
К ПРОБЛЕМЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОРСКИХ МЕЛКОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ

М.Ш.Розенгурт, Д.М.Толмазин, Б.Л.Лагутин

Проблема рационального использования водных ресурсов суши приобретает в настоящее время первостепенное значение, в связи с нехваткой пресной воды для нужд сельского хозяйства и промышленности. Создание водохранилищ часто приводит к затоплению большого количества плодородных земель. Непосредственное изъятие речного стока на орошение приводит к засолению лиманов и других мелководных бассейнов, вследствие пополнения создающегося дефицита водами высокой солености, что создает угрозу для нерестилищ рыбы и всего рыбного промысла.

Поэтому возникает проблема сохранения солевого состава вод, в частности в Днестровском лимане и Азовском море, при условии частичного изъятия стока из выдающих в них рек, путем регулирования водообмена Днестровского лимана и Азовского моря с Черным.

Наиболее полные расчеты водообмена через зарегулированный посредством дамбы с проходным отверстием Керченский пролив были проведены в Государственном океанографическом институте Б.Л.Лагутиным и Д.М. Толмазиным в 1964 г. В дальнейшем М.Ш. Розенгуртом произведены оценки возможного осолонения Днестровского лимана при изменении стока Днестра. Как продолжение этих исследований здесь указаны расчеты водообмена лимана с морем в зависимости от рельефа дна, уровня и ветра над лиманом, а также рассмотрен ряд мер по регулированию водообмена.

В основу расчета водообмена положен метод, разработанный на основании теории течений в мелководном проливе [1, 2]. Теория течений в проливах базируется на предположении об однородности жид-

кости в вертикальном направлении и малости нелинейных членов. Изменение ширины пролива /лимана/ учитывается введением в уравнение члена, характеризующего горизонтальный обмен количеством движений. На дне соблюдаются условия прилипания. Движущими силами является продольный градиент давления, вызванный перепадом уровня, и тангенциальное напряжение ветра.

Запишем основные расчетные формулы, выведенные из исходных уравнений движения и неразрывности:

$$u = \frac{T}{\rho ch} \left(1 - \frac{1}{ch\lambda h}\right) + \frac{1}{\lambda h} \cdot \frac{g}{z} (th\lambda h - \lambda h) \frac{d\xi}{dx}, \quad /1/$$

$$\xi = \xi_1 + \frac{1}{c} \int \frac{\lambda v dx}{b(th\lambda h - \lambda h)} - \frac{T}{g\rho} \int \frac{\lambda(1 - \frac{1}{ch\lambda h})}{th\lambda h - \lambda h} dx. \quad /2/$$

Здесь u - средняя по сечению скорость течения; ξ - превышение уровня над невозмущенной поверхностью / $z = 0$ /; h - глубина; b - ширина лимана; ρ - плотность воды / $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ /; g - ускорение силы тяжести; c - интегральная постоянная;

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho v}{\mu}}.$$

Тангенциальное напряжение ветра T определяется по формуле $T = \gamma w |w|$, где $\gamma = 3,25 \cdot 10^{-6} \text{ г/см}^3$, w - скорость продольной составляющей ветра вдоль оси x .

В уравнениях /1/ и /2/ входят коэффициенты горизонтального и вертикального трения μ , определяемые эмпирически. Коэффициент определен в зависимости от ширины пролива в работе Б.Л. Лагутина и Д.М. Толмазина. Коэффициент μ находился из эмпирического соотношения Суда /3/

$$\mu = A + 2,6 \cdot 10^{-1} u^1 + 3,2^{-2} u^2. \quad /3/$$

Заметим, что эта зависимость хорошо согласуется с наблюдаемыми и вычислительными скоростями, если удачно подобрать начальное значение A /для лимана $A = 7,5$, для Керченского пролива $A = 26$ /. Подставляя $\frac{d\xi}{dx}$ из выражения /2/ в /1/, получаем среднюю скорость по сечению

$$U = \frac{\xi}{chb}. \quad /4/$$

Подставляя найденное выражение U в формулу /3/, находим уравнение для определения коэффициента вертикального трения

$$\mu = A + \frac{260}{chb} + \frac{3200}{c^2 h^2 b^2}. \quad /5/$$

Таким образом, метод расчета складывается из следующих этапов. Изучаемый район лимана /пролива/, где имеются наблюдения над уровнем, схематизирован в виде участков /рис. 1/ с относительно одинаковыми морфологическими характеристиками /глубиной и ши-

