

Е.Д.Гопченко*, Ю.С.Тучковенко**

Одесский государственный экологический университет, г.Одесса**Одесский филиал Института биологии южных морей НАН Украины, г.Одесса*

СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА ТУЗЛОВСКИХ ЛИМАНОВ

Приведены результаты сценарного моделирования водно-солевого режима Тузловских лиманов северо-западной части Черного моря, выполненного с целью разработки научно-обоснованных рекомендаций, направленных на рациональное и комплексное использование их природных ресурсов и повышение рыбопродуктивности.

Тузловская группа лиманно-лагунов, расположенная в центральной части Дунай-Днестровского междуречья, относится к типу мелководных, периодически открытых водоемов. В ее составе выделяют три основных лимана: Шаганы, Алибей, Бурнас и ряд более мелких (рис.1 – 2). Водоем отделен от прилегающей акватории моря песчаной косой-пересыпью, которая может частично размываться весной и осенью, в период сильных штормов. Например, по свидетельству [1], в марте 1970 г. во время шторма образовалось около 15 прорв на протяжении 25 км участка этой пересыпи. Кроме того, для нужд рыболовства в пересыпи создаются искусственные, периодически открываемые каналы, число которых может меняться. Так, в конце XIX – начале XX вв. для нужд кефалеводства был прорыт канал в юго-западной части лимана Шаганы. В послевоенное время на пересыпи было три канала [1], а в 1995 г. – два [2]. Эти каналы открываются только весной (для выпуска мальков кефали из моря в водоем) и осенью (для отлова кефали в каналах при выходе ее из лиманов в море).

По свидетельству [3], при отсутствии водообмена с морем лиманы быстро мелеют и для полного их пересыхания достаточно 3 – 4 лет. Известно, что в XIX в. соленость воды в лиманах достигала 200 ‰ и производилась добыча соли. При катастрофическом падении уровня в 1868 – 1869 гг. Тузловские лиманы превратились в гипергалинные болотные солонцы. Летом 1915 г. соленость их вод составляла 100 – 140 ‰. Лишь после установления стабильной периодической искусственной связи лиманов с морем соленость их вод понизилась до 20 – 40 ‰.

Подробная гидробиологическая и рыбохозяйственная характеристика Тузловских лиманов приведена в [2]. Авторы отмечают, что при достаточно высокой кормовой базе рыб реальная рыбопродуктивность лиманов низка. Объясняется это специфическими природными характеристиками лиманов: мелководностью, изолированностью, высокой соленостью, зимним переохлаждением и летним перегревом (до 27 – 30 °С) воды, – которые плохо подходят для воспроизводства большинства встречающихся в прилегающей акватории моря рыб.

Основным направлением хозяйственного использования группы Тузловских лиманов является управляемое пастбищное рыбоводство, которое

Расчеты показали [4], что в средневодный год в период зимне-осеннего простоя приходная составляющая водного баланса на 39,1 млн. м³ превышает расходную. Поэтому при раскрытии каналов в мае будет наблюдаться выток лиманной воды в море. В период летнего простоя (июнь – сентябрь) испарение с поверхности водоема составляет 81,9 млн. м³, а приток воды за счет выпадения атмосферных осадков (91,1 % от приходной части баланса) и поверхностного стока (6,9 %) – лишь 27,9 млн. м³. Т.е. дефицит воды в лиманах составит 44 млн. м³, что приведет к уменьшению максимальной глубины водоема с 3 до 2,5 м.

В многоводный год приходная часть водного баланса даже в период летнего простоя на 7,5 млн. м³ превышает расходную часть. В результате к концу сентября глубина в лимане возрастет примерно на 0,25 м. За период зимне-весеннего простоя максимальная глубина лимана потенциально может возрасти (если не будет перелива через пересыпь) с 3 до 5 м. Следовательно, при раскрытии каналов весной и осенью будет наблюдаться выток лиманной воды в море.

