

УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ И ОСНОВЫ ВОДОУСТРОЙСТВА КАСПИЙСКОГО МОРЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СОХРАНЕНИЕ ЕГО БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Краткая история вопроса

Предложения по предотвращению падения уровня Каспийского моря начали разрабатываться еще до его падения, начавшегося в начале 30-х годов (Николаева, 1959).

Все предложения, за исключением проекта Б. А. Аполлова, можно объединить в две группы: 1) предусматривающие переброску воды из других бассейнов и 2) предусматривающие отчленение мелководий Каспийского моря с целью уменьшения безвозвратных потерь воды.

Большинство предложений по переброске стока из других бассейнов, которые разрабатывались еще в 30-е годы, в настоящее время утратило свое значение, поскольку уже сейчас в этих бассейнах наблюдается большой дефицит пресной воды (переброска из Азовского моря с забором воды или из Дона или из Таганрогского залива и переброска воды из Амударьи с забором в районе г. Тахиташ).

Мы остановимся только на тех проектах и схемах, которые представляют интерес в современных условиях.

А. Предложения по переброске вод из смежных бассейнов.

1. Переброска части стока р. Печеры через Каму в бассейн р. Волги (проект Саруханова, 1963 г.). Не исключена возможность питания Каспийского моря также за счет озер Кубенского, Лаче, Воже и р. Сухоны через Рыбинское водохранилище.

2. Переброска стока сибирских рек в бассейны Каспийского и Аральского морей (проект Давыдова, 1949).

В отношении технической схемы осуществления переброски стока сибирских рек имеется много самых различных предложений. Однако почти все они не подкреплены соответствующими изысканиями.

Подача воды намечается в бассейны Сырдарьи и Амударьи.

Б. Предложения, предусматривающие отчленение заливов и мелководий для уменьшения испарения.

1. Зарегулирование оттока воды, поступающей в залив Кара-Богаз-Гол. Идея и ее разработка принадлежат П. П. Пушкарскому (1934).

Предусмотрено осуществить регулирование стока, поступающего из Каспийского моря в залив Кара-Богаз-Гол, которое позволит сократить 5—8 км³ воды в год. Представляет интерес возможность временного полного отчленения залива Кара-Богаз-Гол до создания регулирующего устройства.

2. Отчленение заливов Комсомолец и Кайдак.

Проект отчленения этих заливов был разработан в 1933—1934 гг. В. С. Михайловским (1934) в связи с возможностью падения уровня Каспия в результате развития пригации степей Заволжья.

Гидрологические, гидрохимические и биологические наблюдения, выполненные в 1934 г. экспедицией АН СССР, полностью подтвердили целесообразность выдвинутого проекта. Однако в результате существовавшего в то время мнения о кратковременности падения уровня Каспия проект не получил одобрения.

3. Отчленение восточной части Северного Каспия (предложение Е. М. Копайгородского, 1967). Автор проекта рассматривает восточную часть Северного Каспия как огромный испаритель, который бесполезно расходует огромные массы воды. С целью уменьшения расходов воды на

испарение он предлагает отделить всю восточную часть Северного Каспия дамбой, по линии с. Ганюшкино — о-в Морской и далее на п-ов Бузачи (длина дамбы 202,6 км). Площадь отчленения около 50 тыс. км². Сооружение такой дамбы ликвидирует более половины Северного Каспия и находится в полном противоречии с интересами рыбного хозяйства.

4. Отчленение мелководий восточной части Северного Каспия (предложение института «Гидрорыбпроект»).

В 1970 г. институтами Гидрорыбпроект, водных проблем АН СССР, ГОИНОм и Уральским отделением ЦНИОРХ'а было проведено обследование восточной части Северного Каспия с целью определения возможности отчленения мелководной зоны.

Направление трассы дамбы исключает отчленение мелководий, прилегающих к району устья Эмбы, отличающихся относительно высокой продуктивностью и имеющих важное значение в жизни водоплавающих птиц, в частности большого стада белых лебедей, у которых происходит там линька.

Дамба должна отрезать только юго-восточный угол Северного Каспия, прилегающий к району заливов Комсомолец и Кайдак и Мертвому Сорю, и пройти по глубине 1—1,5 м. Площадь отчленяемой акватории составит около 5 тыс. км². Потери на испарение с площади зеркала мелководий и зоны затопления при нагонных ветрах снизятся до 10 км³. Сооружение этой дамбы исключит возможность поступления в Приуральский район высокосоленых вод, наблюдаемых в зоне отчленения. В этой зоне биомасса бентоса составляет менее 10 г/м² — в 2,5—3 раза меньше средней биомассы восточной части и в 5—6 раз меньше западной зоны Северного Каспия.

Общая потеря кормового бентоса в зоне отчленения составит около 1,5% от всего кормового бентоса Северного Каспия. Зона отчленения не является регулярным пастбищем молоди осетровых. Только по краю мелководья за пределами будущей дамбы осетровые проходят на север в Приуральский район. Проведенное рыбохозяйственными организациями обследование этого района убеждает в целесообразности разработки технико-экономического обоснования и проведения изысканий для уточнения трассы дамбы и ее конструкции.

В. Разделение Каспийского моря на Северо-Каспийское водохранилище и Средний и Южный Каспий (Аполлов, 1959, см. рис. 63).

С целью поддержания уровня Северного Каспия Б. А. Аполлов предложил строительство дамбы от западного побережья Северного Каспия, в 30 км ниже г. Каспийска, до п-ова Бузачи. Общая протяженность дамбы 427 км. Площадь водного зеркала водохранилища 76 тыс. км².

В теле дамбы предусматривалось сооружение двух каналов — западного по трассе Волго-Каспийского судоходного канала и восточного в районе о-вов Кулалы и Морского. При этом уровень воды в водохранилище может поддерживаться на стационарной отметке, а к югу от дамбы будет колебаться на более низких отметках. В условиях роста водопотребления и уменьшения притока в Каспий уровень тяготения Южного Каспия будет непрерывно снижаться.

При обсуждении предложения Б. А. Аполлова на совещании в Астрахани в сентябре 1956 г. со стороны специалистов рыбного хозяйства были высказаны серьезные сомнения в отношении приемлемости гидрологического и гидрохимического режимов предлагаемого водохранилища для рыбного хозяйства.

Наиболее полную критику предложения Б. А. Аполлова сделал Н. П. Ганасийчук (1959). По его мнению в результате строительства дамбы западная часть Северного Каспия будет потеряна, часть ее превратится в пресноводный водоем, часть окажется за дамбой. Реликтовый солонатоводный комплекс моллюсков исчезнет. Значительно ухудшатся условия

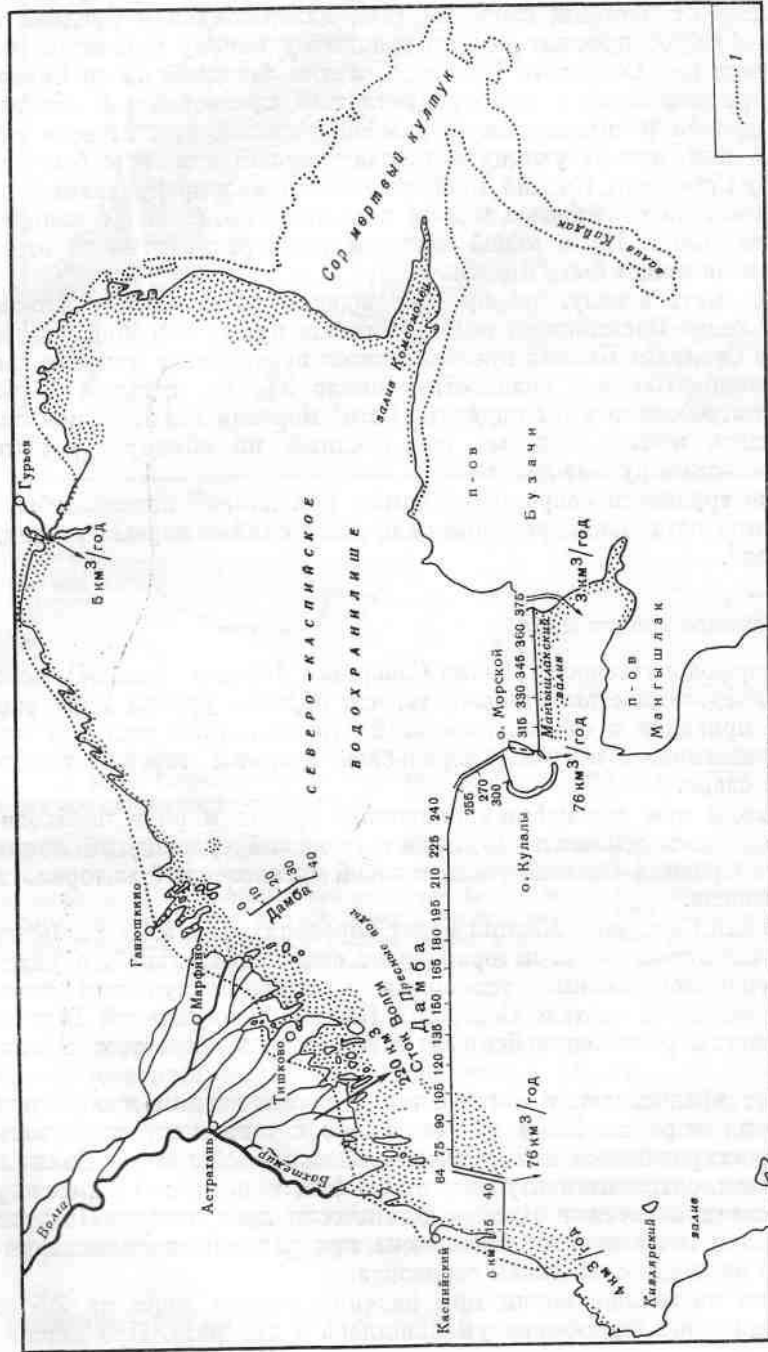


Рис. 63. Схема разделения Каспийского моря на Северо-Каспийское водохранилище и Средний и Южный Каспий (по Б. А. Аполлову, 1969) 1 — проектируемый урез моря

пагула полупроходных рыб, молоди осетровых и использование взрослым стадом их пастбищ Среднего и Южного Каспия.

К этому следует добавить, что при сооружении дамбы такие продуктивные зоны, как Средняя и Южная Жемчужные банки, остаются за трассой дамбы. Дамба отделит зону воспроизводства и распространения молоди осетровых от пастбищ взрослых рыб, находящихся в Среднем и Южном Каспии. Сброс пресных вод по западному каналу исключает их полезное действие для Северного Каспия. Остатки западной части Северного Каспия превращаются в малопродуктивный пресноводный водоем, а продуктивная зона распреснения за дамбой делается практически недостижимой для рыб, использующих солоноватоводный комплекс бентоса. Восточная часть Северного Каспия превращается в малопродуктивный со сравнительно высокой соленостью водоем с очагами летальной солености вблизи Мертвого Сора. Ни о какой высокой рыбопродуктивности этого водоема в целом не может быть и речи.

Необходимо иметь в виду, что предупреждение распреснения юго-западной части Северо-Каспийского водохранилища путем насосной подачи соленых вод из Среднего Каспия представляется нереальным, так как для получения солоноватых вод соленостью около 5‰ на каждый 1 км³ пресной воды потребовалось бы подавать 1 км³ морской воды соленостью 10‰, т. е. создать приток соленых вод, сходный по объему с речным стоком через западные рукава дельты.

Технические трудности сооружения дамбы при полной нецелесообразности ее создания остановили разработку предложений на первых стадиях ее рассмотрения⁴.

Оценка современного уровня моря

Учитывая геоморфологическое строение Северного Каспия (рис. 64), можно с полной определенностью утверждать, что падение уровня моря еще на 1,2—1,5 м приведет к отчленению всей его восточной части от западной и образованию в пределах Уральской впадины горько-соленого безжизненного озера.