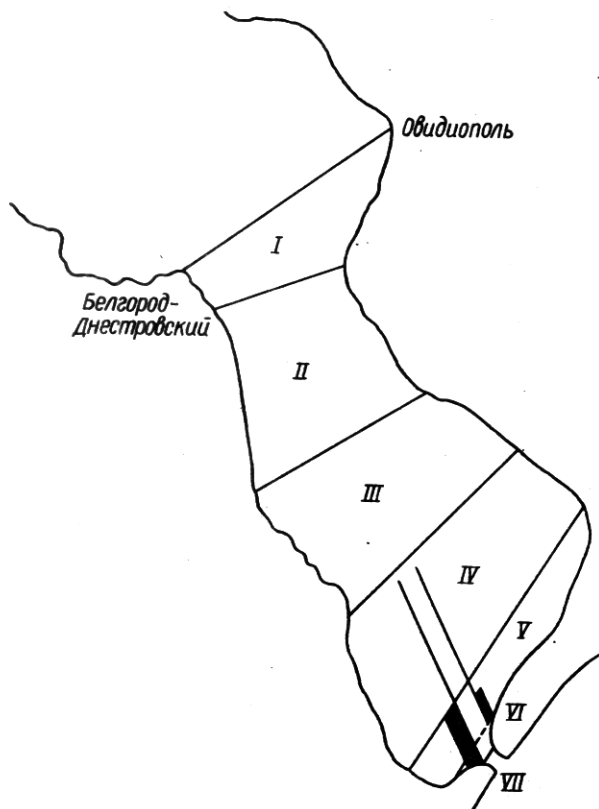


Рис. 1. Схема разбивки лимана на участки и размещение каналов.

риной/. По средним значениям глубины и ширины участков вычисляется уровень и течения /расход/. Для каждого района лимана из урав-

нения /5/ находились значения коэффициента μ , которые позволяют рассчитать перепад уровня по формуле

$$\Delta \xi_i = \frac{\lambda v \Delta x}{c b (\operatorname{th} \lambda h - \lambda h)} - \frac{T \lambda}{\varepsilon \rho} \frac{(1 - \frac{1}{c b \lambda h})}{\operatorname{th} \lambda h - \lambda h} \Delta x, \quad /6/$$

где i - номер участка. Затем по формуле /1/ определяется скорость в расчетном створе в зависимости от разности уровней.

По расчетным данным U и $\Delta \xi$ построена номограмма зависимости средней скорости течения от разности уровней в/п Белгород-Днестровский - море при продольных ветрах /рис. 2/. За положитель-