В маловодные годы потери воды на испарение в 4 раза превышают ее поступление с осадками, а поверхностный сток отсутствует. Поэтому за период с июня по сентябрь объем вод лимана уменьшится на 86 млн. м³, что приведет к уменьшению его максимальной глубины на 0,95 м. С ноября по апрель в лиманы с осадками поступит 13,9 млн. м³ воды, а испарится 24,9 млн. м³, т.е. дефицит воды составит 11,3 млн. м³, что приведет к уменьшению глубин на 0,3 м. Если не проводить раскрытие каналов осенью, то в маловодный год, с июня до конца года глубина водоема уменьшится на 1,1 м, что фактически приведет к отделению лиманов Шаганы, Алибей и Бурнас друг от друга.

Характеристика водообмена лиманов с морем для лет различной водности представлена в табл. 1.

Рассмотрим изменения солености вод лиманов в годы различной водности. Уравнение баланса солей в водоеме записывается следующим образом:

$$\frac{dW_{л}S_{л}}{dt} = Q_{о}S_{о} + Q_{нов}S_{н} \pm Q_{л-м}S_{л,м}, \quad S_{л,м} = \begin{cases} S_{л}, & \text{если } Q_{л-м} < 0 \\ S_{м}, & \text{если } Q_{л-м} > 0 \end{cases}$$

где $S_{л}$, $S_{о}$, $S_{н}$, $S_{м}$ – минерализация вод лиманов, осадков, вод поверхностного стока и морских вод соответственно. При расчетах минерализация атмосферных осадков полагалась равной 0,22 кг·м⁻³, вод поверхностного стока – изменялась в зависимости от его объема – с 3,57 кг·м⁻³ (при $Q_{нов} = 0,1$ млн. м³·мес⁻¹)

Таблица 1. Водообмен $Q_{л-м}$ (млн. м³·мес⁻¹) между лиманами и морем при раскрытии каналов в пересыпи в разные по водности годы.

водность года	период летнего простоя			период зимне-весеннего простоя		
	$W_{нач}$ млн. м ³	$W_{кон}$ млн. м ³	$Q_{л-м}$	$W_{нач}$ млн. м ³	$W_{кон}$ млн. м ³	$Q_{л-м}$
многоводный	195	186	9,0	> 270	186	> 85,0
средневодный	141	186	- 45,3	228	186	47,0
маловодный	92,7	186	- 93,3	178	186	- 9,0

Таблица 2. Соленость вод Тузловских лиманов в различные периоды года при сценарных расчетах.

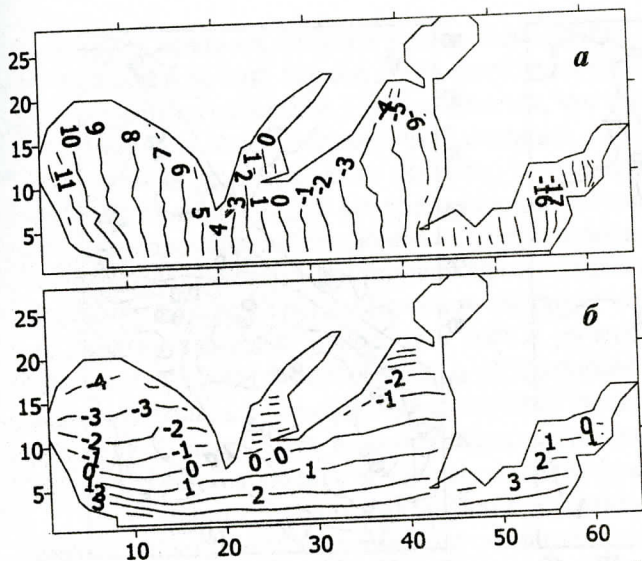
водность года	соленость воды (‰)					
	в море	в лимане				
		начальная	конец апреля – май	сентябрь	октябрь	апрель
многоводный	16,0	26,0	20,2	19,5	19,5	13,8
средневодный	16,0	26,0	22,2	29,4	26,1	21,5
маловодный	16,0	26,0	25,5	51,2	33,6	33,1

до $0,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ (при $Q_{\text{лов}} \geq 50 \text{ млн. м}^3 \cdot \text{мес}^{-1}$). Соленость морских вод принималась постоянной и равной 16 ‰.