Волжские воды при дальнейшем снижении уровня моря и необходимости в связи с этим удлинить и углубить морской судоходный канал будут стекать в Средний Каспий, унося с собой органогенный материал и биогенные элементы.

Рыбопродукция Северного Каспия будет определяться в этих условиях не величиной акватории моря, которая будет еще значительной, а ухудшающимися гидрологическими условиями в итоге нарушения водообмена между западной частью Северного Каспия, опресняемой Волгой, и восточной частью, находящейся за естественным барьером мелководий.

Рис. 64 дает представление о глубинах и расположении изобат при снижении уровня моря на 1,5 м по сравнению с современным. В зоне мелководий, простирающихся между восточной окраиной дельты Волги и п-вом Мангышлак, сохраняются глубины около 1 м, т. е. водообмен между западной и восточной частями Каспия фактически прекратится. На этом же рисунке дается сечение зоны водообмена при различных уровнях моря и изменение площади с падением горизонта.

С 1932 г. по настоящее время при падении уровня моря на 2,5 м площадь сечения зоны водообмена уменьшилась в два раза. При сниже-

⁴ В последнее время возобновлено рассмотрение этого мероприятия совместно с переброской воды в бассейн Каспия.

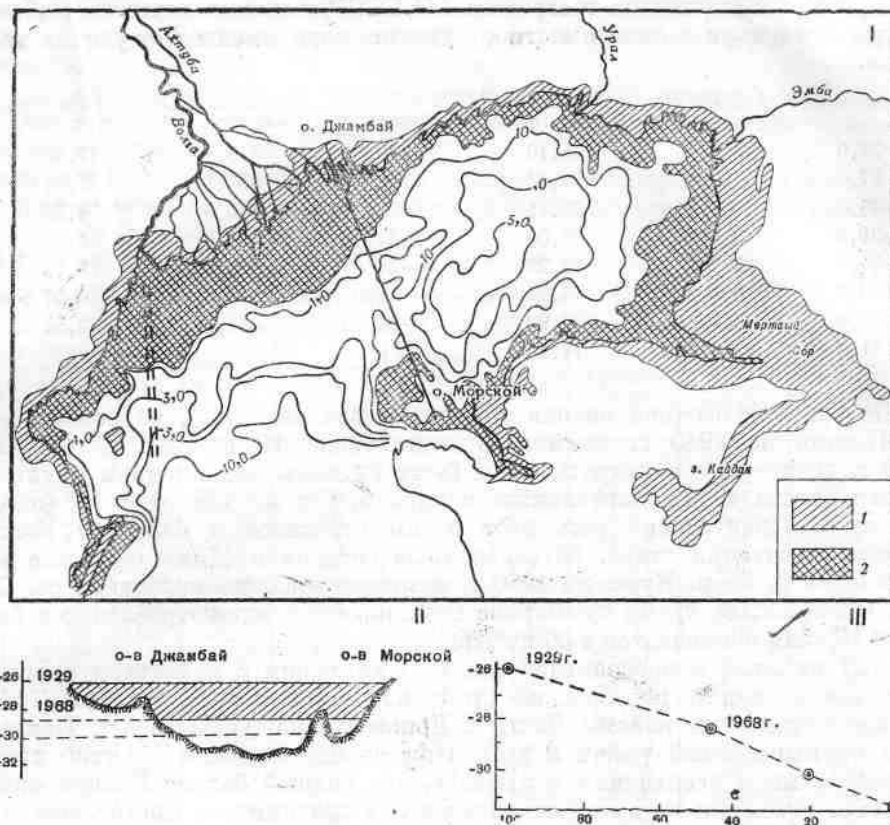


Рис. 64. Динамика береговой линии Северного Каспия, глубины при падении уровня на 2 м ниже современного и условия водообмена между западной и восточной частями его при различных отметках

Береговая линия: 1 — 1929 г., 2 — 1966—1968 гг. при падении уровня до отметки — 30 м (1,5 м); II — профиль сечения через зону мелководий, по линии о-в Джембай — о-в Морской. Заштрихованная часть соответствует снизившемуся уровню моря; III — изменение площади сечения моря в зоне водообмена. За 100% принята площадь сечения 1929 г. (около 0,75 км²). К 1968 г. площадь сечения уменьшилась вполтину. При падении уровня моря до —30 м площадь сечения в зоне водообмена будет составлять одну четвертую часть площади сечения 1929 г.

нии уровня моря еще на 1,5 м площадь сечения будет составлять около одной четвертой части от площади сечения 1929 г.

С учетом приведенных данных нынешнее положение уровня Каспийского моря вызывает крайнюю озабоченность, так как при дальнейшем понижении горизонта еще на 1 м водообмен между восточной и западной частями Северного Каспия практически прекратится и продуктивная площадь Северного Каспия сократится более чем в два раза. Это обязывает решение Каспийской проблемы всемерно форсировать.

Уровневый режим Каспийского моря

Общие сведения

Планирование мероприятий, связанных с использованием водных ресурсов рек Каспийского бассейна, должно осуществляться с учетом необходимости поддержания благоприятного режима собственного моря (уровневого, солевого и т. д.).

По данным Института географии АН СССР, площадь зеркала и объем Каспийского моря в зависимости от уровня моря имеют следующие значения.

| Уровень, м | Площадь зеркала, тыс. км ² | Объем моря, тыс. км ³ | Уровень, м | Площадь зеркала, тыс. км ² | Объем моря, тыс. км ³ |
|------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| -38,0 | 272,5 | 75,16 | -30,0 | 345,1 | 77,56 |
| -37,0 | 279,0 | 75,43 | -29,0 | 357,1 | 77,91 |
| -36,0 | 285,5 | 75,71 | -28,0 | 376,5 | 78,28 |
| -35,0 | 288,6 | 76,00 | -27,0 | 387,6 | 78,56 |
| -34,0 | 292,8 | 76,29 | -26,0 | 403,9 | 79,19 |
| -33,0 | 305,2 | 76,59 | -25,0 | 413,5 | 79,47 |
| -32,0 | 314,2 | 76,90 | -24,73 | 417,0 | 79,58 |
| -31,0 | 329,6 | 77,23 | | | |

По ориентировочной оценке (данные учета неполны), из рек бассейна Каспия до 1940 г. изымалось воды около 10 км³/год. С 1937 по 1969 г. значительные затраты воды были вызваны заполнением крупных водохранилищ и дополнительным испарением с их поверхности (около 230 км³). Практически весь этот объем относится к бассейну Волги, поскольку изъятия стока, обусловленные созданием Мингечаурского водохранилища на р. Куре, до 1960 г. компенсировались сработкой оз. Севан. В настоящее время суммарное безвозвратное водопотребление в бассейне Каспия оценивается в 30 км³/год.

Рост изъятий в перспективе связан в основном с развитием орошаемого земледелия и переброской стока из Волги в Дон, бассейн Кубани, водораздельные районы Волги с Доном и Днестром (КМА *, Пензенский промышленный район и др.). При оценке влияния изъятий стока на режим моря необходимо учитывать, что водный баланс Каспия определяется отъемами не в засушливом году, а средними за многолетие.

Водный баланс и уровень тяготения Каспийского моря. Приходная часть водного баланса моря на $\frac{4}{5}$ формируется стоком впадающих в него рек, суммарная площадь водосборного бассейна которых достигает около 3 млн. км². Вода, поступающая в Каспийское море, расходуется только на испарение с его поверхности. Чем выше уровень моря, тем больше площадь испаряющей поверхности. В периоды, когда поступление воды в море превышает испарение, уровень возрастает, стремясь к такому положению, при котором площадь зеркала моря станет достаточной для испарения поступающей воды. При обратном соотношении приходной и расходной составляющих водного баланса происходит понижение уровня моря. Такое саморегулирование обуславливает колебания уровня моря относительно некоторого среднего положения — уровня тяготения.

Описанный процесс наблюдается при стационарном режиме притока и испарения, когда их средние значения могут приниматься неизменными. В условиях естественного режима гипотеза о стационарности элементов водного баланса может быть положена в основу всех инженерных расчетов, когда речь идет о периодах до 1—2 столетий. Однако в условиях Каспийского бассейна и собственно моря необходимо считаться с уменьшением речного стока (а значит и притока в море) в результате изъятий воды на нужды народного хозяйства. В этих условиях уровень тяготения Каспия приобретает тенденцию к снижению.

Инструментальные наблюдения за уровнем Каспия ведутся с 1830 г., оценка притока возможна с 1890 г. Водный баланс Каспийского моря на современном этапе изученности может быть охарактеризован лишь приближенно:

* Курская магнитная аномалия.

— мало исследованы потери на испарение в дельтах рек, в первую очередь в дельте Волги, и недостаточно изучен сток некоторых малых рек бассейна;

— весьма ориентировочно определяется подземный приток в море;

— отток воды в залив Кара-Богаз-Гол оценивается с применением косвенных методов.

Следовательно, величины видимого испарения (испарение минус осадки), определяемые из уравнения водного баланса, следует рассматривать

ТАБЛИЦА 32

Уровни и элементы водного баланса Каспийского моря

| Год | Уровень на 1 янв. М. абс. (отриц. значения) | Год | Уровень моря | Приток в море, км ³ /год | Слой видимого испарения, мм/год | Год | Уровень моря | Приток в море, км ³ /год | Слой видимого испарения, мм/год |
|------|---|------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1840 | 25,63 | 1890 | 25,48 | 248 | 548 | 1941 | 27,84 | 305 | 776 |
| 1841 | 25,82 | 1891 | 25,63 | 221 | 623 | 1942 | 27,76 | 331 | 762 |
| 1842 | 25,98 | 1892 | 25,68 | 296 | 724 | 1943 | 27,74 | 286 | 765 |
| 1843 | 26,11 | 1893 | 25,71 | 312 | 723 | 1944 | 27,78 | 291 | 866 |
| 1844 | 26,03 | 1894 | 25,74 | 329 | 841 | 1945 | 27,97 | 263 | 757 |
| 1845 | 25,99 | 1895 | 25,65 | 348 | 498 | 1946 | 27,91 | 346 | 802 |
| 1846 | 25,64 | 1896 | 25,43 | 265 | 532 | 1947 | 27,79 | 381 | 816 |
| 1847 | 25,50 | 1897 | 25,47 | 256 | 702 | 1948 | 27,77 | 340 | 934 |
| 1848 | 25,60 | 1898 | 25,57 | 228 | 667 | 1949 | 27,87 | 269 | 793 |
| 1849 | 25,77 | 1899 | 25,59 | 388 | 811 | 1950 | 28,06 | 283 | 900 |
| 1850 | 25,81 | 1900 | 25,61 | 308 | 721 | 1951 | 28,19 | 270 | 762 |
| 1851 | 25,86 | 1901 | 25,66 | 275 | 788 | 1952 | 28,21 | 270 | 771 |
| 1852 | 26,18 | 1902 | 25,77 | 323 | 693 | 1953 | 28,30 | 292 | 780 |
| 1853 | 26,24 | 1903 | 25,66 | 323 | 674 | 1954 | 28,33 | 247 | 759 |
| 1854 | 26,12 | 1904 | 25,70 | 257 | 725 | 1955 | 28,40 | 305 | 781 |
| 1855 | 26,07 | 1905 | 25,77 | 313 | 656 | 1956 | 28,45 | 244 | 682 |
| 1856 | 26,09 | 1906 | 25,73 | 277 | 680 | 1957 | 28,38 | 326 | 723 |
| 1857 | 26,23 | 1907 | 25,79 | 256 | 691 | 1958 | 28,25 | 330 | 799 |
| 1858 | 26,21 | 1908 | 25,80 | 320 | 654 | 1959 | 28,22 | 283 | 757 |
| 1859 | 26,12 | 1909 | 25,76 | 307 | 787 | 1960 | 28,29 | 244 | 752 |
| 1860 | 26,15 | 1910 | 25,95 | 219 | 856 | 1961 | 28,49 | 263 | 820 |
| 1861 | 26,16 | 1911 | 26,19 | 266 | 640 | 1962 | 28,58 | 276 | 830 |
| 1862 | 26,08 | 1912 | 26,19 | 300 | 775 | 1963 | 28,50 | 320 | 678 |
| 1863 | 26,02 | 1913 | 26,26 | 303 | 766 | 1964 | 28,44 | 270 | 742 |
| 1864 | 26,04 | 1914 | 26,17 | 361 | 629 | 1965 | 28,49 | 268 | 684 |
| 1865 | 26,08 | 1915 | 25,97 | 341 | 647 | 1966 | 28,34 | 338 | 768 |
| 1866 | 26,02 | 1916 | 25,87 | 371 | 717 | 1967 | 28,42 | 225 | 744 |
| 1867 | 25,83 | 1917 | 25,82 | 329 | 950 | 1968 | 28,56 | 269 | 840 |
| 1868 | 25,43 | 1918 | 26,00 | 308 | 785 | 1969 | 28,61 | 271 | 598 |
| 1869 | 25,38 | 1919 | 26,03 | 306 | 718 | 1970 | 28,47 | — | — |
| 1870 | 25,67 | 1920 | 26,16 | 251 | 830 | | | | |
| 1871 | 25,80 | 1921 | 26,29 | 212 | 669 | | | | |
| 1872 | 25,88 | 1922 | 26,40 | 309 | 761 | | | | |
| 1873 | 25,89 | 1923 | 26,47 | 346 | 848 | | | | |
| 1874 | 25,69 | 1924 | 26,47 | 292 | 749 | | | | |
| 1875 | 25,46 | 1925 | 26,58 | 291 | 766 | | | | |
| 1876 | 25,47 | 1926 | 26,49 | 434 | 782 | | | | |
| 1877 | 25,36 | 1927 | 26,31 | 379 | 795 | | | | |
| 1878 | 25,36 | 1928 | 26,13 | 383 | 641 | | | | |
| 1879 | 25,34 | 1929 | 25,96 | 341 | 786 | | | | |
| 1880 | 25,47 | 1930 | 26,07 | 267 | 786 | | | | |
| 1881 | 25,32 | 1931 | 26,22 | 288 | 761 | | | | |
| 1882 | 25,21 | 1932 | 26,13 | 327 | 669 | | | | |
| 1883 | 25,31 | 1933 | 26,16 | 255 | 724 | | | | |
| 1884 | 25,52 | 1934 | 26,38 | 241 | 806 | | | | |
| 1885 | 25,64 | 1935 | 26,57 | 254 | 794 | | | | |
| 1886 | 25,60 | 1936 | 26,79 | 230 | 775 | | | | |
| 1887 | 25,60 | 1937 | 27,01 | 212 | 804 | | | | |
| 1888 | 25,58 | 1938 | 27,22 | 215 | 849 | | | | |
| 1889 | 25,55 | 1939 | 27,53 | 226 | 803 | | | | |
| | | 1940 | 27,79 | 245 | 748 | | | | |