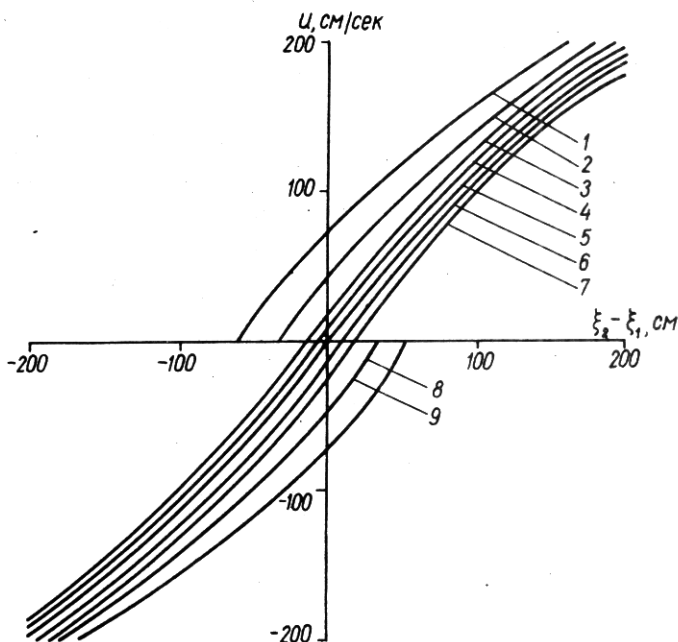
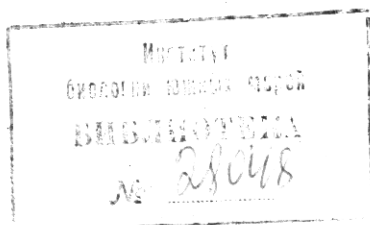


Рис.2. Номограмма зависимостей средней скорости течения от разности уровней в/п Белгород-Днестровский - море при продольных ветрах разных направлений: 1 - 10 м/сек; 2 - 7,5 м/сек; 3 - 5 м/сек; 4 - 2,5 м/сек; 5 - 0 м/сек; 6 - 2,5 м/сек; 7 - 5 м/сек; 8 - 7,5 м/сек; 9 - 10 м/сек.



ное принято направление ветра по оси x из лимана в море. Примечательно, что с увеличением разности уровня вклад ветра уменьшается, кривые приближаются к центральной кривой, отражающей зависимость скорости течений от уровня при отсутствии ветра. Это подтверждается непосредственными наблюдениями. При значительном перепаде уровня /в период интенсивного речного стока/ роль ветра невелика.

Изложенный метод можно применять для расчета течений и водообмена при наличии гидротехнических сооружений в лимане, затрудняющих водообмен, что необходимо для предотвращения осолонения лимана при уменьшении речного стока или для опреснения лимана при существующем стоке.

Исследования в Керченском проливе показали, что при искусственном регулировании водообмена наибольшего эффекта следует ожидать при частичном перекрытии пролива дамбой с длинным проходным каналом, сохраняющим условия судоходства и миграции рыб. К конструкции дамбы /форме в плане и параметрам/ предъявлялись следующие требования: 1/ дамба должна уменьшать водообмен через пролив на заранее заданную величину /в 3-4 раза/, 2/ максимально возможные и средние скорости течений в проходном канале должны быть такими, чтобы судоходство и миграция рыб не были нарушены. Кроме того, при найденной рациональной форме дамбы необходимо указать такую ширину проходного канала, которая при данном изъятии пресного стока рек способна поддерживать существующий режим солености Азовского моря.

Расчеты уровня и скоростей течений позволили определить регулирующий эффект одной или нескольких дамб в проливе /рис. 3/. Первоначально было оценено влияние дамбы с отверстием шириной $b = 0,5$ км и длиной проходного канала $B = 0,5$ км, причем полагается, что дамба перегораживает пролив по линии п. Крым - п. Кавказ /Северная узость/. При таком стеснении пролива водообмен уменьшается всего в 1,5 раза, в то время как максимально возможные скорости течения в проходном канале велики /до 400 см/сек/.

Этот результат не намного улучшается при наличии в проливе двух дамб с указанными параметрами: одна в Северной узости, другая на линии Ахиллеон - Хрони. В этом случае водообмен уменьшается в 2,1 раза, а оптимальная скорость течения в узости все еще велика /240 см/сек/.