Сценарные расчеты солености вод лимана проводились в двух вариантах: с января при начальной солености 26 ‰ и с конца зимне-весеннего простоя для маловодных лет при начальной солености 35 ‰. Результаты расчетов по первому варианту для лет различной водности приведены в табл.2. Расчеты показали, что за период летнего простоя соленость вод лимана может возрасти с 22 до 29 ‰ в средневодный год и с 25,5 до 51 ‰ – в маловодный. Поскольку наиболее опасным для экосистемы исследуемого водоема являются маловодные годы, когда происходит обмеление водоема, повышается соленость его вод и температура в летний период, был рассмотрен сценарий двух последовательных маловодных лет. Полагалось, что в апреле второго маловодного года соленость вод в Тузловских лиманах равна 35 ‰, что согласуется с данными табл.2. Из расчетов следует, что если во второй маловодный год не проводить раскрытия каналов осенью, то к концу апреля следующего года соленость вод лиманов повысится до 60 ‰. Если же в течение второго года совсем не производить раскрытия каналов и наполнения лиманов морской водой, то к декабрю соленость лиманных вод может повыситься до 200 ‰, т.е. до уровня, наблюдаемого в 30-х гг. XIX в. [1].

Таким образом, расчеты водно-солевого баланса группы Тузловских лиманов показали, что исторически сложившийся режим рыбохозяйственного использования водоемов, когда в песчаной пересыпи искусственно создаются несколько каналов, соединяющих лиман с морем, которые открываются весной – для впуска рыбы и летом – для ее отлова, для сохранения современного хозяйственного статуса и экологического состояния водоема является оптимальным и необходимым. По этим каналам происходит искусственное наполнение водоема морской водой, которая способствует относительному «распреснению» вод лиманов осенью и в маловодные годы весной. Простой расчет, с использованием приведенных ранее значений для условий средневодного (т.е. типичного) года показывает, что в период весеннего водообмена с морем из лиманов выводится большее количество солей, чем поступает осенью с морскими водами (870 и 700 т соответственно).

Однако, как отмечалось ранее, при современной схеме рыбо- и водохозяйственного использования Тузловских лиманов их реальная рыбопродуктивность меньше потенциальных возможностей и продолжает снижаться. Поэтому возникает вопрос о реконструкции гидрологического и гидрохи-



Р и с. 3. Ветровые денивеликации уровня в лиманах (в см) при северо-восточном – продольном (а) и северо-западном – поперечном (б) ветрах силой $8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

одной силы амплитуда колебаний отметки уровня воды в море меньше, чем в водоеме. Это различие существенно возрастает при увеличении скорости ветра. Так, при ветре силой $8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ максимальный перекося уровня в лимане может достигать 30 см, в то время как со стороны моря перекося уровня вдоль косы не превышает нескольких сантиметров, а амплитуда колебаний уровня при ветрах различных направлений не превышает 7 см.

Таким образом, расчеты циркуляции вод и денивеликаций водной поверхности при ветрах различных направлений и силы, выполненные с помощью гидродинамической модели, свидетельствуют, что для обеспечения максимального водообмена с морем и обновления вод Тузовского водоема оптимальным является размещение соединительных каналов в северной и южной частях песчаной пересыпи. Между этими точками водоема в 70 – 80 % случаев ветровых ситуаций образуется существенный перекося водной поверхности. Кроме того, условно водоем можно разделить на две части, водообмен между которыми затруднен – это Бурнас и Шаганы – Алибей. В результате в лимане Бурнас наблюдаются максимальные значения солености. Следовательно, чтобы обеспечить водообновление в обеих частях водоема, необходимо иметь соединительный канал в каждой из них.