как приближенные. По данным, любезно представленным Д. В. Коренистовым (табл. 32), водный баланс Каспия с 1890 по 1969 г. (80 лет) может быть охарактеризован следующими данными (в км³/год):

| | |
|---|-------|
| Поверхностный приток | 289 |
| Подземный » | 3 |
| Итого водные ресурсы | 292 |
| Видимое испарение с поверхности моря (слой испарения $\bar{h} = 750$ мм) | 291 |
| Отток в залив Кара-Богаз-Гол | 15 |
| Итого расходование воды | 306 |
| Изменение запаса воды в море | 1151 |
| Уровень моря, м абс. | |
| в начале периода | 25,48 |
| в конце » | 28,47 |

Изменение уровня по годам рассматриваемого периода (1890—1969 гг.), а также колебания притока и слоя видимого испарения показано на рис. 65. В ходе изменения уровня за рассматриваемый период можно выделить два отрезка времени с относительно стабильным их состоянием:

первый — 1890—1932 гг. — до начала маловодья, наблюдавшегося на Волге в 30-х годах;

второй — 1950—1969 гг., когда заметно возросли изъятия стока из рек Каспийского бассейна.

Характеристика этих периодов и отрезков времени между ними приведена в табл. 33.

ТАБЛИЦА 33

Водный баланс Каспийского моря

| Показатель | Период | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1890—1932 | 1933—1940 | 1941—1949 | 1950—1969 |
| Продолжительность периода, лет | 43 | 8 | 9 | 20 |
| Уровень моря, м абс. | | | | |
| в начале периода | —25,48 | —26,16 | —27,84 | —28,06 |
| в конце » | —26,16 | —27,84 | —28,06 | —28,47 |
| средний » | —25,96 | —27,48 | —27,84 | —28,41 |
| Понижение уровня за период, м | 0,68 | 1,68 | 0,22 | 0,41 |
| среднее, см/год | 1,6 | 21,0 | 2,4 | 2,0 |
| Средняя площадь поверхности, тыс. км ² | 400 | 383 | 378 | 368 |
| Средний слой видимого испарения за год, мм | 726 | 787 | 806 | 759 |
| Объем видимого испарения, км ³ /год | 290 | 301 | 305 | 280 |
| Приток в море, км ³ /год | 305 | 235 | 312 | 280 |
| Отток в залив Кара-Богаз-Гол, км ³ /год | 21 | 19 | 16 | 8 |
| Среднее годовое уменьшение запасов воды в море, км ³ /год | 6 | 84 | 9 | 8 |

Маловодье и повышенная интенсивность испарения в 30-х годах обусловили интенсивное снижение уровня моря в течение этого периода в среднем на 21 см/год. Периоды 1890—1932 гг. и 1941—1949 гг. характеризуются близкими значениями притока; однако высокая интенсивность испарения во втором из указанных периодов (806 мм) обусловила больший темп снижения уровня, несмотря на его низкое стояние. В пе-

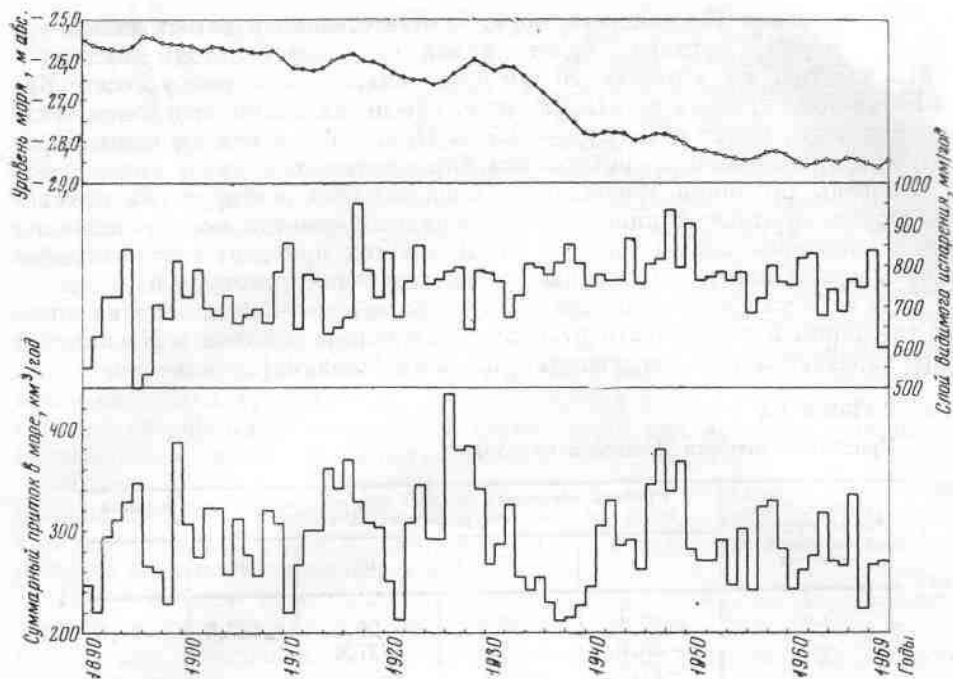


Рис. 65. Хронологические графики состояния уровня моря, слоя видимого испарения и суммарного притока

риод 1950—1970 гг. происходило увеличение изъятия воды на Волге и Куре, обусловленное вводом в действие волжского каскада ГЭС и Мингечаурского гидроузла; кроме того, этот период характеризуется также низким стоком.

Объем изъятий воды из бассейна Каспия в 1940—1969 гг. (превышающий водозабор в предшествующем порядке, округленно равный $10 \text{ км}^3/\text{год}$) оценивается в 300 км^3 . Суммарное изъятие воды за весь рассматриваемый период составляет $10 \text{ км}^3/\text{год} \times 80 \text{ лет} + 300 \text{ км}^3 = 1100 \text{ км}^3$, или примерно $15 \text{ км}^3/\text{год}$.

Таким образом, норму притока в Каспийское море в естественных условиях, не искаженных воздействием антропогенных факторов, можно принять округленно равной $310 \text{ км}^3/\text{год}$; соответственно в современных условиях она равна $290 \text{ км}^3/\text{год}$. Отток в залив Кара-Богаз-Гол при отметках Каспия в интервале -25 — -27 м составляет примерно $20 \text{ км}^3/\text{год}$, а при современных отметках $-10 \text{ км}^3/\text{год}$. Указанным характеристикам элементов водного баланса соответствует отметка уровня тяготения Каспия в естественных условиях -27 (округленно), а при современных изъятиях стока -29 м. Однако выше мы уже указывали на приближенность оценки некоторых составляющих водного баланса Каспия, что предопределяет некоторую условность приведенных отметок уровня тяготения. В частности, последнее десятилетие характеризуется устойчивостью уровня моря при значениях притока и испарения, близких к среднемноголетним: за период с 1961 г. слой видимого испарения был равен 745 м, а средний годовой приток $278 \text{ км}^3/\text{год} + 30 \text{ км}^3/\text{год} = 308 \text{ км}^3/\text{год}$.

Приведенные цифры дают основание принять уровень тяготения моря в современных условиях (при изъятиях стока в $30 \text{ км}^3/\text{год}$) равным $-28,5$ м, чему при норме слоя испарения в 750 мм/год соответствует норма притока $285 \text{ км}^3/\text{год}$, в том числе подземный приток (округленно) $-5 \text{ км}^3/\text{год}$. Из указанного объема воды $10 \text{ км}^3/\text{год}$ поступает в залив Кара-Богаз-Гол, а $275 \text{ км}^3/\text{год}$ в среднем испаряется с поверх-

ности собственно Каспийского моря. Соответственно в естественных условиях норма притока будет равна $285 \text{ км}^3/\text{год} + 30 \text{ км}^3/\text{год} = 315 \text{ км}^3/\text{год}$, из которых $20 \text{ км}^3/\text{год}$ испаряется с поверхности Кара-Богаз-Гол. Уровень тяготения моря, обеспечивающий испарение остающейся воды, имеет отметку $-26,5 \text{ м}$. Приведенная совокупность параметров и принимается в приведенных ниже расчетах.

Уровень тяготения Каспийского моря заметно реагирует на изменение нормы притока: в диапазоне современных отметок моря увеличение или уменьшение нормы притока на $10 \text{ км}^3/\text{год}$ приводит соответственно к повышению или к понижению уровня тяготения примерно на 1 м .

При зарегулировании оттока в залив Кара-Богаз-Гол изменение уровня тяготения в зависимости от нарушения нормы притока в Каспийское море характеризуется следующими данными (табл. 34).

