

УДК 551.46:504.42

Ю.С. Тучковенко*, д.геогр.н., В.В. Адобовский**, О.А. Тучковенко*,

О.Н. Гриб*, к.геогр.н.

*Одеський державний екологічний університет

**Одеський філіал Інститута біології южних морей НАН України

СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ДИНАМИКА ВОД ТИЛИГУЛЬСКОГО ЛИМАНА

На основе анализа данных натурных наблюдений и результатов численного математического моделирования описан современный гидрологический режим и динамика вод Тилигульского лимана. Выполнена верификация трехмерной численной гидротермодинамической модели, которая позволяет рассчитывать водообмен лимана с морем через соединительный канал и его влияние на формирование гидроэкологического режима лимана.

Ключевые слова: Северо-Западное Причерноморье, Тилигульский лиман, гидрологический режим, динамика вод, моделирование.

Введение. Тилигульский лиман – это самый протяжённый лиман Северо-Западного Причерноморья, длина которого достигает 68 км, средняя ширина – 2,5 км, площадь водной поверхности – около 150 км², площадь водосбора 5420 км². Северная и центральная части лимана относительно мелководны, поэтому средняя глубина составляет 3 м, однако в южной и центральной частях лимана расположены котловины, максимальные глубины которых достигают и, по данным некоторых исследователей [1, 2], даже могут превышать 15 м.

Лиман отделен от моря пересыпью шириной около 4 км и длиной до 7 км. В пересыпи прорыт искусственный канал шириной 26-40 м и глубиной 0,5-1,5 м, соединяющий лиман с морем. Эксплуатация канала в рыбохозяйственных целях предполагает открытие его весной для запуска молоди рыбы в лиман на нагул. Однако канал функционирует эпизодически, поскольку интенсивно заывается песком со стороны моря. К каналу примыкают мелководные соленые озера, связанные с ним (рис. 1).

В северную часть лимана впадает река Тилигул. Длина реки – 173 км, ширина русла 10-20 м, площадь бассейна 3550 км², среднегодовой расход воды вблизи устья по данным за период 1953-1988 гг. составлял 0,95 м³/сек, однако в период 1989-2008 гг. он уменьшился до 0,6 м³/сек.

Тилигульский лиман и прилегающая территория располагают значительными рекреационными ресурсами. Среди них выделяется крупнейшее месторождение минеральных лечебных магниевых-натриевых грязей, запасы которых достигают 15,8 тыс. тонн. Велики возможности использования лимана и прилегающей прибрежной зоны моря по климатическим, гидрологическим, экологическим показателям для лечебной, оздоровительной рекреационной деятельности, а также для регламентированного рыболовства и охоты, экологического туризма. Нижняя часть лимана и прилегающая прибрежная зона моря характеризуются высоким баллом пляжной привлекательности. Экологическому («зеленому») туризму и ограниченным направлениям любительского рыболовства и охоты способствует богатство флоры и фауны акватории Тилигула и прилегающих территорий. В водах лимана обитает 25-30 видов рыб, около 208 видов водорослей.

На берегах лимана расположен Тилигульский региональный ландшафтный парк. Части территории парка представляют собой чрезвычайно интересные природные объекты со значительным спектром редких и исчезающих видов флоры и фауны.

Тилигульский лиман входит в международный список Рамсарской конвенции о защите водно-болотных угодий. Рамсарское угодье "Тилигульский лиман" охватывает площадь 26 000 км² в пределах Николаевской и Одесской областей Украины. Это один из немногих ветландов, которые сохранили сегодня естественные приморские ландшафты; его экологическая система имеет уникальные условия для жизни животного и растительного мира, акватория лимана представляет большую ценность для поддержания биологического равновесия региона.

В настоящее время в результате антропогенной деятельности в бассейне лимана и климатических изменений, отсутствия научно обоснованных планов водного и экологического менеджмента, природные ресурсы Тилигульского лимана находятся под угрозой утраты. Например, в течение аномально жаркого, с большим количеством ливневых атмосферных осадков, лета 2010 г. были отмечены неоднократные случаи массовой гибели рыбы из-за «цветения» водорослей, выделяющих токсические вещества в составе метаболитов, и развития дефицита кислорода в воде, что обусловлено высоким уровнем эвтрофикации водоема. В разных районах лимана локальные заморы рыб наблюдались также летом 1999, 2000, 2001, 2006, 2007 гг.

В результате значительного уменьшения поверхностного стока с водосборного бассейна и нерационального использования соединительного канала увеличилась соленость воды в лимане, которая способствовала смене доминирующего солоноватого комплекса рыб на морской, со значительно меньшим видовым разнообразием.