Для проверки этих логических рассуждений, основанных на расчетах циркуляции вод и ветровых денивеликаций водной поверхности в лиманах, были проверены численные эксперименты с гидродинамической моделью, в которых в качестве пассивного, консервативного трассера вод и показателя эффективности различных управленческих и инженерных решений выступал соленость вод в Тузовских лиманах.

Моделирование водо- и солеобмена Тузовских лиманов с морем выполнялось в период с 1 мая по 30 сентября, при ветровых условиях за 2002 г. по данным ГМП Усть-Дунайск. Скорость и направление ветра задавались с дискретностью 3 часа и усваивались моделью в ходе счета. В крайних точках морской границы с такой же дискретностью задавались возмущения уровня моря, рассчитанные при аналогичных ветровых условиях по модели, адаптированной к акватории прилегающей части Черного моря. Соленость вод на морских границах задавалась однородной и, в соответствии с данными атласа [7], увеличивалась с 12 ‰ в мае до 15 ‰ в сентябре.

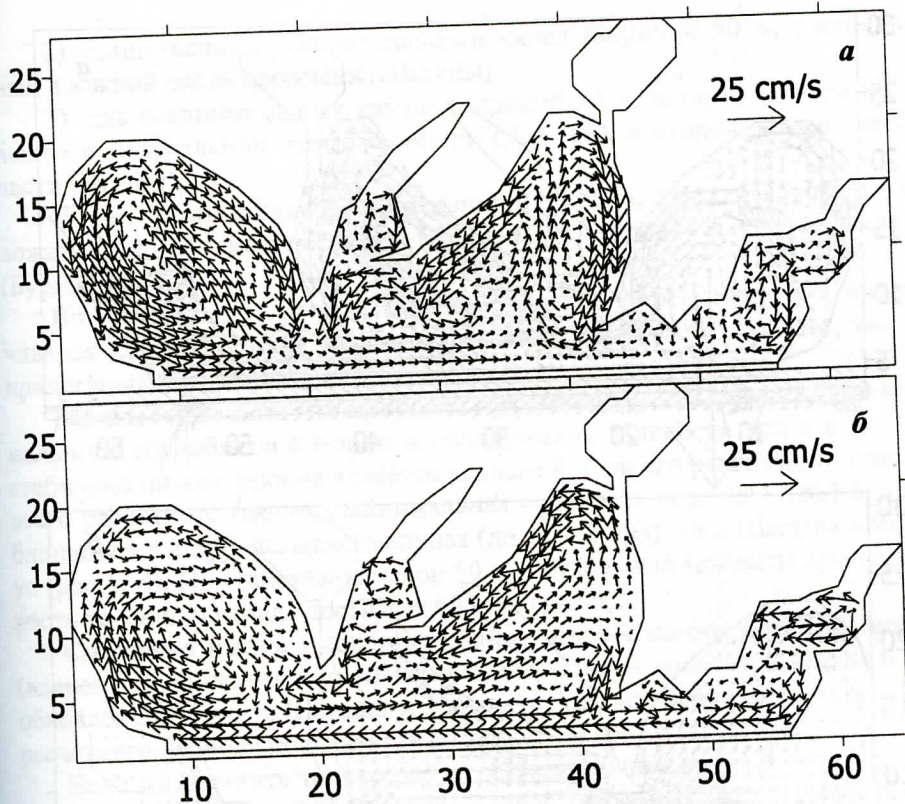


Рис. 4. Поле интегральной по глубине циркуляции вод в Тузовских лиманах при северо-восточном (а) и северо-западном (б) ветрах силой $8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Начальная (в мае) соленость вод в Тузовском водоеме, согласно [1], полагалась равной 21 ‰, ее распределение по пространству водоема однородно.

