| V     | 1680               | 17,2                       | 283                                | 18                      |                                                                         |                                                                      | 101                                  |                                                                  | Даульбай (4,1); Арык-Балык (1,2); Табанкуль (3,50); Шиминкуль (6,30)                                                                                                |
| Сумма | 9330               | 180                        | 1380                               | 262                     | 136                                                                     | 22                                                                   | 956                                  | 426                                                              | 187                                                                                                                                                                 |
| %     |                    | 1,9                        | 14,8                               | 2,8                     | 1,5                                                                     | 0,2                                                                  | 10,2                                 | 4,6                                                              | 2,0                                                                                                                                                                 |

за Аджибай, заливы Муйнакский и Джалтырбас). Площадь этих заливов значительно сократилась. Залив Джалтырбас не только сократился по площади, но и обмелел, стал непроходимым для мелких судов.

Менее существенные изменения произошли в центральном



районе устьевого взморья, однако этот район как база воспроизводства рыбных запасов не представляет большого интереса для народного хозяйства.

При осуществлении водохозяйственных мероприятий в бассейне Амударьи снижение уровня Аральского моря в ближайшие годы будет продолжаться, а сток в море уменьшаться и, по предварительным расчетам, к 1980 г. составит всего 9—10 км<sup>3</sup>/год.

В связи с уменьшением стока в ближайшие 7—10 лет объем наносов, выносимых Амударьей в устье, также резко сократится. Уменьшение стока воды и объема взвешенных наносов дают возможность предположить, что в ближайшие годы устьевые рукава Инженер-узек и Аккай полностью отомрут и весь сток сосредоточится в интенсивно развивающемся за последние годы Урдабае, который за 7 лет удлинится еще на 7—8 км.

Понижение базиса эрозии приведет к дальнейшему врезанию русла Амударьи на устьевом участке и снижению уровней воды на водпостах Кызылджар, Заир, Темирбай.

### ВЫВОДЫ

1. Получены обобщенные данные о характере изменения общего состояния гидрографической сети за период 1964—1972 гг., обусловленные общим уменьшением водности Амударьи в пределах дельты.

2. В целом наблюдается значительное сокращение площадей затопления дельты, а также сокращение площадей и уменьшение глубин в прибрежных районах устьевого взморья. Происходящие изменения в устьевой области отрицательно сказываются на хозяйственной деятельности этого экономического района.

3. Общее развитие русловой системы Амударьи характеризуется отмиранием мелких водотоков и сосредоточением стока по единому руслу, которое происходит на фоне четко выраженного понижения базиса эрозии (уровня Аральского моря). На среднедельтовом и нижнедельтовом участках четко выражена тенденция врезания русла (углубление).

4. Установлено, что несмотря на понижение уровня Аральского моря за рассматриваемый период на 2,3 м пассивное удлинение русловых водотоков очень мало в силу приглубости взморья. Активное устьевое удлинение за счет аккумуляции наносов составляет для отмирающих рукавов (Аккай, Инженер-узек) 0,1—0,3 км/год, а для активно развивающегося (Урдабай) 1,0 км/год. Такая интенсивность устьевого удлинения особенно активно развивающихся рукавов способствует перераспределению продольных уклонов между рукавами, что не может не сказаться на интенсивности и направленности руслового процесса как по отдельным рукавам, так и в узлах их деления.

5. Получены площади озерных массивов и массивов разливов, определена площадь полосы осушки побережья Аральского моря и другие характеристики по отдельным районам дельты.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В. И. Динамика потока и русла в неприливых устьях рек. М., Гидрометеониздат, 1971. 260 с.
2. Никитин А. М. Водные ресурсы и некоторые черты гидрометеорологического режима горных озер Средней Азии. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. геогр. наук. Ташкент, 1972. 21 с.
3. Попов И. В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л., Гидрометеониздат, 1969. 363 с.
4. Рогов М. М. Гидрология дельты Амударьи. Л., Гидрометеониздат, 1957. 254 с.
5. Рогов М. М., Ходкин С. С., Ревина С. К. Гидрология устьевой области Амударьи. М., Гидрометеониздат, 1968. 267 с.



НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОЗЕРАХ КИРГИЗИИ<sup>1</sup>

На территории Киргизии насчитывается 1923 озера с общей площадью зеркала 6836,2 км<sup>2</sup> (учитывались озера площадью более 0,005 км<sup>2</sup>). Озерность Киргизии составляет 3,4%, а в отдельных физико-географических районах изменяется от 29 (Иссык-

Количество озер (числитель) и суммарные площади их зеркала

| Площадь озера,<br>км <sup>2</sup> | Бассейны           |                   |                       |                      | Малые             |                   |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
|                                   | р. Чу              | р. Талас          | оз. Иссык-Куль        | р. Нарын             | р. Сары-джас      | р. Кок-шаал       |
| Меньше 0,11                       | $\frac{135}{3,23}$ | $\frac{84}{1,80}$ | $\frac{261}{7,09}$    | $\frac{335}{11,06}$  | $\frac{73}{1,88}$ | $\frac{69}{1,21}$ |
| 0,11—0,50                         | $\frac{6}{1,07}$   | $\frac{2}{0,48}$  | $\frac{14}{2,61}$     | $\frac{17}{5,75}$    | $\frac{3}{0,58}$  | $\frac{3}{0,51}$  |
| 0,51—1,00                         | —                  | $\frac{1}{0,54}$  | $\frac{4}{2,86}$      | $\frac{8}{6,59}$     | $\frac{1}{0,55}$  | —                 |
| 1,01—10,0                         | $\frac{1}{1,12}$   | —                 | —                     | $\frac{5}{12,20}$    | $\frac{2}{5,65}$  | $\frac{1}{4,50}$  |
| 10,1—50,0                         | —                  | —                 | —                     | —                    | —                 | —                 |
| 51—100                            | —                  | —                 | —                     | —                    | —                 | —                 |
| Более 100                         | —                  | —                 | $\frac{1}{6280}$      | $\frac{1}{278}$      | —                 | —                 |
| Всего                             | $\frac{142}{5,42}$ | $\frac{87}{2,82}$ | $\frac{280}{6292,56}$ | $\frac{366}{313,60}$ | $\frac{79}{8,66}$ | $\frac{73}{6,22}$ |

<sup>1</sup> В работе не рассматривается оз. Иссык-Куль, описание которого не может быть дано в краткой статье.



льская котловина) до 0,02% (Чуйская долина). Подавляющее большинство озер (90%) имеют площадь зеркала менее 0,1 км<sup>2</sup> только 0,7% (13 озер) — более 1 км<sup>2</sup> (табл. 1). Отмечается почти полное отсутствие озер в нижне- и среднегорной полосе значительное количество озер в высокогорной зоне (см. табл. 2 рисунок).