Для разработки планов водного и эколого-экономического менеджмента Тилигульского лимана необходимо знание особенностей его современного гидрологического режима и динамики вод, а также определяющих их факторов. Цель предлагаемой статьи заключается в освещении указанной проблемы на основе данных натурных наблюдений, выполненных в последние годы, и гидротермодинамического моделирования.

Вопросам формирования гидрологического режима Тилигульского лимана и динамики его вод посвящено очень малое количество работ. В работе [3], на основе имеющихся до 1970 г. данных наблюдений, описана многолетняя и годовая изменчивость уровня и солености воды в лимане, особенности пространственного распределения последней, а также формирующие их факторы. В более поздней работе [2] оценены составляющие водного баланса лимана, включая водообмен с морем через соединительный канал, приведены результаты расчетов интегральной по глубине ветровой циркуляции вод по модели Фельзенбаума, описан термический режим лимана. Результаты ежемесячных полевых наблюдений за водообменом лимана с морем в 2003 г. приведены в работе [1]. Следует отметить, что как показали результаты батиметрической съемки лимана и канала в 2010 г. [4], за прошедшие годы глубины, как в лимане, так и в канале изменились в сторону уменьшения.

Методы и материалы, условия модельных расчетов. В работе использовались данные эпизодических полевых наблюдений за гидрологическими характеристиками вод Тилигульского лимана (температура, соленость, уровень воды), водообменом через соединительный канал, выполненные в Одесском филиале Института биологии южных морей НАН Украины, данные многолетних наблюдений за уровнем воды в лимане на водомерном посту лим. Тилигульский – пгт Коблево в период с 1936 по 1987 гг.

Для изучения особенностей динамики вод, пространственно-временной изменчивости температуры, солености воды, проникновения морских вод в лиман при функционировании соединительного канала, использовалась численная,

нестационарная гидротермодинамическая модель [5-7]. При расчетах акватория лимана покрывалась горизонтальной расчетной сеткой 44×99 узлов с шагом 400 м. Использовались 10 расчетных уровней по вертикали в σ -системе координат. Глубины в лимане задавались на основе данных батиметрической съемки, выполненной в октябре 2010 г. при отметке уровня воды в лимане минус 0,4 м БС (рис. 1).