ТАБЛИЦА 34

Уровень тяготения Каспийского моря

| Превышение нормы притока над современной, $\text{км}^3/\text{год}$ | Уровень тяготения (м. абс.) при величинах оттока в залив Кара-Богаз-Гол, $\text{км}^3/\text{год}$ | | | | |
|--|---|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| +20 | -25,4 | -26,0 | -26,6 | -27,1 | -27,6 |
| +10 | -26,6 | -27,1 | -27,6 | | |
| 0 | -27,6 | -28,0 | -28,5 | | |
| -10 | -28,5 | -29,0 | | | |
| -20 | -29,4 | -29,8 | | | |
| -30 | -30,3 | | | | |
| -40 | -31,2 | | | | |

Однако, как будет показано ниже, вследствие инерционности процесса изменение уровня тяготения создает лишь тенденцию, реализация которой растягивается на десятилетия. Быстрее проявляются изменения в положении уровня моря, вызываемые ежегодными колебаниями притока и испарения. Это объясняется тем, что в пределах 90% доверительного интервала современный годовой приток в море колеблется от 215 до $365 \text{ км}^3/\text{год}$, а слой видимого испарения от 610 до $890 \text{ мм}/\text{год}$.

О требованиях к режиму уровня моря различных отраслей народного хозяйства.

В связи с проектированием мероприятий по оптимизации режима уровня Каспийского моря необходимо оценить требования к нему со стороны различных отраслей народного хозяйства. Этот вопрос требует специального глубокого анализа. Ниже приводятся предварительные соображения.

Коммунальное хозяйство. Снижение уровня затруднило условия водозабора. Однако повышение уровня приведет к затоплению и подтоплению многих жилых районов, предприятий и различных сооружений (мостов, газовых и электромагистралей, водопровода), набережных и т. д.

По всей видимости, в интересах коммунального хозяйства следует сохранить современный уровень моря.

Сельское хозяйство. Снижение уровня моря привело к увеличению затрат, связанных с водоснабжением. В то же время создались более благоприятные условия для произрастания некоторых сельскохозяйственных культур, а также камыша — сырья целлюлозной промышленности.

В целом в интересах сельского хозяйства, по-видимому, целесообразно сохранение современного уровня моря.

Нефтяная промышленность. Уменьшение глубин в Северном Каспии, связанное с понижением уровня моря, привело к неблагоприятному изменению ледового режима. Происходящий вынос льда в районы нефте-

промысловых сооружений Апшеронского полуострова и в Дагестане создает угрозу для устойчивости эстакад. Обмеление подходов к нефтепромыслам, пристаням, судоремонтным предприятиям вызывает необходимость проведения дополнительных дноуглубительных работ.

Падение уровня нарушит работу водозаборных сооружений, осложнит обеспечение технической водой предприятий нефтяной промышленности. В связи с этим нефтеперерабатывающая промышленность заинтересована в сохранении современного уровня при минимальной амплитуде его колебаний.

Морской транспорт. Изменение уровня моря оказало определенное влияние на условия работы морского транспорта и эксплуатацию портовых сооружений. Старые районы портов испытывают затруднения ввиду уменьшения глубин на подходах к ним; новые порты, построенные после снижения уровня моря, наблюдавшегося в 30-х годах, ориентированы на современную ситуацию. В связи с этим для морского транспорта оптимальным, видимо, является современный уровень моря.

Железные дороги. Даже при современном низком уровне вследствие нагонов возможно разрушение отдельных участков дороги, находящихся в низких зонах. В связи с этим повышение уровня моря для железнодорожного транспорта нежелательно.

Галургическая промышленность залива Кара-Богаз-Гол. Поступление воды в залив и дальнейшее ее испарение привело к накоплению в нем сульфатных минералов. Количество поступающей воды зависит от уровней воды в заливе и море, а также от пропускной способности соединяющего их пролива, которая претерпевает изменение в процессе деформаций русла. В результате снижения уровня моря площадь зеркала залива сократилась с 18 до 10 тыс. км², а поступление воды (округленно) с 20 до 10 км³/год.

Для поддержания нормальной добычи сульфатного сырья достаточно подавать в залив воду в размере порядка 5 км³/год, а по последним данным, возможно и дальнейшее снижение подачи воды. Таким образом, эта отрасль хозяйства не несет ущерба от некоторого снижения уровня воды по сравнению с современным положением.

Рыбное хозяйство. В период работ экспедиции Н. М. Книповича (1912—1913 гг.) улов рыбы в Каспийском море составлял около 6,2 млн. ц из общего улова России в те же годы в 11—11,5 млн. ц. Примерно такой же уровень улова в Каспии наблюдался в 1930—1931 гг. до падения уровня моря в итоге маловодных лет 1933—1940 гг.

В настоящее время улов Каспийского моря составляет 5,0—5,5 млн. ц при значительном изменении видового состава — увеличение добычи клек и сокращении улова воблы.

Рыбные богатства Каспия определялись в первую очередь проходными рыбами, размножающимися в пределах среднего и верхнего течения рек бассейна (осетровые, сельди), и полупроходными, размножение которых протекает в нижнем течении рек (вобла, лещ, судак, сазан).

Маловодье, наблюдавшееся в 30-х годах, падение уровня моря и уменьшение площади наиболее продуктивного Северного Каспия отрицательно сказались на условиях размножения и нагула проходных и полупроходных рыб. С начала 60-х годов отрицательное воздействие на состояние запасов проходных и полупроходных рыб стало оказывать регулирование стока Волги. Создание водохранилищ на местах нерестилищ коренным образом изменили условия размножения осетровых. Уменьшился биогенный сток, особенно солей фосфора. Наряду с указанными причинами неблагоприятное влияние на состояние рыбных запасов оказало чрезмерное интенсивное рыболовство.

Разработанная и частично уже осуществленная система мероприятий по восстановлению рыбных богатств Каспия (искусственное рыбозаведение, регулирование и упорядочение методов и масштабов лова, соору-

жение вододелителя в вершине дельты Волги, пополнение водных ресурсов р. Урал через канал Волга — Урал и др.) не даст должного эффекта, если не будет предотвращено дальнейшее снижение уровня моря. Прошедшее понижение уровня не только привело к сокращению площади Северного Каспия, но и ухудшило его гидрохимический режим вследствие того, что усилился сток Волги в море через юго-западные рукава дельты, оказывая меньшее опресняющее влияние на восточную часть Северного Каспия.

Для установления оптимальных требований к уровенному режиму Каспийского моря необходимо выполнить глубокий и разносторонний анализ.

В порядке первого приближения, по-видимому, можно принять, что дальнейшее снижение уровня более чем на 0,5 м крайне нежелательно, а более чем на 1—1,5 м приведет к тяжелому ущербу для рыбного стада. При этом речь должна идти по крайней мере как о стабилизации уровня тяготения моря на отметках порядка -29 м, так и об уменьшении амплитуды колебаний уровня моря относительно уровня тяготения.

Режим колебания уровня Каспийского моря. Колебанию уровней замкнутых водоемов, в частности режиму уровня Каспийского моря, посвящена обширная литература (Аполлов, 1956; Аполлов, Алексеева, 1959; Багров, 1963; Белинский, Калинин, 1946, 1959; Будыко, Юдин, 1960; Дроздов, Покровская, 1961; Калинин, 1968; Калинин, Смирнова, Шереметьевская, 1958; Крицкий, Менкель, 1964; Леднев, Зайцев, 1955; Смирнова, 1972; Шлямин, 1962, и др.). Длительность систематических инструментальных наблюдений за уровнем Каспия невелика. В связи с этим для детальной характеристики уровенного режима этого водоема потребовался теоретический анализ. Исследования в этой области развиваются по двум направлениям:

— поиск временных закономерностей в колебаниях уровня на основе связей уровня водоема с ходом различных геофизических и гелиофизических процессов;

— вероятностное описание колебаний уровня, исходя из представлений о порождающих их колебаниях климатических и гидрологических величин — как о стохастических процессах.

Практическое использование результатов, полученных по первому из указанных представлений, в настоящее время сдерживается следующими обстоятельствами.

Любой временной ряд, в том числе представляющий собой последовательность независимых случайных величин, содержит циклы любой длительности; перед тем как связывать циклы в наблюдаемых рядах годового стока, осадков, уровней замкнутого водоема с каким-либо геофизическим или гелиофизическим процессом (например, колебаниями солнечной активности) необходимо доказать, что эти циклы не могут быть отнесены за счет псевдоцикличности. Такие доказательства в опубликованных работах или отсутствуют, или малоубедительны.

Однако если бы даже удалось обнаружить значимые временные циклы в материалах наблюдений за гидрологическими явлениями и увязать их с колебаниями геофизических или гелиофизических процессов, это на данном этапе еще не открывает перспектив для надежных прогнозов, поскольку колебания исходных геофизических и гелиофизических процессов не вполне поддаются прогнозированию.

Наконец, применительно к режиму уровней замкнутых водоемов важное значение приобретает специфическое обстоятельство: уровень моря является интегральной характеристикой, отражающей особенности хода стока и испарения за сравнительно длительный период времени.

В связи с изложенным, на современном этапе наших знаний можно ориентироваться лишь на вероятностное описание колебаний уровня.

Для исследования общих закономерностей колебания уровня моря как в естественных условиях, так и после осуществления различного рода мероприятий по преобразованию водного режима широкие возможности открывает применение длительных искусственных рядов годового стока и испарения, аналогично подходу Ивановой и Ратковича (1972) к анализу режима водохранилищ, многолетнего регулирования стока. Моделирование искусственных рядов осуществляется на основе стохастической модели стока (Раткович, 1972). При наличии этих рядов режим моря исследуется балансовым методом.

Для иллюстрации общих закономерностей колебаний уровня Каспийского моря в условиях стационарного режима испарения и притока, не искаженного изъятиями стока, были сделаны соответствующие расчеты для тысячелетнего интервала времени.

Расчеты выполнены применительно к следующим положениям.

А. При анализе режима уровней Каспия можно ограничиться среднегодовыми значениями, поскольку амплитуда сезонных колебаний во много раз меньше многолетней.

Б. В качестве стохастической модели для описания колебаний годового стока в соответствии с изложенным была принята простая цепь Маркова с линейной корреляцией между обеспеченностями смежных членов; числовой параметр модели — коэффициент автокорреляции — нормируется в зависимости от модуля стока водосборного бассейна; в соответствии с модулем стока основных рек Каспия ($q=4-10$ л/сек·км²) коэффициент автокорреляции принят равным 0,3.

В. Для описания колебаний годового слоя испарения принята та же стохастическая модель, что и для описания колебаний годового стока. Исследования показали, что величина коэффициента корреляции между слоем испарения в смежные годы не оказывает существенного влияния на результаты расчетов, поскольку испарение менее изменчиво, чем годовой сток (см. ниже). В расчетах поэтому принят тот же коэффициент корреляции, что и для стока.

Г. Годовые объемы притока поверхностных вод в Каспийское море и годовые значения слоя видимого испарения приняты взаимонезависимыми. Это подтверждается большим рассеянием соответствующих значений притока и слоя испарения (рис. 66).

Д. Поверхностный приток в море — среднее многолетнее значение $W=315$ км³/год, коэффициент вариации $c_v=0,16$, коэффициент автокорреляции $=0,3$; подземный приток в море $W_{\text{подз}}=5$ км³/год; видимое испарение — среднее многолетнее значение $\bar{h}=0,75$ м/год, коэффициент вариации $c_v=0,11$, коэффициент автокорреляции $=0,3$.

Отток в залив Кара-Богаз-Гол равен постоянной величине 20 км³/год, отвечающей стоянию моря на отметках в зоне уровня тяготения — 26,5 м.

Полученный в результате расчетов хронологический график колебания уровня Каспийского моря за тысячелетний период приведен на рис. 67. Это — одна из возможных реализаций уровня моря. Можно полагать, что при указанной длительности расчетного периода достигается возможность общей характеристики режима уровней в условиях стационарного режима.

В интервале обеспеченностей от 5 до 95% амплитуда уровней составляет 2,5 м, а в интервале от 1 до 99% — 3,5 м (для естественных, не искаженных изъятиями, условий притока); аналогичные расчеты, выполненные для современных изъятий (30 км³/год), дали амплитуду колебаний соответственно больше — примерно на 0,5 м, благодаря более крутому очертанию зависимости площади зеркала от уровня в зоне низких отметок; ввиду этого сильнее проявляется амортизирующая роль испарения в колебании уровня.