Наиболее крупные озера тектонического происхождения — Иссык-Куль, Сонкуль, Чатыркуль. Площадь самого малого из них — оз. Чатыркуль — 175 км<sup>2</sup>, что более чем в два раза превышает суммарную площадь остальных высокогорных озер. Основные морфометрические данные о наиболее крупных озерах Киргизии представлены в табл. 3.

Наибольшее распространение в Киргизии имеют гляциогенные озера, расположенные в основном на высотах от 2500 до 4000 м над уровнем моря. Это сравнительно небольшие по объему и площади зеркала озера с различными по своему устройству и надежности естественными плотинами. Моренные озера образовались в результате отступления ледника за валом конечной море-

Таблица 1

наменатель) по градациям крупности на территории Киргизии

| Озёра Центрального Тянь-Шаня |            |               |        | Горное обрамление Ферганской долины | Алайская долина | Всего      |      |
|------------------------------|------------|---------------|--------|-------------------------------------|-----------------|------------|------|
| р. Чон-узен-гикуш            | р. Кызылсу | оз. Чатыркуль | всего  |                                     |                 | количество | %    |
| 25                           | 1          | 78            | 246    | 169                                 | 592             | 1822       | 94,8 |
| 0,49                         | 0,04       | 0,72          | 4,34   | 4,17                                | 7,33            | 39,02      | 0,6  |
| 1                            | —          | 2             | 9      | 13                                  | 5               | 66         | 3,4  |
| 0,25                         | —          | 0,29          | 1,63   | 3,26                                | 0,69            | 15,49      | 0,2  |
| 1                            | —          | —             | 2      | 4                                   | —               | 19         | 1,0  |
| 0,56                         | —          | —             | 1,11   | 2,80                                | —               | 13,90      | 0,2  |
| —                            | —          | 1             | 4      | 3                                   | —               | 13         | 0,7  |
| —                            | —          | 2,52          | 12,67  | 8,79                                | —               | 34,78      | 0,6  |
| —                            | —          | —             | —      | —                                   | —               | —          | —    |
| —                            | —          | —             | —      | —                                   | —               | —          | —    |
| —                            | —          | 1             | 1      | —                                   | —               | 3          | 0,1  |
| —                            | —          | 175,0         | 175,0  | —                                   | —               | 6733       | 98,4 |
| 27                           | 1          | 82            | 262    | 189                                 | 597             | 1923       |      |
| 1,30                         | 0,04       | 178,53        | 194,75 | 19,02                               | 8,02            | 6836,19    |      |



ны или во впадинах морены; каровые озера — в результате выпихивания в прошлом движущимся ледником озерной чаши в коренных породах. В первом случае плотной озерной служат моренные отложения, во втором — коренные породы. Возможно объединение этих типов плотин: на основание, сложенное коренными породами, накладывается гряда конечной морены.

Глубина моренных и каровых озер обычно не превышает нескольких десятков метров, а объем воды в них — нескольких миллионов кубических метров. Профиль дна моренного озера напоминает блюдо с пологими бортами. Дно карового озера имеет бо-

Распределение количества озер (числитель) и их суммарных площадей

| Высота над уровнем моря, м             | Бассейны    |              |            |              |                           |                        |               |              | Малые бассейны на территории |            |
|----------------------------------------|-------------|--------------|------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------|--------------|------------------------------|------------|
|                                        | р. Чу       |              | р. Талас   |              | оз. Иссык-Куль            |                        | р. Нарын      |              | р. Сарыдажаз                 | р. Кокшаал |
|                                        | количество  | %            | количество | %            | количество                | %                      | количество    | %            |                              |            |
| 1                                      | 2           | 3            | 4          | 5            | 6                         | 7                      | 8             | 9            | 10                           | 11         |
| 500—1000                               | 17<br>1,02  | 12,0<br>18,8 |            |              |                           |                        |               |              |                              |            |
| 1001—1500                              | —           | —            |            |              |                           |                        | 5<br>0,13     | 1,4<br>0     |                              |            |
| 1501—2000                              | 2<br>0,16   | 1,4<br>2,9   |            |              | 61<br>6284,88<br>(4,88)   | 21,8<br>99,8<br>(38,8) | 22<br>7,45    | 6,0<br>2,4   |                              |            |
| 2001—2500                              | 8<br>0,33   | 5,6<br>6,1   | 1<br>0,04  | 1,2<br>1,4   | 5<br>0,25                 | 1,8<br>0(2,0)          | 13<br>1,6     | 3,5<br>0,5   |                              |            |
| 2501—3000                              | 20<br>2,08  | 14,1<br>38,4 | 3<br>0,04  | 3,4<br>1,4   | 10<br>0,37                | 3,6<br>0(3,0)          | 20<br>0,66    | 5,5<br>0,2   | 4<br>0,58                    |            |
| 3001—3500                              | 61<br>0,99  | 43<br>18,3   | 65<br>2,34 | 74,7<br>83,0 | 107<br>3,04               | 38,2<br>0,1(24)        | 105<br>281,2  | 28,7<br>89,7 | 31<br>5,32                   | 2<br>0,29  |
| 3501—4000                              | —34<br>0,84 | 23,9<br>15,5 | 18<br>0,40 | 20,7<br>14,2 | 97<br>4,02                | 34,6<br>0,1(32)        | 198<br>22,51  | 54,1<br>7,2  | 42<br>2,69                   | 71<br>5,93 |
| Более 4000                             |             |              |            |              |                           |                        | 3<br>0,06     | 0,8<br>0     | 2<br>0,07                    |            |
| Всего                                  | 142<br>5,42 |              | 87<br>2,82 |              | 280<br>6292,56<br>(12,56) |                        | 366<br>313,60 |              | 79<br>8,66                   | 73<br>6,22 |
| Площадь бассейна, тыс. км <sup>2</sup> | 27,3        |              | 8,3        |              | 21,9                      |                        | 57,7          |              |                              |            |
| Озерность, %                           | 0,02        |              | 0,03       |              | 28,8                      |                        | 0,54          |              |                              |            |



ее крутые борта, особенно у места спуска бывшего ледника, и пологий берег у плотины. В соответствии с этим максимальные глубины расположены в той части, где спускался ледник, в большинстве случаев на расстоянии  $\frac{2}{3}$  длины озера от плотины [6].

Изредка встречаются озера завального происхождения с характерными конусообразными поперечными профилями дна, максимальными глубинами в приплотинной части, крутыми и высокими прилегающими берегами. В большинстве случаев это сравнительно крупные и глубокие озера.