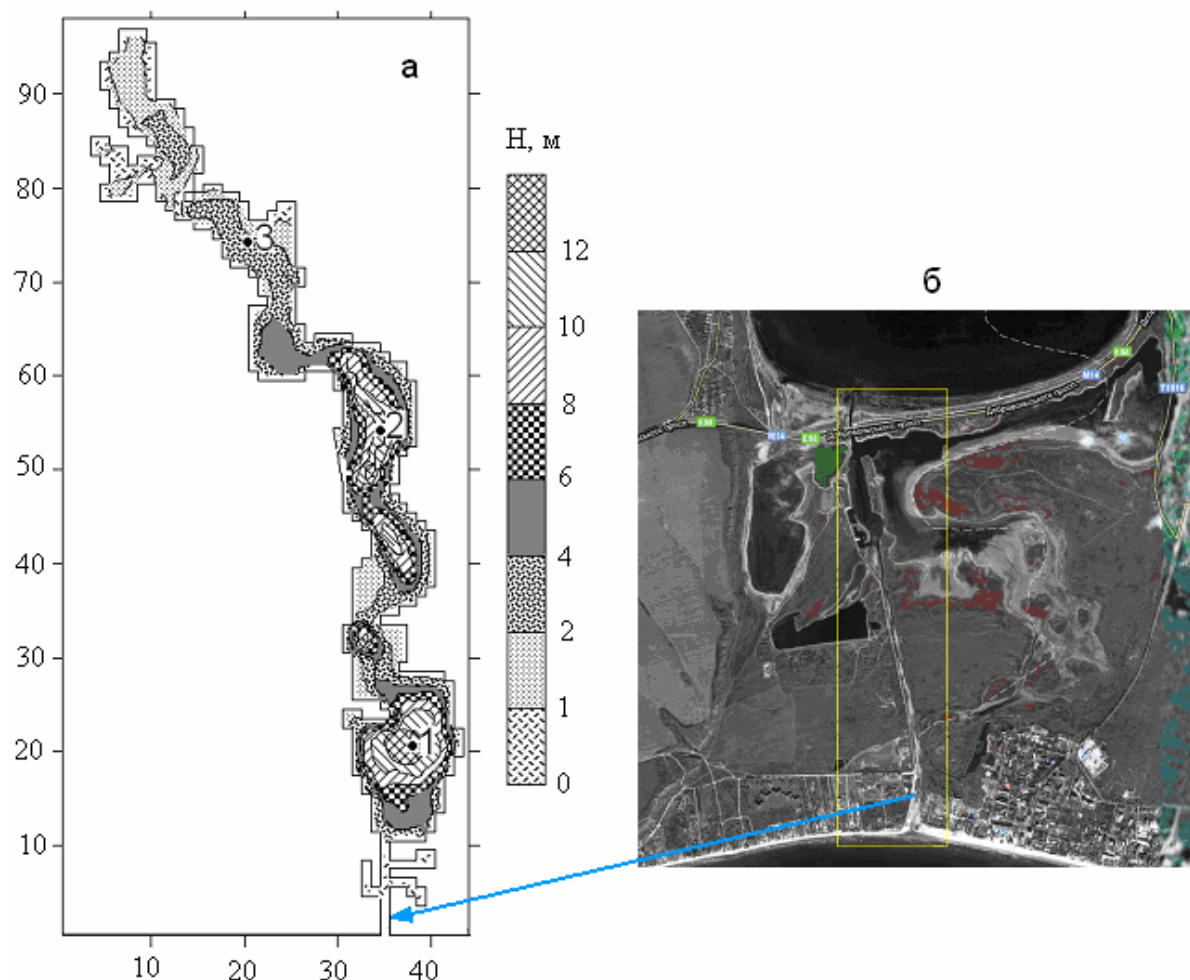


Рис. 1 – Горизонтальная расчетная сетка акватории Тилигульского лимана с глубинами, соответствующими уровню моря минус 0,4 м БС (а)*. Космический снимок участка побережья между южной частью Тилигульского лимана и прилегающей акваторией Черного моря (б), на котором расположен соединительный канал (выделен рамкой) с системой соленых озер связанных с ним.

* На осях координат указаны номера узлов расчетной сетки с горизонтальным шагом 400 м. Цифры 1, 2, 3 – номера реперных точек на акватории лимана при анализе результатов расчетов.

Модельные расчеты выполнялись в три этапа. Первая серия численных экспериментов с моделью проводилась для исследования особенностей ветровой циркуляции вод в лимане при отсутствии водообмена с морем. Расчеты установившихся ветровых течений выполнялись при стационарных ветрах восьми основных румбов силой 5 м/с.

Во второй серии численных экспериментов моделировалась пространственно-временная изменчивость уровня воды в лимане, термохалинной структуры вод в период с начала мая по конец августа при учете стока р.Тилигул, разницы месячных сумм атмосферных осадков и испарения (табл. 1), но при отсутствии водообмена с

морем. Сток реки Тилигул полагался равным $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ в мае, $0,95 \text{ м}^3/\text{с}$ – в июле и $0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ – в июне и августе, что соответствует особенностям формирования стока в соответствующий период 2010 г. Временная изменчивость направления и скорости ветра, температуры воздуха (с дискретностью 6 часов), месячных сумм атмосферных осадков задавалась на основе данных наблюдений, выполненных на ГМС «Порт Южный» в 2010 г. Испарение с водной поверхности лимана задавалось на основе осредненных за период 1960-2007 гг. среднемесячных данных наблюдений метеостанции г.Болград, расположенной у пресноводного озера Ялпуг. Эти величины приводились к солёности морской воды 19 ‰ (табл. 1) с использованием пересчетного множителя 0,94 [4]. В табл.1 для сравнения приведены также средние многолетние месячные суммы атмосферных осадков, рассчитанные по данным м/ст. Одесса-ГМО за период с 1894 по 2008 гг. Видно, что по средним многолетним данным в период с мая по сентябрь испарение в три раза превышает количество выпавших атмосферных осадков.

Таблица 1 – Средние многолетние месячные величины испарения, атмосферных осадков и измеренные на ГМС «Порт-Южный» в 2010 г. месячные величины атмосферных осадков, использованные в модельных расчетах

Месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Атм.осадки,мм, 1894-2008 гг.	28,1	34,9	47,4	40,2	34,9	35,0
Атм.осадки,мм, 2010 г.	45,2	86,2	47,3	113,4	26,7	69,6
Испарение, мм, 1960-2007 гг.	62	99	124	142	131	91

В третьей серии численных экспериментов с моделью учитывался водообмен лимана с морем через соединительный канал, глубина и ширина которого при отметке уровня моря минус 0,4 м БС полагались равными 0,5 и 30 м, соответственно. Как и в предыдущей серии экспериментов, моделировался наиболее критический для экосистемы лимана отрезок времени года – с начала мая по конец августа, при гидрометеорологических условиях 2010 года. Временная изменчивость солёности и температуры морской воды (среднедекадные значения) на морской открытой границе соединительного канала задавалась на основе данных наблюдений, выполненных на ГМС «Порт Южный».