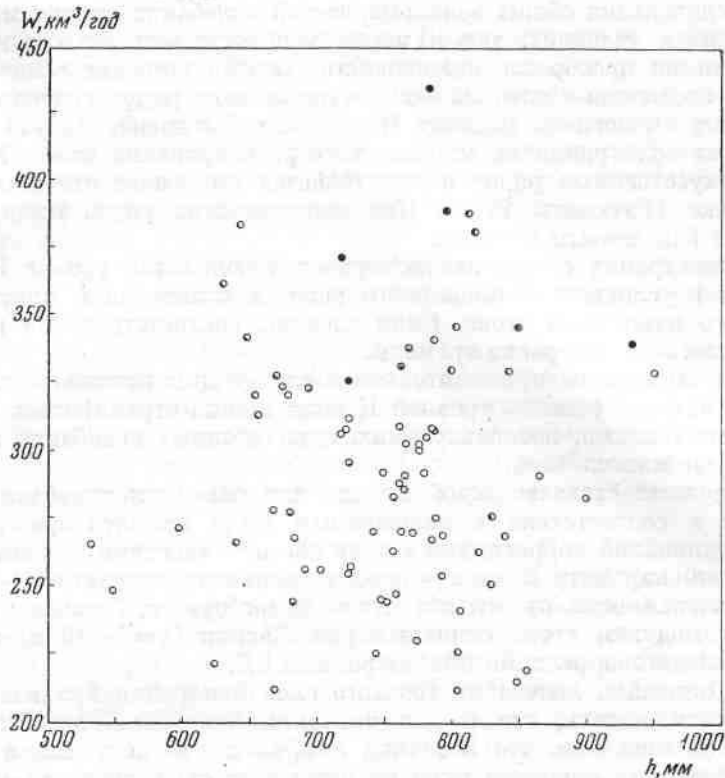


Рис. 66. Зависимость между годовыми значениями поверхностного притока в море и слоя видимого испарения

На ряде интервалов расчетный гидрограф характеризуется столь же и даже более крутым ходом уровней, чем это наблюдалось в 30-х годах нынешнего века: по данным расчета, в течение десятилетий могут происходить повышения или понижения уровня на 2—3 м. Реально повторяемые ежегодные изменения уровня достигают 35 см.

Расчеты выявили важную особенность режима уровня Каспия — его «инерционность» по отношению к уровню тяготения: периоды расположения уровня выше или ниже этого горизонта могут длиться многие десятилетия, в зависимости от сочетаний величин притока и испарения.

Зависимость хода уровня Каспийского моря от элементов водного баланса. Режим уровней замкнутого водоема определяется уравнением водного баланса:

$$Wdt - hFdt = Fdz,$$

где W — годовой приток в море, t — время, h — годовой слой видимого испарения, F — площадь зеркала, z — отметка уровня.

При отсутствии функциональной зависимости видимого испарения от времени, положив $h = h_0$ — среднему годовому значению слоя видимого испарения, получаем

$$\frac{dz}{dt} = \frac{W}{F} - h_0. \quad (1)$$

Для Каспийского моря в диапазоне представляющих интерес значений уровня можно принять

$$F = (a + bz) \cdot 10^3 \text{ км}^2,$$

где $a = 303$, $b = 14$, z — уровень моря в м над отметкой минус 33,0 м абс.

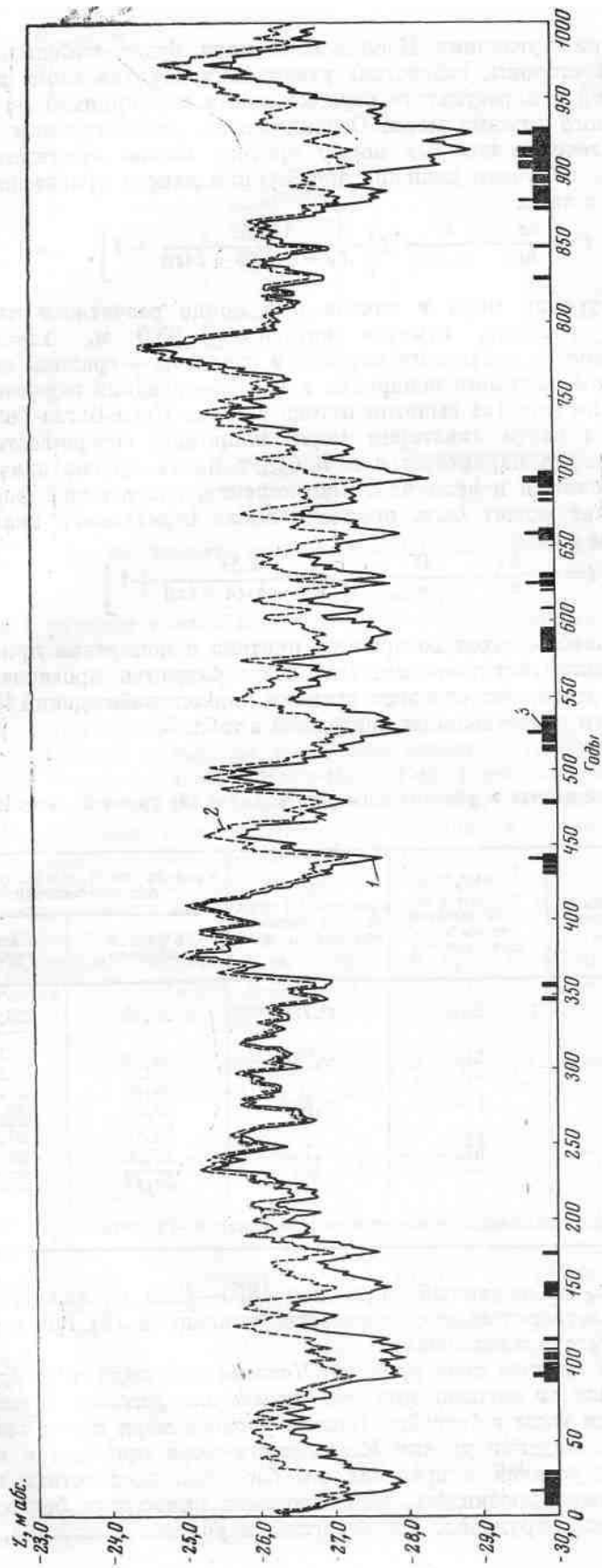


Рис. 67. Хронологические графики колебания уровня Каспийского моря

1 — естественный режим; 2 — при компенсированном питании; 3 — дополнительное питание, км³/год (результаты расчетов по моделированным рядам притока и испарения)

Норма притока в условиях Каспийского моря будет изменяться во времени, с одной стороны, вследствие увеличения изъятий стока из рек бассейна, с другой — в результате осуществления мероприятий по оптимизации уровня режима моря. Ограничиваясь рассмотрением отрезков времени, в течение которых норму притока можно принимать постоянной $W=W_0$, получаем решение дифференциального уравнения водного баланса (1) в виде:

$$t = \frac{\Delta z}{h_0} - \frac{W_0}{6,08h_0^2} \lg \left[\frac{14h_0\Delta z}{W_0 - h_0(303 + 14z_1)} + 1 \right]. \quad (2)$$

Здесь z_1 и z_2 — уровни моря в начале и в конце расчетного периода в м над «О» графика, отметка которого — 33,0 м, $\Delta z = z_1 - z_2$, t — продолжительность расчетного периода в годах, h_0 — средний за расчетный период слой видимого испарения в м, W_0 — средний за расчетный период приток в км³/год (за вычетом оттока в залив Кара-Богаз-Гол).

При отсечении части акватории моря, например, северо-восточных мелководий, числовые параметры a и b будут иметь другие значения; по-видимому, изменится и величина. Соотношение, аналогичное формуле (2), в этом случае может быть получено после подстановки значений a и b в выражение

$$t = -\frac{\Delta z}{h_0} - \frac{W_0}{0,434bh_0^2} \lg \left[\frac{bh_0\Delta z}{W_0 - h_0(a + bz_1)} + 1 \right]. \quad (2')$$

Осреднение колеблющихся во времени притока и испарения приводит к весьма небольшим погрешностям. Это подтверждается проверочными расчетами для характерных отрезков времени периода наблюдений 1890—1969 гг. Результаты сопоставления приведены в табл. 35.

ТАБЛИЦА 35

Сопоставление наблюдаемых и рассчитанных по формуле (2) уровней Каспийского моря

| Период, годы | t продолжительность, годы | W_0 приток в море за вычетом оттока в залив, км ³ /год | h_0 средний за период слой видимого испарения, м/год | Уровень моря, м абс. (отрицательные значения) | |
|--------------|-----------------------------|---|--|---|-----------------|
| | | | | в начале периода | в конце периода |
| 1890—1932 | 43 | 284 | 0,726 | 25,48 | 26,16 |
| 1933—1940 | 8 | 216 | 0,787 | 26,16 | 26,30 |
| | | | | 27,84 | 27,84 |
| 1941—1949 | 9 | 296 | 0,806 | 26,30 | 28,10 |
| | | | | 27,84 | 28,06 |
| 1950—1969 | 20 | 272 | 0,759 | 28,10 | 28,17 |
| | | | | 28,06 | 28,47 |
| | | | | 28,17 | 28,55 |

Примечание. В числителе — наблюдаемые уровни, в знаменателе — расчетные.

Таким образом, наблюдаемый за период 1890—1969 гг. ход уровней моря вполне удовлетворительно описывается уравнением (2) при известных значениях притока и испарения.

Вероятностный прогноз хода уровней Каспийского моря и соображения о мероприятиях по оптимизации его уровня режима. В связи с ростом потребления воды в бассейне Каспия уровень моря имеет тенденцию к снижению. Падение уровня Каспийского моря приведет к изменению природных условий в пределах его бассейна, последствия которых не всегда можно предвидеть. Использование природных богатств в этом районе будет затруднено. Из отраслей народного хозяйства, для

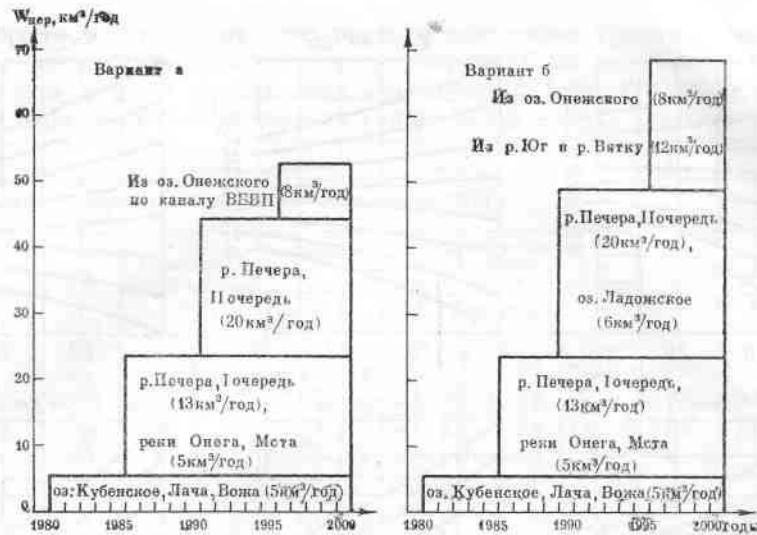


Рис. 68. Варианты дополнительного питания Каспийского моря

которых падение уровня моря приведет к невозполнимым потерям, в первую очередь следует отнести рыбное хозяйство. Все это указывает на необходимость активного воздействия на водный баланс моря, что возможно осуществить двумя путями: уменьшением потерь на испарение и увеличением водности питающих море рек.

Уменьшение потерь на испарение может быть достигнуто регулированием оттока в залив Кара-Богаз-Гол (экономия воды порядка 5—8 км³/год), а также строительством дамбы, отделяющей мелководья северо-восточного Каспия, мало участвующие в биопродукционных процессах (экономия воды до 15 км³/год).

Возможные пути дополнительного питания Каспия в ближайшие десятилетия, предположенные Институтом водных проблем АН СССР, показаны на схеме (рис. 68).