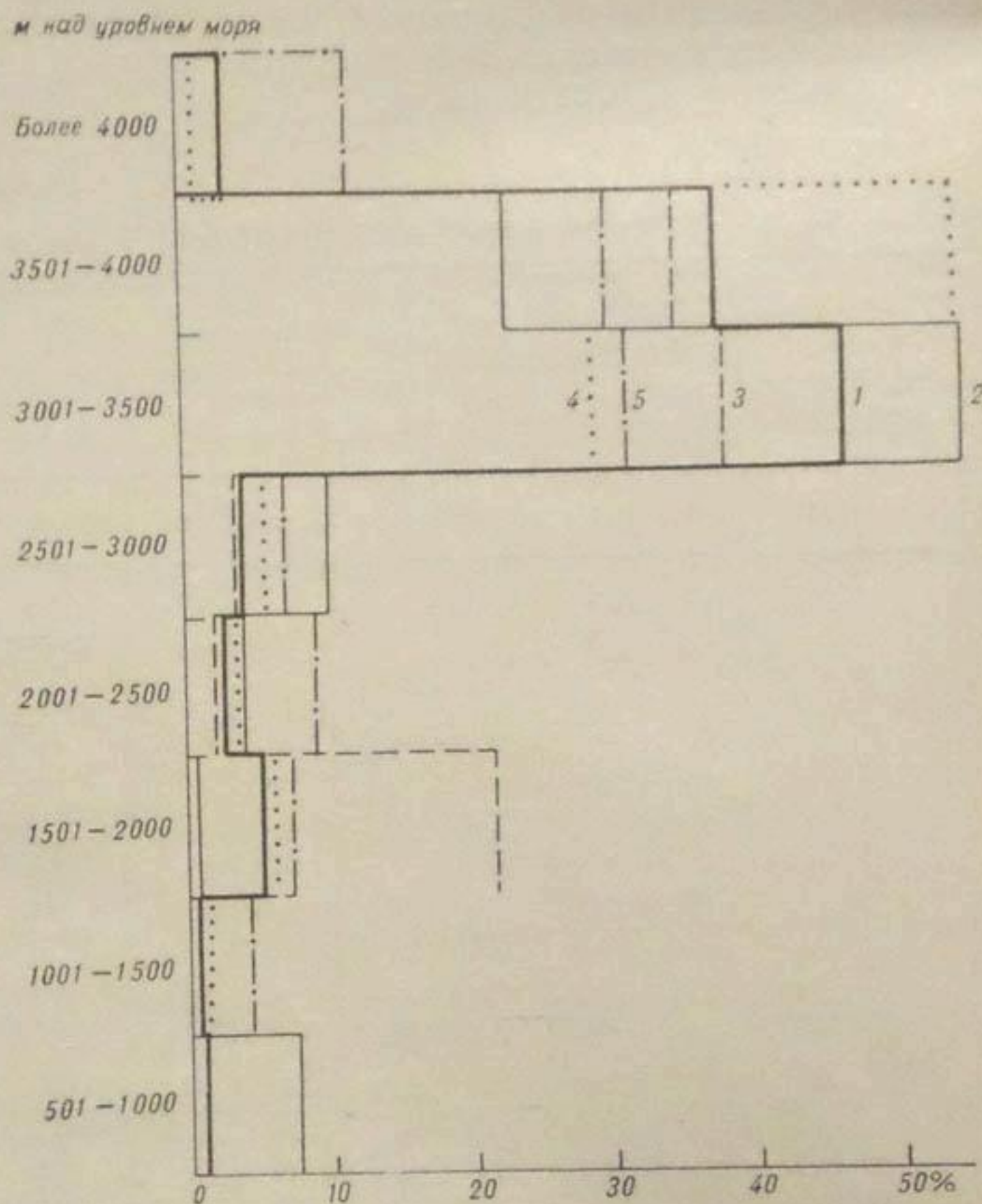
Таблица 2

(км<sup>2</sup>, знаменатель) по бассейнам и высотным зонам Киргизии

| Центрального<br>Киргизии |                 |                    | Тянь-Шань     | Всего по Цен-<br>тральному Тянь-<br>Шаню (сумма<br>граф 4-13) |              | Горное обрам-<br>ление Ферган-<br>ской долины |              | Алайская<br>долина |              | Всего           |      |
|--------------------------|-----------------|--------------------|---------------|---------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|--------------|-----------------|------|
| р. Тонусу-<br>зунгуш     | р. Кызыл-<br>су | оз. Чатыр-<br>куль |               | колич-<br>ество                                               | %            | колич-<br>ество                               | %            | колич-<br>ество    | %            | количест-<br>во | %    |
| 12                       | 13              | 14                 | 15            | 16                                                            | 17           | 18                                            | 19           | 20                 | 21           | 22              | 23   |
|                          |                 |                    |               |                                                               |              |                                               |              |                    |              | 17<br>1,02      | 0,9  |
|                          |                 |                    |               | 5<br>0,13                                                     | 0,8<br>0     | 8<br>0,17                                     | 4,2<br>0,9   |                    |              | 13<br>0,30      | 0,7  |
|                          |                 |                    |               | 22<br>7,45                                                    | 3,5<br>1,5   | 14<br>5,77                                    | 7,1<br>30,3  |                    |              | 99<br>6298,26   | 5,1  |
|                          |                 |                    |               | 13<br>1,6                                                     | 2,1<br>0,3   | 17<br>0,74                                    | 9,0<br>3,9   |                    |              | 44<br>2,96      | 2,3  |
|                          |                 |                    | 4<br>0,58     | 24<br>1,24                                                    | 3,8<br>0,2   | 13<br>7,49                                    | 6,9<br>39,4  | 3<br>0,15          | 0,5<br>1,9   | 73<br>11,37     | 3,8  |
| 1<br>56                  | 1<br>0,04       | 82<br>178,53       | 34<br>6,17    | 139<br>287,36                                                 | 22,1<br>56,7 | 59<br>1,81                                    | 31,2<br>9,5  | 467<br>5,78        | 78,2<br>72,0 | 898<br>301,32   | 46,7 |
| 26<br>74                 |                 |                    | 222<br>187,93 | 420<br>210,44                                                 | 66,9<br>41,3 | 56<br>2,28                                    | 29,7<br>12,0 | 98<br>1,20         | 16,4<br>15,0 | 723<br>219,18   | 37,6 |
|                          |                 |                    | 2<br>0,07     | 5<br>0,13                                                     | 0,8<br>0     | 22<br>0,76                                    | 11,6<br>4,0  | 29<br>0,89         | 4,9<br>11,1  | 56<br>1,78      | 2,9  |
| 27<br>30                 | 1<br>0,04       | 82<br>178,53       | 262<br>194,75 | 628<br>508,35                                                 |              | 189<br>19,02                                  |              | 597<br>8,02        |              | 1923<br>6836,19 |      |
|                          |                 |                    | 26,6          | 84,3                                                          |              | 47,9                                          |              | 9,9                |              | 199,6           |      |
|                          |                 |                    | 0,73          | 0,60                                                          |              | 0,04                                          |              | 0,08               |              | 3,4             |      |



Выше 3500 м над уровнем моря, помимо каровых и моренных озер, встречаются озера на поверхности ледников, из-за своих небольших размеров и скрытности не показанные на топографических картах. Эти озера привлекают внимание своими провалами, приводящими к образованию селей.