Начальная отметка уровня моря принималась равной минус 0.15 м БС, а уровня воды в лимане минус 0,4 м БС. Учитывалось падение отметки уровня воды в лимане за счет разницы месячных сумм атмосферных осадков и испарения. Вертикальное распределение температуры и солёности воды в лимане в начальный момент времени задавалось на основе данных наблюдений и полагалось однородным в горизонтальной плоскости.

В качестве индикатора проникновения морских вод в лиман рассматривалась примесь нейтральной плавучести, концентрация которой в морской воде принималась равной 100 условным единицам, а в лимане в начальный момент времени – нулю.

Современный гидрологический режим лимана по данным наблюдений. Водный режим Тилигульского лимана определяется объемами притока вод с водосборного бассейна лимана (включая сток р.Тилигул), соотношением количества атмосферных осадков, которые выпадают на водное зеркало лимана, и объемами испарения с него, наличием водообмена лимана с морем через искусственный соединительный канал.

Внутригодовой ход среднемесячных значений уровня воды в лимане (рис. 2) по данным водомерного поста лим. Тилигульский – пгт. Коблево, осредненным помесячно за период его функционирования с 1936 по 1987 гг., характеризуется повышением уровня с января по апрель на 0,3 м, стабильным периодом в мае–июле и снижением, начиная с августа, до минимального значения в ноябре. Приведенные значения отметок уровня воды в лимане в большей степени характерны его изолированному от моря состоянию.

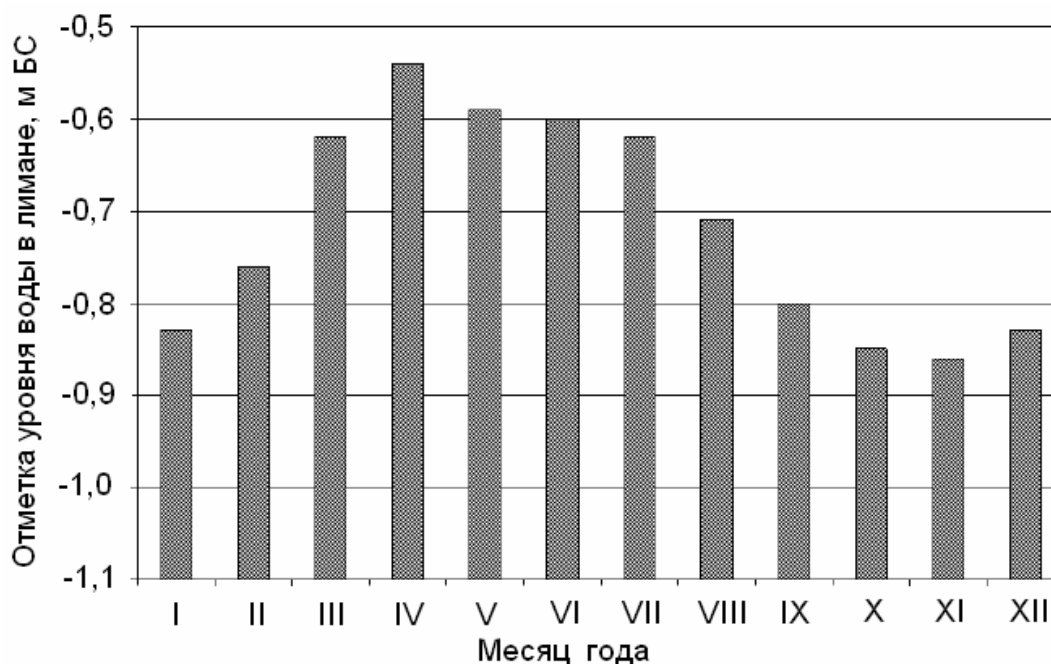


Рис. 2 – Сезонная изменчивость среднемесячных отметок уровня воды в Тилигульском лимане, осредненных за период с 1936 по 1987 гг.

На рис. 3 приведена установленная по данным эпизодических наблюдений изменчивость отметок уровня воды в лимане в современный период, начиная с 2003 г. Наиболее высокие уровни были отмечены весной 2003 г., когда в результате интенсивного паводка в лиман поступило большое количество воды с поверхностным стоком. Уровень воды в лимане на несколько десятков сантиметров превысил уровень моря и в марте-апреле наблюдался интенсивный сток воды из лимана в море через соединительный канал. В середине июня канал был закрыт и началось падение уровня лимана вследствие интенсивного испарения. К концу 2003 г. он понизился до минус 0,43 м БС.