Проектные решения о масштабах и сроках осуществления соответствующих мероприятий должны базироваться на предвидении режима уровней Каспийского моря и предположениях о росте потребления воды в его бассейне.

Для средних гидрометеорологических условий определять наиболее вероятные уровни можно по формуле (2). С этой целью ее удобно преобразовать к виду:

$$t = \frac{\Delta z}{h_0} - \frac{\bar{w} - v}{6,08h_0^2} \lg \left[\frac{14h_0\Delta z}{\bar{w} - v - h_0(303 + 14z_1)} + 1 \right],$$

где $\bar{W} = 285$ км³/год — современная норма притока, $h_0 = 0,75$ м/год — норма слоя испарения, $v = w_{н.г.} + w_{из} - w_{пер}$ — уменьшение современной нормы притока, $W_{н.г.}$ — отток в залив Кара-Богаз-Гол, $W_{из}$ — избытия стока (сверх современных величин) из рек Каспийского бассейна на нужды народного хозяйства и на переброску в другие бассейны, $W_{пер}$ — переброски стока в бассейн Каспия из других бассейнов.

После соответствующих подстановок и преобразований получаем

$$t = \frac{4}{3} \Delta z - 0,292 (285 - v) \lg \left[\frac{\Delta z}{5,52 - 0,0952v - z_1} + 1 \right]. \quad (3)$$

Номограммы к формуле (3) приведены на рис. 69. С течением времени изолинии начального уровня постепенно сближаются, стремясь к

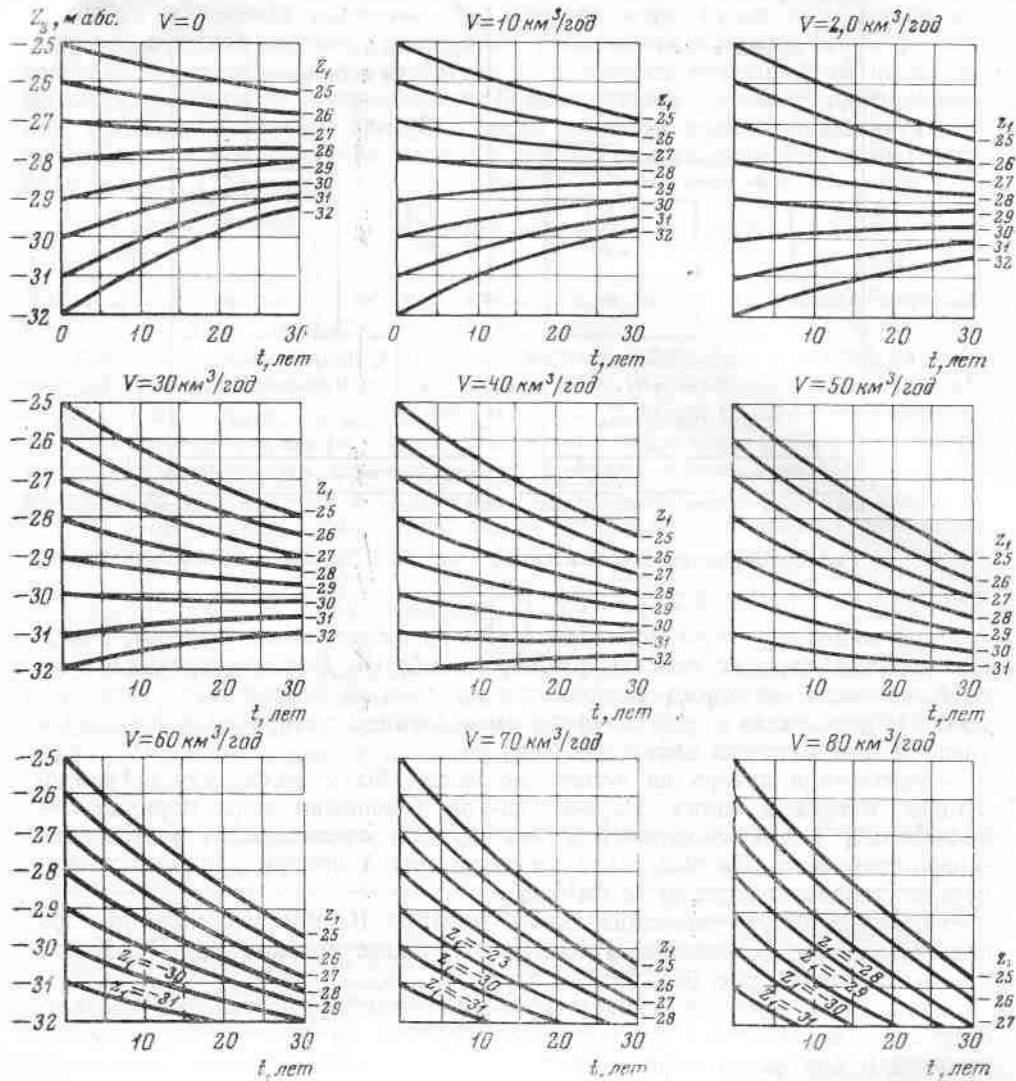


Рис. 69. Номограммы для определения изменений уровня Каспийского моря в средних гидрометеорологических условиях

уровню тяготения¹.

$$z = 5,52 - 0,0952 v$$

При переменной во времени величине v , что бывает практически всегда, расчет следует вести по небольшим интервалам времени (например, пятилетиям), осредняя v . Выше было показано, что такое осреднение ведет к весьма небольшим погрешностям. На рис. 70 представлены зависимости между уровнями, разделенными пятилетними отрезками времени, для широкого диапазона значений v . Зависимости рис. 69—70 могут непосредственно использоваться для целей прогноза уровней Каспия.

Расчеты выполнены для двух условных вариантов роста водопотребления: вариант «минимум» — водопотребление увеличивается по сравнению с современным на 28 км³/год к 1985 г. и на 50 км³/год к 2000 г.; вариант «максимум» дает соответственно 47 и 72 км³/год.

¹ В формулах (3) и (4) уровни даны над «0» графика, отметка которого равна 33,0 м абс.

Для каждого из этих вариантов расчеты изменения уровня моря выполнены применительно к отсутствию мероприятий по дополнительному питанию моря и двум схемам этих мероприятий (рис. 66). Подсчет величины v , определяющей изменение современной нормы притока, приведен

А Б Л И Ц А 36

Определение величины v для различных вариантов

| Период, годы | Отток в залив Кара-Богаз-Гол W , км ³ /г. | Объем переброски W пер, км ³ | | Прирост водопотребления по варианту «минимум» | | | | | Прирост водопотребления по варианту «максимум» | | | |
|--------------|--|---|-----------------|--|----------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|----------------------------|-------------------------|--|
| | | по варианту «а» | по варианту «б» | объем изъятий W из, в км ³ за пятилетие | V , км ³ /год | | | | | V , км ³ /год | | |
| | | | | | без доп. питания | питание по варианту «а» | питание по варианту «б» | объем изъятий W из, в км ³ за пятилетие | без доп. питания | питание по варианту «а» | питание по варианту «б» | |
| 1971—1975 | 50 | — | — | 30 | 16 | 16 | 16 | 50 | 20 | 20 | 20 | |
| 1976—1980 | 50 | — | — | 75 | 25 | 25 | 25 | 120 | 34 | 34 | 34 | |
| 1981—1985 | 25 | 25 | 25 | 120 | 29 | 29 | 24 | 200 | 45 | 40 | 40 | |
| 1986—1990 | 25 | 115 | 115 | 160 | 37 | 14 | 14 | 260 | 57 | 34 | 34 | |
| 1991—1995 | 25 | 215 | 245 | 200 | 45 | 1 | -4 | 300 | 65 | 22 | 16 | |
| 1996—2000 | 25 | 255 | 345 | 235 | 52 | 1 | -17 | 340 | 74 | 22 | 4 | |

Примечание. Объемы воды по пятилетиям даны с округлением до 5 км³. Отток воды в залив Кара-Богаз-Гол принят равным 10 км³/год до 1980 г., а затем — 5 км³/год.

в табл. 36. Данные о водопотреблении по годам получены с помощью линейной интерполяции приведенных выше значений для уровней развития: современного (1970 г.), 1985 и 2000 гг.

Результаты расчетов представлены в табл. 37 и на рис. 71.

Таким образом, при средних гидрометеорологических условиях, если безвозвратные изъятия воды из рек будут возрастать по большему из

Т А Б Л И Ц А 37

Прогноз уровня Каспийского моря в средних гидрометеорологических условиях

| Год | Уровень воды, м абс. (отрицательные значения) | | | | | |
|------|---|---------------------|---------------------|--|---------------------|---------------------|
| | Прирост водопотребления по варианту «минимум» | | | Прирост водопотребления по варианту «максимум» | | |
| | без доп. питания | питание по вар. «а» | питание по вар. «б» | без доп. питания | питание по вар. «а» | питание по вар. «б» |
| 1975 | 28,55 | 28,55 | 28,55 | 28,65 | 28,65 | 28,65 |
| 1980 | 28,80 | 28,80 | 28,80 | 28,95 | 28,95 | 28,95 |
| 1985 | 29,00 | 28,90 | 29,00 | 29,35 | 29,25 | 29,25 |
| 1990 | 29,30 | 29,00 | 29,00 | 29,80 | 29,45 | 29,45 |
| 1995 | 29,60 | 28,85 | 28,80 | 30,35 | 29,50 | 29,40 |
| 2000 | 30,05 | 28,70 | 28,45 | 31,00 | 29,55 | 29,25 |

Примечание. Уровни округлены до 5 см.

рассмотренных вариантов, уровень моря к 2000 г. опустится примерно на 2,5 м против современного стояния и достигнет отметки минус 31 м; при росте водопотребления по варианту «минимум» соответственное снижение уровня составит около 1,5 м.

Приведенные результаты относятся к условной ситуации, так как рост водопотребления ограничивается емкостями водохранилищ Волжско-го каскада и в указанных масштабах возможен лишь при переброске в Волгу стока северных рек. До осуществления этого мероприятия при-

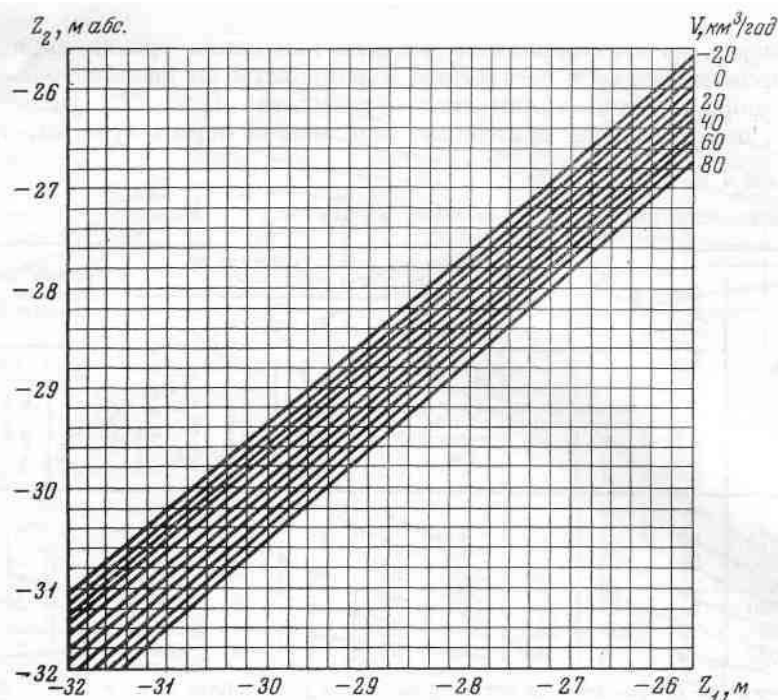


Рис. 70. Взаимосвязь между уровнями моря, разделенными 5 годами

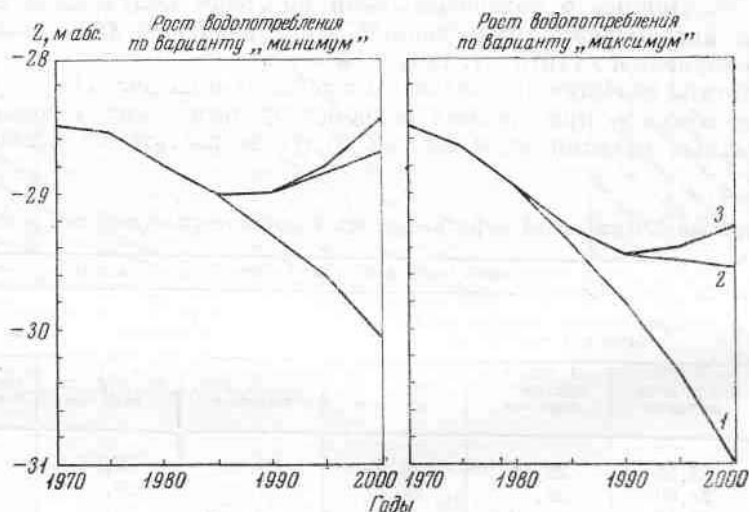


Рис. 71. Прогноз уровней Каспийского моря в средних гидрометеорологических условиях