Распределение количества озер (%) по высотным зонам Киргизии в целом (1) и отдельно по бассейнам: рек Нарын (2), Чу и Талас (3), в Приферганском горном обрамлении (4), в Иссыккульской котловине (5).

Питание озер осуществляется в основном за счет таяния снегов и ледников. Сток из озер моренного типа происходит путем фильтрации воды через тело плотины. Иногда он усилен поверхностным переливом, действующим в период наибольшего наполнения. Сток из озер карового типа осуществляется поверхност-



ым переливом, действующим в летний период. Фильтрация по трещинам в коренных породах незначительна. Бессточных озер мало.

Заиленность озер зависит от транспортировки ручьями, выпадающими в озеро, материала разрушения горных пород. В некоторых озерах объем заиления значительно превышает существующий объем воды. Интенсивность выноса продуктов разрушения горных пород реками и содержание этого материала оказывает влияние на прозрачность и цвет воды в озерах, изменяя прозрачность от нескольких сантиметров до десятка метров и более, а цвет — от грязно-зеленого и серого в период паводков до бирюзового осенью.

Таблица 3

Основные морфометрические данные наиболее крупных озер Киргизии

| Название озера  | Бассейн        | Высота над уровнем моря, м | Длина, км | Максимальная ширина, км | Максимальная глубина, м | Площадь зеркала, км <sup>2</sup> | Объем, км <sup>3</sup> | Площадь водосбора, км <sup>2</sup> |
|-----------------|----------------|----------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Саманкуль       | р. Нарын       | 3016                       | 28,3      | 16,8                    | 15,1                    | 274,6                            | 2,819                  | 1120                               |
| Алабыркуль      | "              | 3530                       | 24        | 11                      | 4,6                     | 175                              |                        | 1000                               |
| Алабыччелек     | "              | 1874                       | 7,5       | 2,28                    | 324                     | 4,92                             | 0,483                  | 91,1                               |
| Алабасу (левое) | "              | 2000                       | 7,0       | 1,6                     | 150                     | 4,2                              | 0,223                  | 170,7                              |
| Алабун          | р. Карадарья   | 2861                       | 4,6       | 1,48                    | 91                      | 3,28                             | 0,118                  | 144                                |
| Алабукок        | р. Чу          | 3048                       | 3,0       | 0,69                    | 55                      | 1,6                              | 0,034                  | 66                                 |
| Алакеель        | оз. Иссык-Куль | 3532                       | 3,0       | 0,6                     | 73                      | 1,34                             | 0,043                  | 12,1                               |
| Алашташ         | р. Талас       | 2997                       | 1,2       | 0,6                     | 28                      | 0,51                             | 0,005                  | 39,2                               |
| Алабабахера     | р. Сарыджаз    | 3200                       | 4         |                         |                         | 4                                | 0,16                   |                                    |

Вода в озерах имеет слабую минерализацию (особенно в зоне выше 2500 м над уровнем моря). Количество растворенных солей в ней 50—90 мг/л, что соответствует питанию озер снеговыми и ледниковыми талыми водами. Несколько большая минерализация воды (до 170 мг/л) наблюдается в озерах, расположенных ниже. Воды во всех озерах мягкие и очень мягкие. Их жесткость составляет 0,4—1,8 мг/экв/л. Все они имеют хорошо выраженный гидрокарбонатный характер, большинство с преобладанием кальция. Исключением из ряда обследованных озер является оз. Саманкуль (бассейн р. Алабуга, Нарын) с минерализацией воды около 6,6 г/л. Вода в нем мягкая (2,40 мг-экв/л), имеет гидрокарбонатный характер, но с резко выраженным преобладанием ионов натрия. Это так называемое содовое озеро.



Вода в нем в основном является раствором карбонатов и бикарбонатов натрия с небольшой примесью хлоридов и прочих растворимых солей.

Озера бассейнов рек Чу и Талас. Физико-географические условия бассейнов рек Чу и Талас сходны. На севере оба бассейна выходят в пустыни, и реки теряются в песках. Со всех других сторон их ограничивают хребты Западного Тянь-Шаня. Образно бассейны можно представить в виде двух примыкающих друг к другу громадных треугольников, общей площадью около 100 тыс. км<sup>2</sup>, приподнятых на юго-востоке до высоты 4—5 тыс. м над уровнем моря.

На территории Киргизии бассейн р. Чу занимает площадь 27,3 тыс. км<sup>2</sup>, бассейн р. Талас — 8,25 тыс. км<sup>2</sup>. В бассейнах насчитывается 229 озер (142 и 87 соответственно) общей площадью 8,24 км<sup>2</sup> (5,42 и 2,82 км<sup>2</sup>). Озерность Чуйской долины составляет 0,02%, Таласской — 0,03% (в пределах Киргизии).

По орографическим и высотным признакам в долинах можно выделить три зоны. В зоне до 1000 м над уровнем моря в Чуйской долине находится всего 12% количества озер. Эти озера образовались на бывших старицах, в местах естественных понижений. В зоне 1000—2500 м озер почти нет. Существенный рост количества озер начинается с 2500 м и достигает максимума в зоне 3000—3500 м: в бассейне р. Чу 43%, в бассейне р. Талас 75%. В основном это мелкие озера гляциального происхождения. На северном склоне Киргизского хребта на высотах около 4000 м встречаются озера непосредственно на ледниках.

Наиболее крупное озеро в бассейне р. Чу — Кельукок, расположенное на высоте 3048 м над уровнем моря в верховьях р. Укок. Площадь его водосбора 66 км<sup>2</sup>. Озеро завальное, двойное. В меженный период оно разделяется перемычкой на две неравные части: малую (северо-западную) — оз. Арал с глубинами до 27 м и большую (юго-восточную) — собственно оз. Кельукок с глубинами до 52 м. В паводочный период перемычка частично затопляется и над водой в этом месте возвышается небольшая группа островов. В бассейне р. Талас на высоте 2997 м над уровнем моря расположено наиболее крупное озеро — Бешташ (см. табл. 3). Озеро богато рыбой, в оз. Кельукок рыбы нет.