Первоначально моделировалась динамика вод лиманов и изменчивость их солености с мая по сентябрь при отсутствии водообмена с морем (рис.4). Предполагалось, что за расчетный период максимальная глубина водоема уменьшится за счет испарения на 0,9 м по сравнению с исходной 3,4 м в начале мая, что соответствует ситуации экстремально маловодного года в водно-балансовых расчетах. Расчеты, выполненные с использованием гидродинамической модели, показали (рис.6, а), что при таких условиях минерализация вод к концу сентября повысится на акватории лиманов Шаганы и Алибей до 38,4 – 38,7 ‰, а в лиманах Карачаус и Бурнас – до 43,4 и 43,7 ‰ по сравнению с весенней (21 ‰), когда существует естественный водообмен с морем.

Для оценки эффективности различных вариантов строительства соединительных каналов в песчаной пересыпи, отделяющей Тузовские лиманы от моря, была проведена серия численных экспериментов с моделью, в которых рассчитывалось распределение солености на акватории водоема при наличии искусственно обеспечиваемого нерегулируемого водо- и солеобмена с морем (рис.5). Рассматривались следующие варианты:

1) единственный соединительный канал шириной 50 м, расположенный в северной части пересыпи (Бурнас);

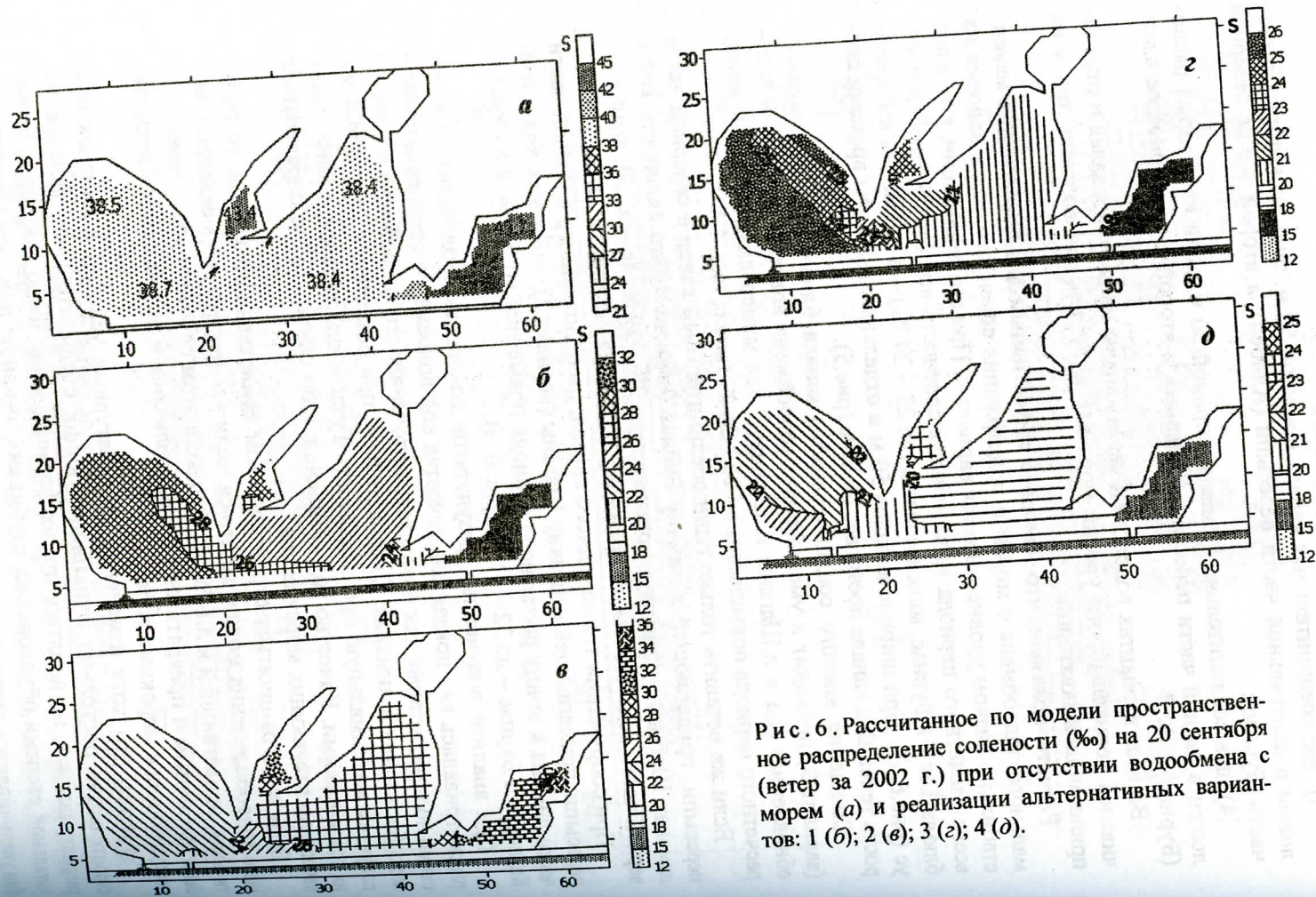


Рис. 6. Рассчитанное по модели пространственное распределение солёности (‰) на 20 сентября (ветер за 2002 г.) при отсутствии водообмена с морем (а) и реализации альтернативных вариантов: 1 (б); 2 (в); 3 (г); 4 (д).

В случае строительства даже одного постоянно функционирующего летом соединительного канала, падения отметки воды в лиманах за счет интенсивного испарения удастся избежать, а, следовательно, уменьшится и летний прогрев их вод.

Выводы. Расчеты водно-солевого баланса группы Тузловских лиманов показали, что исторически сложившийся режим их рыбохозяйственного использования является оптимальным и необходимым для недопущения обмеления, осолонения водоема и деградации его экосистемы. Однако, учитывая, что современная рыбопродуктивность лиманов намного меньше потенциальной и имеет тенденцию к дальнейшему снижению, представляется целесообразным рассмотреть вариант превращения водоема из закрытого типа в