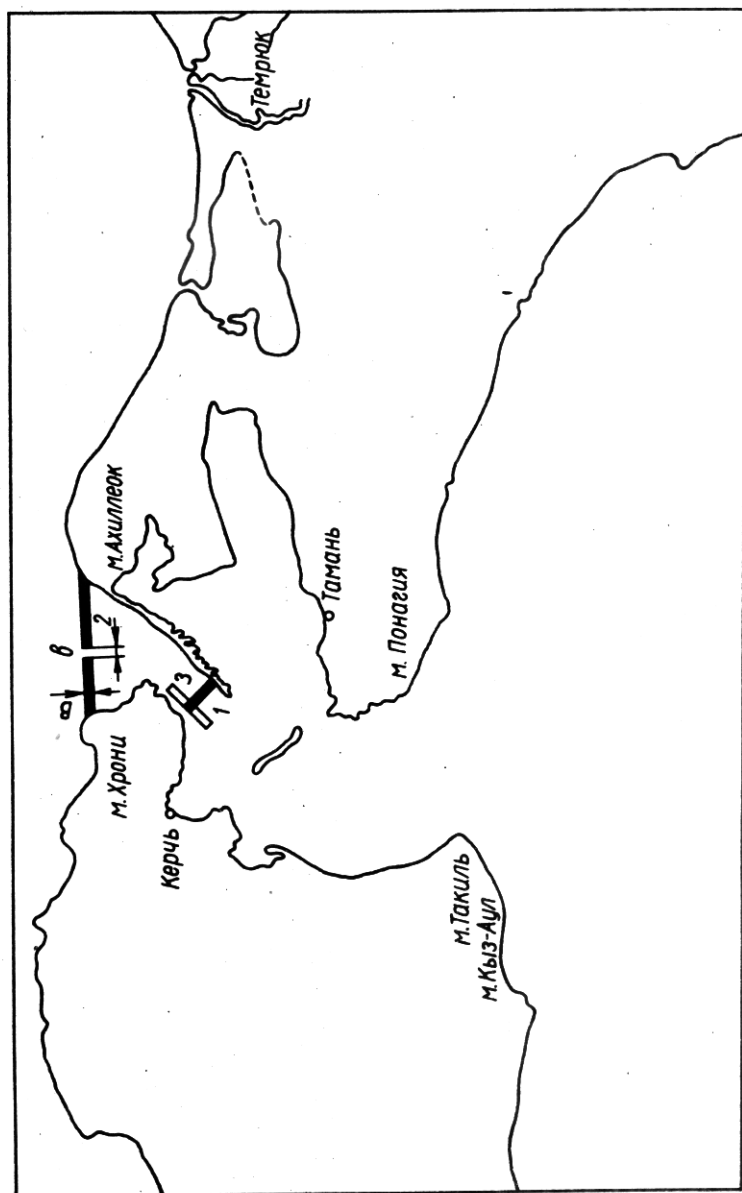


Рис. 3. Схема размещения дамб в Керченском проливе:

1 и 2 - "прямые" дамбы с параметрами $B = 0,5$ км и $b = 0,5$ км;

3 - Т-образная дамба с параметрами $B = 4$ км и $b = 0,5$ км.

Значительно эффективнее оказались дамбы с удлиненным проходным каналом /Т-образной формы/. Такая дамба с шириной проходного канала 0,5 км и длиной 4 км уменьшает водообмен более чем в 4 раза. В то же время максимально возможная средняя скорость течения по вертикали, действующего один раз в шестилетие, будет иметь значение, близкое к 140 см/сек. Такой результат позволяет считать Т-образную дамбу наиболее эффективным водостеснительным сооружением.

Предложенная теоретическая схема позволила достаточно определенно ответить на последний вопрос, выдвинутый практикой: какую ширину должен иметь проходной канал Т-образной дамбы для обеспечения современного уровня солености при изъятии 13,1 км³ пресного стока рек Дона и Кубани. Расчеты показали, что эта ширина должна равняться 0,6 - 0,9 км при длине канала 4 км. Постройка такого сооружения поможет предотвратить катастрофическое уменьшение рыбных запасов Азовского моря, которое может произойти после увеличения солености.