Озера бассейна оз. Иссык-Куль. Бассейн оз. Иссык-Куль представляет собой громадную котловину, вытянутую в широтном направлении, на дне которой на высоте 1609 м над уровнем моря и расположено озеро. С севера котловина ограничена горным хребтом Кунгей-Алатау, с юга — хребтом Терскей-Алатау с высотами около 5000 м над уровнем моря. На востоке и западе горы несколько понижаются и хребты сходятся. Водосборная площадь озера 21 890 км<sup>2</sup>, из них на поверхность оз. Иссык-Куль приходится 6280 км<sup>2</sup>.

Кроме оз. Иссык-Куль, в бассейне насчитывается 279 небольших озер с общей площадью зеркала 12,56 км<sup>2</sup>. Озера находятся на высотах 3—4 тыс. м над уровнем моря и у побережья оз. Ис-



к-Куль. В зоне между этими высотами озер почти нет (см. табл. 1). Озерность бассейна 28,8%; 93% всех озер имеют площадь зеркала менее 0,11 км<sup>2</sup>.

В верхней зоне у самых вершин гор преобладают каровые озера с плоским дном, крутыми скалистыми берегами со множеством осыпей. Несколько меньше моренных озер, в отличие от каровых они встречаются на большем диапазоне высот.

Значительно реже встречаются озера тектонического происхождения, для которых характерны большие размеры. К этому типу относится самое большое озеро Иссык-Кульской котловины (исключая оз. Иссык-Куль) — Алакель, расположенное в верховьях р. Каракол на высоте 3532 м над уровнем моря. Узкое ущелье р. Каракол перекрыл высокий ригель, образовав озеро длиной 2,7 км (см. табл. 3).

Эпизодически повторяющиеся в жаркое время года сели свидетельствуют о наличии в верхней зоне хребтов озер в ледники.

В нижней зоне бассейна оз. Иссык-Куль расположены реликтовые озера. В некоторых случаях (как оз. Каракуль у Каджия), озера имеют подземные связи с оз. Иссык-Кулем, что приводит к выравниванию хода уровня и солености. В других случаях связь с Иссык-Кулем потеряна, концентрация солей увеличена [4].

Озера бассейна р. Нарын. К бассейну р. Нарын искусственно отнесены озера, расположенные в бессточном бассейне оз. Чатыркуль и в бассейне р. Тар (в пределах Киргизии).

На территории бассейна сложно сочетаются горные хребты Тянь-Шаня и глубокие впадины, ориентированные преимущественно в широтном направлении. Высоты здесь изменяются от 0 м над уровнем моря у выхода р. Нарын в Ферганскую долину до 7439 м на востоке, в горном узле Хан-Тенгри. Суммарная площадь бассейна более 83 тыс. км<sup>2</sup>, из них 37 тыс. км<sup>2</sup> (44%) расположено на высотах более 3000 м.

В бассейне насчитывается 628 озер с общей площадью зеркала 508 км<sup>2</sup>. Озерность 0,61% (отдельно по бассейну р. Нарын 4%). Большинство озер ледникового происхождения с пресной водой, но встречаются и соленые озера (оз. Саманкуль в бассейне р. Алабуга). Самые крупные озера — Сонкуль, Чатыркуль — тектонического происхождения. Озеро Сонкуль — громадное по площади (более 270 км<sup>2</sup>), но мелкое (см. табл. 3), питается водами многочисленных небольших речек, действующими в большинстве случаев в период интенсивного снеготаяния. Водосборный бассейн озера представляет собой обширную котловину, окруженную со всех сторон горными поднятиями. На юго-востоке тектоническое поднятие было пропилено водами озера. Река Кекерты, вытекающая из озера, действует в течение всего года. Сходы воды в ней летом составляют 3—5 м<sup>3</sup>/с. Максимальная амплитуда колебания уровня воды в озере не превышает 2 м. Котловина озера богата травами и является местом выпаса большо-



го количества крупного и мелкого рогатого скота. В последнее время в озере начали разводить рыбу. Температура воды в озере в августе повышается до  $16-17^{\circ}\text{C}$ . Зимой (с октября по май) озеро замерзает, причем мощность льда достигает 1 м.

На востоке описываемого бассейна (бассейн р. Сарыджас) на высоте 3200 м над уровнем моря расположено уникальное ледниково-подпрудное озеро Мерцбахера. Площадь его зеркала  $4\text{ км}^2$ , объем воды в нем  $0,16\text{ км}^3$ . При максимальном наполнении озера ледяная плотина, подпруживающая озеро, всплывает и дает выход водам озера в долину р. Иныльчек [2]. Сброс воды чаще всего наблюдается в сентябре — августе. Иногда за год происходит два сброса.

Озера горного обрамления Ферганской долины. Горное обрамление, охватывая как бы клешнями Ферганскую котловину, возвышается над ее дном на 3—4 км. Вершины Туркестанского, Алайского, Ферганского, Чаткальского хребтов покрыты пятнами ледников и снежников. Склоны их изрезаны многочисленными водотоками. На склонах Приферганского горного обрамления расположено 189 озер с общей площадью зеркала  $19\text{ км}^2$ . Озерность района  $0,04\%$ . В зоне до 3000 м над уровнем моря находится 52 озера ( $28\%$ ), в зоне выше 3000 м — 137 озер ( $72\%$ ). В основном это небольшие озера гляциального происхождения.

Обращает внимание большое по сравнению с другими районами количество озер завального типа — Сарычелек, Карасу (правое), Капкаташ, Карасу (левое), Айкуль, Кугала, Кулуны. Наиболее крупное озеро — Сарычелек расположено в бассейне р. Нарын (Карасу правая) и в то же время в горном обрамлении Ферганской долины. Морфометрические данные озера представлены в табл. 3. Вода в поверхностных слоях озера мягкая, преобладают соли карбонатной и сульфатной групп. С глубиной сухой остаток в воде увеличивается и начиная с 40 м вода имеет среднюю жесткость ( $280\text{ мг/л}$ ).

Водный режим озера интересен, во-первых, в том отношении, что в озеро, по наблюдениям Д. Н. Кашкарова [5], Ю. Н. Иванова, О. П. Щегловой [3], А. Х. Туляганова [7], впадает воды меньше, чем вытекает. Во-вторых, на больших глубинах наблюдается небольшое повышение температуры воды [3]. В озере много рыбы.