открытый, при котором искусственным путем обеспечивается свободный водообмен с морем. При этом гидрологические и гидрохимические характеристики вод лиманов приблизятся к наблюдаемым на прилегающей морской акватории и большее число встречающихся в этом районе моря видов рыб сможет использовать кормовую базу лиманов для воспроизводства.

Результаты численных экспериментов с гидродинамической моделью свидетельствуют, что Тузловская группа лиманов может быть преобразована в открытый морской водоем с высокой степенью водообновления и качеством вод, близким к морскому, путем сооружения в песчаной пересыпи двух каналов шириной 50 м, расположенных на южной (Шаганы) и северной (Бурнас) оконечностях песчаной пересыпи-косы. Анализ ветровой динамики вод и денивелиаций отметок уровня воды в водоеме и на прилегающем участке моря показал, что такое количество и местоположение соединительных каналов является оптимальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Розенгурт М.Ш.* Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов одесских лиманов.— Киев: Наукова думка, 1974.— 217 с.
2. *Старушенко Л.И., Бушув С.Г.* Причерноморские лиманы Одешины и их рыбохозяйственное использование.— Одесса: Астропринт, 2001.— С.32-43.
3. *Лиманно-устьевые комплексы (ЛУК) Причерноморья: географические основы хозяйственного освоения.*— Л.: Наука, 1988.— 304 с.
4. *Розробка заходів щодо відновлення і підтримання сприятливих гідрологічного і гідрохімічного режимів в районі Тузловської групи лиманів: Звіт про НДР/* Одес. Держ. Екол. Ун-т; № ДР 0103U006209.— Одеса, 2003.— 314 с.
5. *Тучковенко Ю.С.* Математическая модель формирования термохалинной структуры и циркуляции вод в лиманах, приустьевых и шельфовых областях северо-западной части Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.— Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.— С.138-153.
6. *Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР: Справочник.* Т.4. Черное море.— Л.: Гидрометеиздат, 1986.— 99 с.
7. *Виноградов К.А., Розенгурт М.Ш., Толмазин Д.М.* Атлас гидрологических характеристик северо-западной части Черного моря.— Киев: Наукова думка, 1966.

Материал поступил в редакцию 02.06.2004 г.