1 — дополнительное питание не осуществляется; 2 — дополнительное питание по варианту «а»; 3 — дополнительное питание по варианту «б»

рост площади орошаемых земель в Заволжье ограничивается величиной 1,5—1,8 млн. га. Прогноз уровня Каспийского моря при указанных схемах дополнительного питания (в средних гидрометеорологических условиях) показывает, что при приросте водопотребления по варианту «минимум» к 1980 г. следует ожидать снижения уровня примерно до отметки минус 29 м, а затем — некоторого повышения его (на 0,3—0,5 м). При развитии водопотребления по варианту «максимум» к 1990 г. следует ожидать снижения уровня примерно на 1 м, а затем — его относительной стабилизации.

В зависимости от водности предстоящего расчетного периода, а также климатических условий, отметки уровня моря могут существенно отличаться от приведенных выше значений.

Соответствующие расчеты выполнены по следующей методике.

1. Заимоделированы 50 тридцатилетних рядов годовых объемов притока и высот слоя видимого испарения (50 реализаций).

2. По каждой реализации балансовым методом выполнен расчет уровня моря применительно к намечаемому графику изъятий воды из рек бассейна и тому или иному составу компенсационных мероприятий.

Совместное рассмотрение результатов расчета по всем реализациям позволяет получить представление о вероятной амплитуде колебаний уровня моря на каждый год прогнозируемого периода и календарный график хода уровня в средних условиях притока и испарения.

Полученные значения отметок уровня моря для средних гидрометеорологических условий практически совпадают с результатами расчетов по формуле 3, что подтверждает возможность использования ее для приближенных расчетов. В дополнение к этим данным получены характеристики вероятного отклонения результатов при различных сочетаниях водности и интенсивности испарения в предстоящем периоде. Вероятное отклонение от средних условий практически не зависит от масштабов роста водопотребления и применяемых мероприятий по оптимизации водного баланса Каспия. Амплитуда вероятных отклонений уровня моря от значений, отвечающих средним природным условиям, к 2000 г. достигнет 2–2,5 м (плюс-минус 1–1,2 м относительно прогнозируемого значения) — см. рис. 72.

Близкие результаты дает применение методики Крицкого и Менкеля (1964), в основе которой лежит построение безусловных и условных кривых обеспеченности наполнения водоема.

Совокупность полученных данных указывает на срочность осуществления мероприятий по подаче дополнительного питания в Каспийское море, если темпы роста водопотребления будут близкими к принятым в приведенных выше расчетах.

Следует отметить, что дополнительное питание Каспийского моря, повышая уровень его тяготения, практически не уменьшит размаха колебаний уровня, связанных с естественной неравномерностью притока в море и испарения с его поверхности.

Амплитуда вероятных колебаний уровня практически не изменяется при осуществлении любого из рассмотренных мероприятий по поддержанию уровня моря (или их комбинации). Задача амортизации колебаний не решается ни переброской в Волгу постоянного из года в год объема воды, ни уменьшением площади испаряющей поверхности Каспия. Эти мероприятия позволяют лишь уменьшить или предотвратить процесс снижения уровня моря, обусловленный ростом водопотребления в бассейне.

В связи с требованиями, предъявляемыми рядом отраслей народного хозяйства, стоит задача уменьшения амплитуды колебания уровня моря. Естественно возникает вопрос о «компенсированном регулировании» уровня моря путем подачи в него переменного количества воды в зависимости от степени наполнения моря. Принципиальная схема питания моря при этом такова: при отметках выше уровня тяготения вода

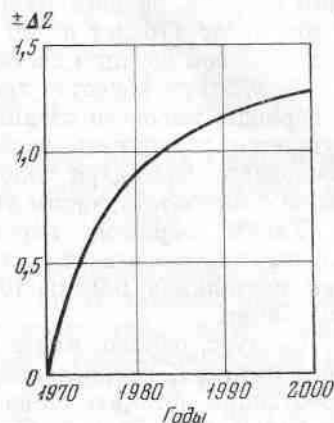


Рис. 72. Вероятные отклонения уровня моря от значений, соответствующих средним природным условиям

не подается; при отметках ниже уровня тяготения подается тем большее количество воды, чем ниже уровень моря.

Для предварительной оценки эффективности переменного питания моря рассчитан 1000-летний ряд уровней моря применительно к его естественному режиму с отметкой уровня тяготения $-26,5$ м абс. Принимается, что при стоянии уровня моря на отметках выше $26,75$ переброска стока в его бассейн не осуществляется; при отметках от $-26,75$ до $-27,25$ м абс. в бассейн моря дополнительно подается 20 км³/год и при отметках моря ниже $-27,25$ м абс. — 40 км³/год. В течение расчетного периода, равного 1000 лет, дотацию придется осуществлять 204 года, в том числе 176 лет по 20 км³/год и 28 лет по 40 км³/год; средняя величина годовой дотации составит $4,6$ км³/год.

Результаты расчетов графически представлены на рис. 67. Видно, что в периоды высокого стояния уровня моря ход его практически мало нарушается дотациями, наоборот, в периоды низкого уровня, положение последнего, благодаря дополнительному питанию, оказывается на $1-1,5$ м выше с соответствующим уменьшением амплитуды колебаний.

Таким образом, переменное питание, составляющее в среднем $4,6$ км³/год, оказывает такое же влияние на повышение низких уровней, как постоянная подача $10-15$ км³/год, но при меньшей амплитуде их колебания.

Следует, однако, иметь в виду, что периоды, требующие дополнительного питания, распределены во времени весьма неравномерно. Периоды, требующие дотацию стока, могут растягиваться на десятилетия. В приведенном расчете они дважды продолжались от 20 до 30 лет и шесть раз — от 10 до 20 лет. При разбивке расчетного тысячелетнего периода на пятидесятилетние отрезки, характеристики их по условиям дополнительного питания оказались резко различными.

Однако лишь в одном случае из двадцати рассмотренных требуется примерно та же подача воды ($16,8$ км³/год), которая при постоянном питании обеспечивает повышение низких уровней на $1,5$ м. Во всех остальных случаях средняя дотация за тридцатилетие в $2-3$ раза меньше.

Аналогичные результаты получены при компенсированной схеме питания Каспия в условиях притока, пониженного на 30 км³/год (современный объем изъятий), при отметке уровня тяготения, равной $-28,5$ м.

Рассмотренная схема компенсированного регулирования, по-видимому, не является оптимальной и может быть усовершенствована. Однако результаты выполненных расчетов позволяют уже на данном этапе прийти к следующему заключению:

а) при компенсированном питании моря амплитуда колебания его уровня может быть существенно сокращена благодаря повышению низких уровней воды;

б) эффективность перебрасываемого стока для предотвращения нежелательных низких уровней при этом существенно выше, чем при постоянном питании;

в) уменьшение общего объема воды, необходимого для поддержания уровня моря, имеет важное значение, позволяя добиться оптимизации уровня режима моря при меньшем вмешательстве в режим источников переброски, что особенно существенно для таких источников питания, как озера, для которых в ряде случаев основным критерием является среднегодовая величина изымаемой воды.

В соответствии с изложенным в дальнейшем необходимо более глубоко исследовать эффективность компенсированного регулирования моря. Для принятия конкретных решений следует рассмотреть влияние компенсированного регулирования в условиях предполагаемого роста водопотребления, с учетом конкретных возможностей ввода источников питания (сро-

ки и объем конкретных мероприятий). Должна быть разработана оптимальная схема подачи воды в море — своего рода диспетчерский график управления его режимом в зависимости от положения уровня.

* * *

1. Уровень Каспийского моря испытывает колебания, обусловленные естественной изменчивостью притока в море и испарения с его поверхности. При современных климатических условиях амплитуда колебаний моря составляет около 3 м.

Отсутствие достоверных методов долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов стока и испарения предопределяет невозможность на данном этапе календарного прогноза уровня моря. Прогноз этот может иметь только вероятностный характер — оценка вероятного положения уровня и возможных отклонений от него.

2. В результате изъятий стока из рек бассейна Каспия средний его уровень (уровень тяготения) снизился по сравнению с естественными условиями примерно на 2 м и располагается на отметках около минус 28,5 м — современное стояние моря.

3. Увеличение водопотребления в бассейне рек Каспийского моря (в первую очередь на орошение) и возникающая необходимость переброски воды из Волги на юг и юго-запад обуславливают тенденцию к дальнейшему снижению уровня моря. Режим уровней Каспийского моря затрагивает интересы ряда отраслей народного хозяйства, в первую очередь — рыбного хозяйства; снижение уровней моря более чем на 1 м относительно современного положения нанесет тяжелый ущерб рыбному стаду. К 2000 г. в средних гидрометеорологических условиях при интенсивном росте водопотребления снижение уровня моря (в зависимости от темпов развития водопотребления) может достигнуть 2—2,5 м по сравнению с его современным положением. При неблагоприятных природных условиях в рассматриваемый период снижение уровня может оказаться еще большим — на 1—1,2 м.

4. При безотлагательном осуществлении мероприятий по пополнению водных ресурсов Каспия и сокращению испарения с его поверхности можно в значительной мере предотвратить дальнейшее снижение его уровня и тем самым избежать тяжелых последствий для народного хозяйства страны. По предварительным данным, реально ограничить дальнейшее снижение уровня Каспийского моря величинами порядка 0,8—1 м.

Выбор и очередность осуществления мероприятий по оптимизации водного баланса Каспия и его уровня подлежат уточнению при проектировании.

5. Намечаемая переброска стока северных рек в бассейн Каспия предназначена для поддержания уровня тяготения моря; естественные колебания уровня относительно этого положения практически сохраняются. В целях стабилизации уровня моря (сокращения амплитуды колебаний) следует рассмотреть в дальнейшем схему компенсированного питания моря, которая, по предварительным данным, явится весьма эффективной и уменьшит потребность в воде. Последнее особенно важно для озер, привлекаемых в качестве источников питания Каспия.

6. При дальнейшем исследовании проблемы необходимо обратить серьезное внимание на уточнение элементов водного баланса: потерь на испарение в дельте Волги, режима поступления воды в залив Кара-Богаз-Гол, режима подземного стока в Каспий.

7. Особое внимание следует уделить исследованию влияния изъятий воды из предполагаемых источников питания Каспия на изменение природных условий в прилегающих к нему территориях, с тем чтобы свести к минимуму неблагоприятные последствия от намечаемых мероприятий.

О водном режиме р. Урал и его преобразовании

Несмотря на несопоставимо малую водность Урала по сравнению с Волгой, он играл и продолжает играть важную роль в жизни Северного Каспия. Главное значение его заключается в том, что он впадает в Каспий на востоке и опресняет восточную его зону. Средняя соленость Северного Каспия, несомненно, всегда зависела от Волги, но Урал создавал сильно опресненную зону в наиболее мелководной северо-восточной части Северного Каспия на площади около 25 тыс. км², создавая благоприятные условия формирования биологической продукции на всех трофических уровнях, от первичной продукции до рыбы.