Южнее, по соседству, с Ферганской котловиной, на ее горном обрамлении расположена высокогорная Алайская долина, богатая пастбищами. На ее территории (около  $10\text{ тыс. км}^2$ ) находится 597 озер. В основном это небольшие и мелкие ледниковые озера, напоминающие озера в верховьях Нарына.

### Гидрометеорологическая изученность озер

Наблюдения за режимом высокогорных озер велись только экспедиционно. На оз. Бешташ (бассейн р. Талас) с августа 1950 г. по июнь 1951 г. работала экспедиция Киргизгипроводхо-



за, на оз. Сарычелек с июня 1964 г. по август 1965 г. — экспедиция Саогидропроекта. Это единственные озера Киргизии, где наблюдения велись целый год, хотя и здесь зимний режим освещен результатами единичных посещений. На озерах завального типа Карасу и Капкаташ в летнее время 1964 г. работала экспедиция Саогидропроекта, в 1967, 1969 гг. — экспедиция Управления гидрометслужбы Киргизской ССР. Много озер посещалось кратко- временно, в летнее время, с целью их рекогносцировочного обследования. За 1—2 дня нельзя дать исчерпывающую характеристику режима того или иного озера. Однако сравнивая состояние озер в разных физико-географических условиях и материалы стационарных наблюдений за различные периоды, можно составить общее, весьма приближенное представление о гидрометеорологическом режиме горных озер.

**Уровень воды.** Минимальный уровень обычно отмечается в феврале—марте. В периоды интенсивных весенних потеплений уровень быстро растет и достигает первого своего максимума за счет таяния сезонного снега. Весенний подъем тем больше, чем больше водосборная площадь. У каровых озер он небольшой. У многих озер моренного, завального типов этот кратковременный подъем превышает второй — в июле — августе, вызванный таянием снежников и ледников. Однако среднемесячный ход уровня обычно не имеет двойного максимума, а наблюдается плавный его подъем к июлю — августу, после чего отмечается такой же плавный спад. В зависимости от соотношения водосборной площади и площади зеркала озера интенсивности снеготаяния и осадков, интенсивность прироста уровня может достигать 1—2 м в сутки (оз. Мерцбахера).

Годовая и многолетняя амплитуда уровня озер изменяется от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров. Естественно, что уровень озер с постоянным поверхностным стоком почти не меняется независимо от происхождения и величины водосборной площади.

Уровень каровых озер, имеющих небольшие площади водосбора, меняется в пределах нескольких десятков сантиметров. У моренных озер площади водосбора несколько больше, поверхностный сток наблюдается не всегда и при ограниченной фильтрации амплитуда уровня увеличивается до нескольких метров.

Самая большая амплитуда уровня у озер завального типа (при отсутствии поверхностного стока). Этому способствуют их большие водосборные площади и фильтрация воды сквозь тело плотины. Например, амплитуда уровня оз. Карасу достигает 30 м.

Сток воды через плотины, представленные моренами или завалами горных пород, обрушенными с бортов долины, затруднен и зависит от уровня воды в озере. Чем выше уровень воды в озере, тем больше напор ее на плотину и тем больше (в большинстве случаев) расход фильтрующейся воды, так как устойчивые



максимальные уровни в высокогорных озерах отмечаются во второй половине лета, максимальный сток из озер приурочен к этому же времени. До этого происходит наполнение озерной чаши водой. В 1969 г. в связи с многоводностью и угрозой прорыва плотин были организованы наблюдения за водным режимом некоторых озер. Так, в озере Карасу (левое) за июнь 1969 г. объем водосливной призмы увеличился на 50 млн. м<sup>3</sup>, в оз. Большой Кулун (бассейн р. Тар) за 20 дней июня водосливная призма увеличилась на 10 млн. м<sup>3</sup>. В небольшом озере Кольтор (бассейн р. Кегеты) за период с 20 мая по 30 июня объем водосливной призмы увеличился более чем на 1 млн. м<sup>3</sup>.

По отметкам воды, оставленным на берегах озер, можно приблизительно определить верхние пределы их наполнения. По сообщению В. Н. Рейзвиха, максимальная амплитуда уровня оз. Сонкуль не превышает 2 м. Если уровень изменится всего на 1 м, сезонный запас воды в оз. Сонкуль будет составлять 275 млн. м<sup>3</sup>.

Уровень оз. Кольтор с весны до июля обычно повышается на 10—11 м, т. е. создается запас воды в 1,5—2 млн. м<sup>3</sup>. У оз. Кольук, расположенного выше пос. Кочкорка, при общем объеме воды озера в 33 млн. м<sup>3</sup> сезонный запас воды к июлю составляет 15—20 млн. м<sup>3</sup>.

Выше перечислены сравнительно крупные озера, на которых проводились стационарные наблюдения или которые посещались в летний период. Если учесть, что озер в зоне выше 3000 м над уровнем моря 87% (от их общего количества) и они регулируют сток, по весьма приближенным подсчетам, с территории более 5 тыс. км<sup>2</sup>, роль их в формировании режима рек Киргизии станет очевидной.

В большинстве случаев вода, освобождаемая озерами во вторую половину лета и осенью, не участвует в поливах сельскохозяйственных культур и сток ее проходит по рекам транзитом. Для того чтобы в июне — июле в озерах не создавалось ненужных запасов воды, желательно понизить уровень естественных плотин до среднего уровня в мае с тем, чтобы последующий сток (VI—VII) не задерживался. Однако строительство плотин с водозаборными устройствами на малых озерах в настоящее время — дело сложное и дорогостоящее. Вероятно, нужно искать более простые способы временного или постоянного изъятия воды из озер. В некоторых местах, например в верховьях р. Чоктал (бассейн оз. Иссык-Куль), колхозники по личной инициативе сделали отводные арыки от рек, питающих группу озер урочища Кольтор. В результате вода, не заходя в озера, пошла на пастбища. В некоторых случаях возможно использование сифонов.

Небольшой запас воды одного-двух озер в масштабах республики не имеет значения, но для отдельных колхозов и совхозов, в зоне которых находятся озера, дополнительная вода, особенно в засушливые годы, могла бы принести большую пользу. Например, в соответствии с нормами водопотребления, озеро с объемом



водосливной призмы 200 тыс. м<sup>3</sup> может обеспечить в условиях [1] высокогорья ежегодный полив 200 га трав и повысить в 4—5 раз их урожайность.

**Температурный режим.** Температурный режим малых горных озер совершенно не изучен. Отдельные измерения, проводимые во время кратковременных обследований, показывают, что в самые жаркие дни температура поверхности воды озер на высоте 2500—3000 м не превышает 15—17°C.