В Днестровском лимане, по-видимому, нецелесообразно частичное, а тем более полное перекрытие Цареградского устья даже при 50-75% заборе стока р. Днестр для орошения земель юга Молдавии и Украины. Перекрытие устья /пролива/ несомненно привело бы к затоплению ряда сельскохозяйственных, курортных и промышленных зон низменного правого берега лимана.

Здесь рациональнее регулировать водообмен с помощью канала, встроенного в акваторию лимана /см. рис. 1/. Водообмен лимана с морем в этом случае будет меняться /как и для Керченского пролива/ в зависимости от длины и ширины канала. Полагая ширину канала постоянной /300 м/, рассмотрим изменение водообмена в зависимости только от разности уровней. Нами проведены расчеты для каналов длиной 1 и 4 км, расположенных на участке 6, результаты которых представлены на рис. 4. Нетрудно видеть, что канал длиной 4 км сильно регулирует водообмен. При одной и той же разности уровней расход уменьшается почти вдвое.

Из сказанного можно сделать следующие выводы. Водообмен между лиманом и морем может быть рассчитан с помощью теоретических зависимостей между скоростью течения, перепадом уровней и ветром. Используя эти методы, можно прогнозировать водообмен при наличии водостеснительных сооружений. Из расчетов видно, что длинный про-

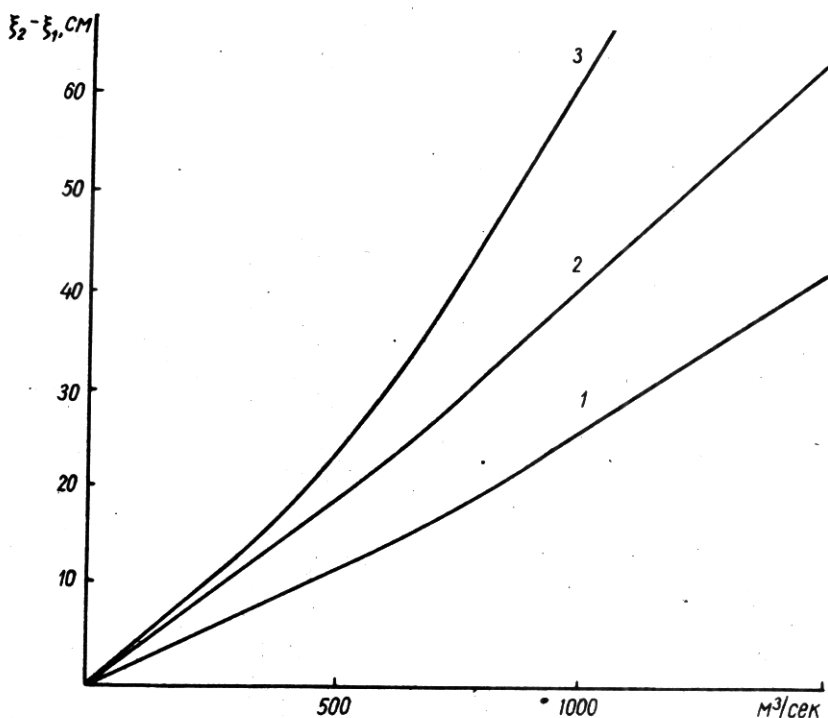


Рис. 4. Зависимость секундного расхода от разности уровней в естественном лимане /1/ и при зарегулировании его каналами длиной 1 км /2/ и 4 км /3/.

ходной канал значительно уменьшает водообмен лимана с морем и позволяет сохранить значения солености лиманной воды в пределах существующей нормы, а также увеличивает транспортную ценность этого далеко вдающегося в сушу водоема.

Л и т е р а т у р а

1. Лагутин Б.Л. - Метеорология и гидрология, 1965, № 4.
2. Толмазин Д.М. - Тр. ГОИНа, 1965, 85.
3. Suda K. - Geophys. Mag., 1936, 10.