Особенности р. Урал — резкие колебания стока от года к году и еще более значительные сезонные колебания — в какой-то мере снижали его рыбохозяйственное значение, но не существенно. Амплитуда колебания объемов стока в створе водомерного поста Кушум изменялась по годам в 10 раз (от 24,6 км³ в 1957 г. до 2,6 км³ в 1967 г.). По внутригодовому распределению стока Урал относится к казахстанскому типу рек. В верховьях питание Урала и главного притока его Сакмары происходит за счет дождей и снега, в среднем течении питание преимущественно снеговое (рис. 73). Большая часть стока приходится на весну (март-апрель); сток лета составляет около 10%, а зимой всего лишь 1—3% годового стока. Максимальный суточный расход в створе Кушум достигал за период наблюдений 11 900 м³/сек., минимальный всего 14 м³/сек. Урал был силен во взаимодействии с Волгой, оба района — Волго-Каспийский и Урало-Каспийский — представляли единое целое. Рыбные запасы обеих рек не были изолированы. Богатые пастбища между Волгой и Уралом использовались рыбами и уральского и волжского происхождения.

После снижения уровня моря и резкого сокращения стока Волги через восточные рукава дельты резко ухудшились условия водообмена между западной и восточной частями Северного Каспия; оба района потеряли взаимосвязь. В многоводные годы Урал создает вполне благоприятные условия жизни в восточной зоне моря, но в маловодные высокая соленость со стороны Мертвого сора и прилегающих мелководий достигает устья Урала, создавая летальные условия не только для бентоса, но и для молоди полупроходных рыб.

Около половины нерестилиц осетровых в Урале относятся к категории затопляемых, поэтому в маловодные годы площадь нерестилиц сокращается примерно в половину.

При малых расходах воды пойменная система в районе с. Тополи не затопляется, урожай молоди полупроходных рыб резко снижается. Поступление волжской молоди в Приуральский район, благодаря повышенной солености между Волгой и Уралом, в данное время исключено.

Водоразбор из р. Урал по абсолютным значениям невелик, около 1,5 км³ в год, но по отношению к стоку он максимален для всех рек бассейна. В маловодные годы водоразбор может достигать уже половины годового стока р. Урал.

В плане большой мелиорации Каспийского моря преобразование стока р. Урал нельзя рассматривать как локальную проблему хотя бы уже потому, что наибольшие перспективы повышения биологической продукции имеются в восточной части Северного Каспия.

Первая задача сводится к тому, чтобы увеличить расход воды в Урале зимой ниже г. Уральска для улучшения зимовки осетровых. До постройки канала Волга—Урал на всем его протяжении, что, по-видимому, будет осуществлено только в самом конце нашего столетия, решить эту задачу можно только сработкой зимой вод Ириклинского водохранилища. Всякая другая мера, включая постройку Галицинского водохранилища,

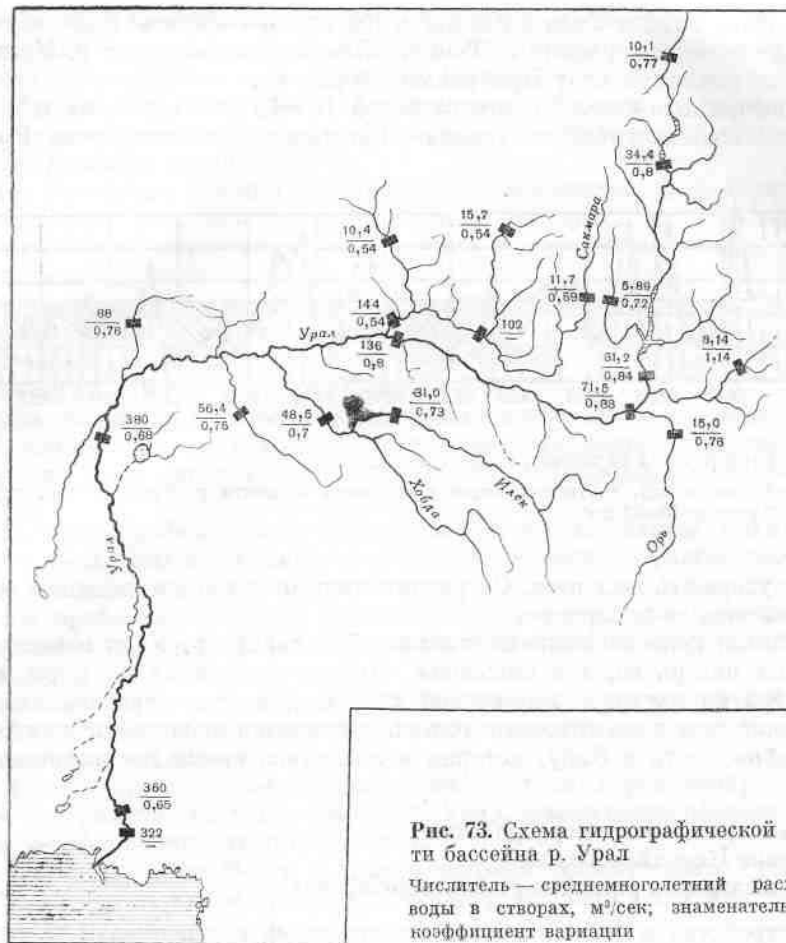


Рис. 73. Схема гидрографической сети бассейна р. Урал

Числитель — среднемноголетний расход воды в створах, м³/сек; знаменатель — коэффициент вариации

проблемы не решит, так как пополнение вод Урала в этом районе насущно необходимо буквально сегодня.

Увеличение стока р. Урал в рыбохозяйственных целях представляется при сооружении канала Волга—Урал относительно простым.

Все рыбохозяйственные проблемы Урала решаются при компенсационном питании с таким расчетом, чтобы минимальный годовой сток не был бы ниже 8—10 км³ (рис. 74). Средняя годовая добавка воды в Урал из Волги будет составлять при этом около 3—5 км³, использование волжского стока следует осуществить на базе первой очереди канала — Волга — Большой Узень. При небольшой расчистке русел Большого и Малого Узеня воды дойдут самотеком в район Камыш-Самарских озер, в районе которых должно быть создано водохранилище. Трудность его устройства в условиях равнинной местности очевидна, но оно может быть неглубоким, принимая во внимание, что практически весь объем воды (3—5 км³) будет использоваться весной до интенсивного испарения. Из района Камыш-Самарских озер, судя по отметкам высот, воды самотеком смогут дойти до с. Калмыкова или даже несколько севернее, т. е. в 350—400 км севернее г. Гурьева.

Ниже с. Калмыково находится около третьей части всех нерестилищ осетровых р. Урал — около 650 га, из них русловых более 350 га и затопляемых около 300 га. Площадь нерестилищ с преобладанием гальки составляет ниже Калмыкова около 200 га. Таким образом, в зоне р. Урал, в которой будет резко повышена водность, площадь нерестилищ приближается к площади нерестилищ Волги ниже Волгограда.

Добавка воды в Урал в районе с. Колмыково обеспечит затопление пойменной системы в районе с. Тополи. Повышение водности р. Урал резко улучшит кормовую базу Приуральяского района.

Многоводные годы со стоком более $16-18 \text{ км}^3$ приводят к большим потерям воды в итоге испарения. При таких расходах русло Урала не

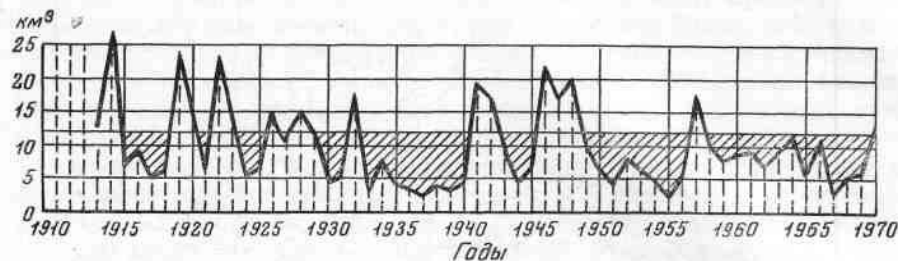


Рис. 74. Сток р. Урал за период 1913—1970 гг.

Проведены две линии, соответствующие увеличению водности р. Урал за счет переброски стока из Волги до $10-12 \text{ км}^3$

может удержать весь сток. Он разливается по старицам, вызывая большое дополнительное испарение.

Видимо, целесообразно локальное обвалование р. Урал в местах наибольших потерь воды в половодье. Лучше довести их до моря, нежели безвозвратно потерять без всякой пользы для всех отраслей хозяйства. Возможно, что в многоводные годы представится целесообразным $1-2 \text{ км}^3$ воды сбрасывать в Эмбу, которая в последнее время не достигает моря.

Главные принципы водоустройства в бассейне Каспийского моря, обеспечивающего развитие рыбного хозяйства

Водоустройство в бассейне Каспийского моря, обеспечивающее развитие рыбного хозяйства, должно входить в общую систему преобразования природы, являющуюся основой рационального использования природных ресурсов, развития производительных сил и состояния среды существования человека в бассейне Каспийского моря и всей его водосборной площади.

Улучшение водного баланса Волги путем переброски части стока северных рек должно решить одновременно вопросы создания уникального в стране рыбного хозяйства и повышения сельскохозяйственной продукции. Основной смысл улучшения водного баланса Волги следует видеть в повышении эффективности ассимиляции солнечной энергии экосистемами суши и воды.

Количество воды, поступающей в Каспийское море, должно сохранить его современный уровень. Повышение уровня для рыбного хозяйства более желательно, чем любое его снижение. Чтобы уменьшить испарение Каспия, допустимо отчленив его восточные малопродуктивные мелководья, примыкающие к Мертвому Сору.

Отчленение мелководий окажется мерой, экономически весьма выгодной, даже если затраты на единицу объема сэкономленной воды будут достигать уровня затрат на переброску вод из северных рек, так как соответствующие объемы воды будут сохранены в балансе страны.

Приток речных вод в Каспий должен быть продуман так, чтобы обеспечить хорошее смешение пресных вод с солоноватыми, исключая возможность образования высоких градиентов солености, препятствующих расселению рыб и образованию солевой стратификации, приводящей к заморным явлениям.

Решение этой проблемы в значительной мере осуществляется отведением волжских вод к востоку с помощью вододелителя и увеличением питания Урала в маловодные годы по каналу Волга — Урал.

Для обеспечения нормального формирования биологической продукции желательно увеличение стока Волги до начала вегетационного периода и сокращение зимой.

Рыбное хозяйство должно многократно использовать сток Волги на пути его в море, развивая товарные хозяйства, рационально используя заливаемые полон, стремясь к повышению продуктивности естественных перестилей.

При проработках развития рыбного хозяйства следует использовать минимальные площади земель и максимальные — акватории воды (западные подстенные ильмени, участки Ахтубинской поймы, Аграханский залив, Кызылагачский залив и другие водоемы).

В целях более эффективного использования речного стока малых рек целесообразно создавать в их низовьях буферные сильно опресненные водоемы типа Аграханского залива для молоди полупроходных и проходных рыб.

При прорытии рыбоходных каналов для обеспечения захода рыб в дельту должно учитываться не менее важное их значение в расселении молоди и размещении ее на пастбищах.

Важной проблемой является направленное формирование дельты учитывая ее огромные размеры и неполноценность для экосистем суши и воды.

При переброске стока северных рек должны быть проверены возможности удлинения периода половодья за счет добегания северных вод в Волжские водохранилища.

При разработке схем переброски стока сибирских рек следует планировать поступление их через Эмбу или Урал. Увеличение расхода воды в Атреке не даст значительного эффекта.

Переброска воды из Волги в Дон и Кубань может быть решена совместно с поступлением речных вод северных рек в бассейн Волги.