По температурному режиму в глубоких и больших озерах различают три слоя: поверхностный — эпилимнион (до 3—5 м), где перемешивание воды ветровым волнением создает постоянство температуры; средний слой — металимнион (5—20 м); в котором наблюдаются резкие изменения температуры, и глубинный — гиполимнион, где сохраняется постоянство температуры воды, близкой к температуре, соответствующей наибольшей плотности (4°C). В разные сезоны толщина этих слоев, так же как и контрасты температур в них, меняются.

Зимой под ледяным покровом в поверхностном слое воды температура составляет около 0,2—0,5°C. Практически эта температура удерживается до полного исчезновения льда. С глубиной она постепенно увеличивается до 4,7—4,9°C. После таяния льда поверхностный слой начинает нагреваться, а течения и ветровые волнения, интенсивность которых зависит от размеров водоемов и скорости ветра, способствуют распространению тепла в глубину. Весной, в конце апреля — начале мая (в период нагревания), и осенью, в октябре — ноябре (период охлаждения), наблюдается изотермия по всей глубине озера.

В течение суток температура самого верхнего слоя претерпевает такие же изменения, как и температура всей толщи воды озера в различные сезоны года. Амплитуда суточного хода температуры, по наблюдениям на оз. Сарычелек, в июле на поверхности воды достигает 4—5°C, на глубине 0,4 м 2—3°C, на глубине 1 м 1—2°C.

Температура воды озер, расположенных в нижней зоне, на террасах Прииссыккуля, в низовьях рек Чу и Талас, значительно выше. Этому способствуют сравнительно высокие температуры окружающего воздуха и воды впадающих рек, большая суммарная радиация и нагрев воды ложем озера.

**Ледовый режим.** Ледовый режим озер зависит от высоты расположения и объема водоемов. Озера, находящиеся на высоте около 4 тыс. м над уровнем моря, обычно замерзают в сентябре — октябре, счищаются ото льда в июне — июле.

Озера в зоне 2—3 тыс. м (Карасу — 2000 м, Бешташ — 2997 м) замерзают в октябре — ноябре, очищаются ото льда в апреле — мае. Мощность льда во всех зонах по отдельным измерениям достигает 70—100 см. Озера, расположенные в зоне Прииссыккуля ( реликтовые), почти никогда не замерзают, чему способствует высокая положительная температура воздуха зимой и большая минерализация воды.



1. Озера Киргизии, являясь естественными регуляторами стока, как водохранилища не используются. Это объясняется небольшими размерами озер по сравнению с объемом воды, выносимой реками, и трудностью проведения земляных работ в условиях высокогорья и бездорожья.

2. Воды почти всех озер, расположенных в высокогорной зоне, обладают малой минерализацией, пригодны для пищевых и производственных целей.

3. В подавляющем большинстве случаев в озерах высокогорной зоны в мае — августе происходит накопление воды, которая сбрасывается в последующие осенние месяцы и не используется на орошение. В некоторых случаях, в масштабах отдельных хозяйств, возможно имеет смысл освобождать воды для полива сельскохозяйственных культур или высокогорных пастбищ. Целесообразность и техника сброса воды должны решаться в каждом отдельном случае самостоятельно.

4. По составу воды, гидротермическому режиму, наличию корма в большинстве озер, особенно крупных, возможно разведение холодолюбивых пород рыб.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакало В. Я. Показатели водообеспеченности и режима орошения трав в высокогорьях Киргизии. Фрунзе, 1966. 178 с.
2. Баков Е. К., Айрапетьянц С. Э. Пленное озеро. — «Природа», 1969, № 5, с. 84—87.
3. Иванов Ю. Н., Щеглова О. П. Озеро Сары-Челек. — «Тр. Сарычелекского гос. заповедника», 1966, вып. 2, с. 20—44.
4. Кадыров В. К., Зиновьев А. А., Данилина Н. Г. Изменение минерального состава воды озер Иссык-Куль и Кара-Куль в результате изотермического испарения. — Вопросы водного хозяйства», 1966, вып. 3, ч. 1, с. 16—24.
5. Кашкаров Д. Н. Результаты экспедиции Главного Среднеазиатского музея в районе оз. Сары-Челек. Ташкент, 1927. 126 с.
6. Цыцарин Г. В. Кресловидные озера. — Вопросы географии», 1957, № 26, с. 118—129.
7. Щеглова О. П., Туляганов А. Х. Некоторые данные по гидрологическому режиму озера Сарычелек. — «Изв. Всесоюз. геогр. об-ва», 1971, т. 103, вып. 5, с. 418—424.



## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| В. А. Николаенко. Сравнительная характеристика химического состава воды некоторых водохранилищ Узбекистана . . . . .  | 3  |
| В. А. Николаенко. Содержание биогенных элементов и органического вещества в водах Чарвакского водохранилища . . . . . | 17 |
| Е. М. Видинеева. Элементы гидрохимического режима Каттакургавского водохранилища . . . . .                            | 30 |
| Е. М. Видинеева. Солевой баланс Куюмазарского водохранилища . . . . .                                                 | 38 |
| А. М. Никитин, В. А. Николаенко. Водно-солевой баланс Чарвакского водохранилища . . . . .                             | 44 |
| А. Х. Капкаев. Участие продуктов обрушения берегов в седиментационном балансе Кайраккумского водохранилища . . . . .  | 58 |
| А. М. Никитин. К вопросу о термическом и ледовом режиме горных озер Средней Азии . . . . .                            | 65 |
| А. М. Никитин. О современном состоянии бессточных озер Восточного Памира . . . . .                                    | 76 |
| В. А. Бондарь. Современное состояние устьевой области и дельтовых озер р. Амударьи . . . . .                          | 87 |
| Н. Жуков, Я. С. Стависский. Некоторые сведения об озерах Киргизии . . . . .                                           | 96 |

### Труды САРНИГМИ, вып. 2(83)

#### ОЗЕРА И ВОДОХРАНИЛИЩА СРЕДНЕЙ АЗИИ

Редактор Т. С. Шмидт. Техн. редактор М. И. Брайнина.

Корректор Г. С. Макарова

Сдано в набор 27 V 1974 г. Подписано к печати 3 VII 1975 г. М-17259. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>, бум. тип. № 2. Печ. л. 7. Уч.-изд. л. 7,63. Тираж 650 экз. Индекс ГЛ-165. Заказ № 191. Цена 51 коп.

Гидрометеиздат. 199053, Ленинград, 2-я линия, д. 23.

Сортавальская книжная типография Управления по делам издательств, полиграфии и книжной торговли Совета Министров Карельской АССР. Сортавала, Карельская, 42.



**Сравнительная характеристика химического состава воды некоторых водохранилищ Узбекистана.** Николаенко В. А. Тр. САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 3—16.

Приводятся результаты натурных гидрохимических исследований на восьми водохранилищах Узбекистана: Джизакском, Каттакурганском, Куюмазарском, Тудакульском, Пачкамарском, Чимкурганском, Южносурханском и Учкызылском в период май — август 1969—1970 гг. Дается содержание главных ионов, биогенных элементов, газов по акватории и глубине водохранилищ. Приводятся сравнительные данные качества воды водохранилищ, на основании которых определяется возможность ее использования для различных целей народного хозяйства.

Табл. 8. Библ. 7.

**Содержание биогенных элементов и органического вещества в водах Чарвакского водохранилища.** Николаенко В. А. Тр. САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 17—29.

Приводится режим биогенных элементов (соединений азота, фосфора, кремния, железа) и органического вещества в Чарвакском водохранилище, реках Пскем, Коксу и Чаткал и других водотоках, впадающих в водохранилище, за период 1970—1971 гг. Отмечается влияние затопленных почво-грунтов, растительных и животных организмов, попавших в зону затопления, а также эрозии берегов на содержание биогенных элементов и органического вещества в водохранилище. Приводятся данные вертикальной стратификации в содержании биогенных элементов и органического вещества.

Табл. 2. Илл. 4. Библ. 8.

**Элементы гидрохимического режима Каттакурганского водохранилища** В. И. Динеева Е. М. Тр. САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), 30—37.

Приводятся данные об общей минерализации и относительном химическом составе воды Каттакурганского водохранилища, наполняющегося водой р. Зарафшан. Рассмотрено изменение этих элементов внутри года и в отдельные годы в зависимости от их водоносности. В маловодные и многоводные годы хронографы минерализации сходны со средним многолетним, но величина общей минерализации в маловодном году значительно выше, чем в многоводном.

Относительный состав воды р. Зарафшан и подводящего канала Каттакурганского водохранилища остается постоянным внутри года — вода в них гидрокарбонатно-кальциевая второго типа. В Каттакурганском водохранилище относительный состав воды меняется внутри года: в период низкого стояния уровней воды (август — октябрь) под влиянием подземного притока вода становится сульфатной. В остальные месяцы года она, как и вода р. Зарафшан, является гидрокарбонатной.

Табл. 2. Илл. 1. Библ. 5.



**Солевой баланс Куюмазарского водохранилища.** Видинеева Е. М. Тр. САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83) с. 38—43.

На основании результатов гидрохимических наблюдений в 1965—1970 гг. составлен солевой баланс Куюмазарского водохранилища по годам и ежемесячно. Солевой баланс за все годы оказался положительным, что указывает на аккумуляцию солей в водохранилище. Это подтверждается более высокой минерализацией притоков по сравнению с оттоком.

Табл. 2. Илл. 1. Библ. 9.

УДК 556.552+556.555.7

**Водно-солевой баланс Чарвакского водохранилища.** Никитин А. М., Николаенко В. А. Тр. САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 44—57.

Развитие орошаемого земледелия и комплексное направление в использовании водных ресурсов Средней Азии поставило ряд задач в области гидрометеорологического обоснования рационального использования водных ресурсов водохранилищ Средней Азии. В этой связи составлен водно-солевой баланс строящегося горного Чарвакского водохранилища, осуществляющего комплексное сезонное регулирование стока бассейна р. Чирчик.

На основании трехгодичных (1970—1972) натурных наблюдений в период заполнения водохранилища дается анализ компонентов водно-солевого баланса. Выявлены невязки баланса и даны рекомендации по учету стока в целях его дальнейшего рационального внутригодового перераспределения.

Табл. 2. Илл. 5. Библ. 12.

УДК 556.555.6

**Участие продуктов обрушения берегов в седиментационном балансе Кайраккумского водохранилища.** Капкаев А. Х. Тр. САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 58—64.

Рассматриваются вопросы участия отдельных компонентов в балансе твердого стока Кайраккумского водохранилища. По материалам наблюдений автора в 1957—1970 гг. впервые вводится в уравнение баланса такой компонент, как продукты обрушения берегов водохранилища. Рассмотрены характеристики изменения ложа водохранилища и площади зеркала.

Табл. 5. Библ. 2.



**К вопросу о термическом и ледовом режиме горных озер Средней Азии.** Никитин А. М. Тр. САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 65—75.

По материалам стационарных наблюдений и экспедиционных исследований рассмотрены основные закономерности термического и ледового режима горных озер Средней Азии.

Табл. 2. Илл. 4. Библ. 6.

УДК 556.55

**О современном состоянии бессточных озер Восточного Памира.** Никитин А. М. Тр. САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 76—86.

Рассматриваются вопросы колебания уровня воды озер областей внутреннего стока Восточного Памира. При исследовании в 1970 г. на озерах Ранкуль, Шоркуль, Сасыккульской группе озер было отмечено значительное падение уровня воды. Анализ материалов обследования озер в 50 и 60-х годах и современного их состояния позволяет утверждать, что в последнее десятилетие наблюдается современная, наиболее выраженная регрессия, характерная для бессточных озер, являющихся индикаторами общей увлажненности Средней Азии.

Табл. 2. Илл. 2. Библ. 2.

УДК 556.54

**Современное состояние устьевой области и дельтовых озер р. Амударьи.** Бондрь В. А. Тр. САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 87—95.

Рассматриваются изменения гидрографической сети дельты Амударьи, которые произошли за период 1964—1972 гг.; анализируются причины, вызвавшие их. Освещен вопрос устьевого удлинения дельтовых рукавов, как пассивного, так и активного (за счет аккумуляции наносов). Подсчитаны площади озерных массивов и массивов разливов, определена площадь полосы осушки побережья Аральского моря, уточнены существующие озера и высохшие. На основании анализа материалов сделано предположение об изменениях стока Амударьи и ее гидрографической сети на 1980 г.

Табл. 1. Илл. 3. Библ. 5.

УДК 556.55

**Некоторые сведения об озерах Киргизии.** Жуков Н. Н., Ставиский Я. С. Тр. САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 96—108.

На основании выполненных авторами работ по обобщению гидрографических материалов установлено, что на территории Киргизии насчитывается 1923 озера общей площадью 6836 км<sup>2</sup>. Приведены данные о распределении озер по высотным зонам и по градации площадей. Рассмотрены вопросы гидрометеорологического режима озер и даны рекомендации использования их в народном хозяйстве республики.

Табл. 3. Илл. 1. Библ. 7.