До середины 2006 г. сохранялась определенная стабильность уровня режима, диапазон колебаний составлял около 40 см. В весенние месяцы уровень лимана несколько повышался за счет поверхностного стока с бассейна лимана и притока морской воды через соединительный канал, а во второй половине года происходило его снижение в результате интенсивного испарения.

В 2007 г. начался период значительного понижения уровня лимана (до минус 0,95 м БС), который продолжался до конца 2009 г. Отметки уровня воды в лимане не превышали минус 0,40 м БС. В этот период количество выпавших атмосферных осадков было ниже годовых норм на 10-40 мм, а время функционирования соединительного канала очень непродолжительным.

Зимой 2009-2010 гг. выпало 275 мм осадков при норме 97 мм. В лиман поступило большое количество воды с поверхностным стоком с его водосборного бассейна. Кроме того, в середине марта 2010 г. был открыт соединительный канал с морем, который функционировал до середины сентября. В результате, уровень воды в лимане в июне поднялся до минус 0,05 м БС.

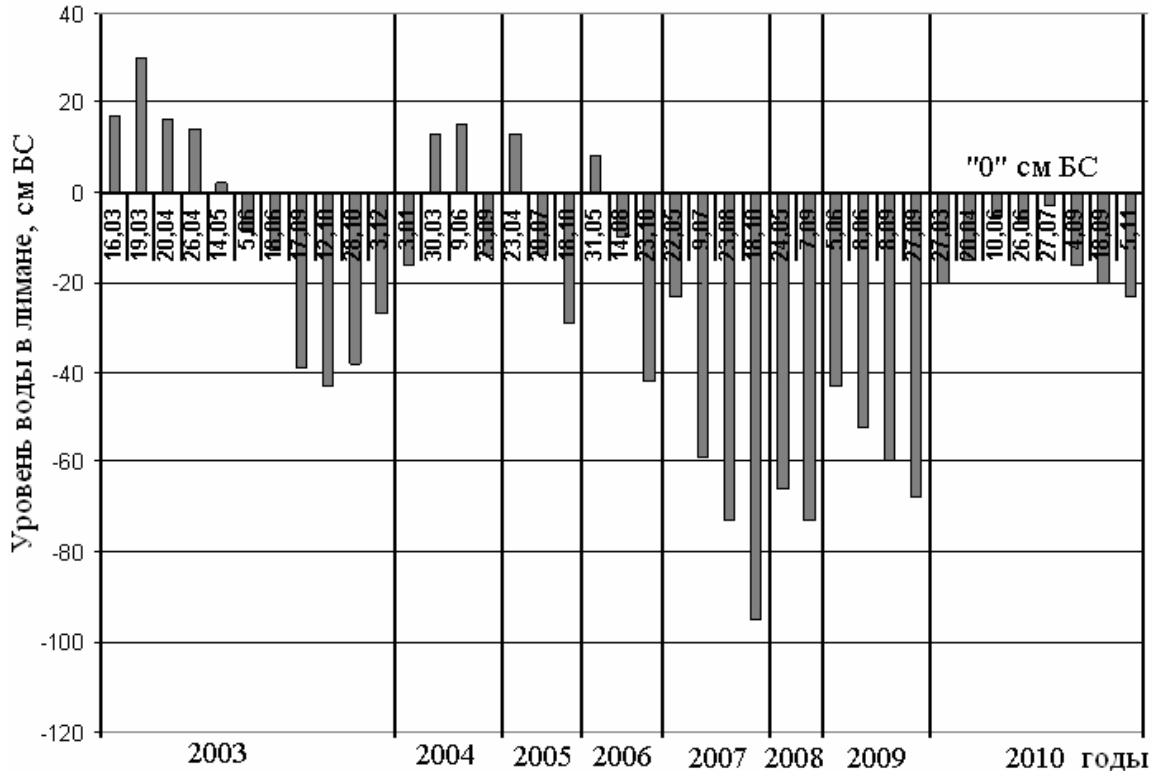


Рис. 3 – Изменчивость отметок уровня воды в Тилигульском лимане по данным эпизодических наблюдений в 2003-2010 гг.

В течение года температура воды в лимане может изменяться в широком диапазоне: от минус 0,1-0,2 °С зимой до 32-35 °С на мелководье летом. В холодные зимы лиман покрывается льдом на период 1-2 месяца. Толщина ледового покрова может достигать 0,5 м.

На рис. 4 приведены результаты эпизодических наблюдений за температурой и соленостью воды в прибрежной зоне центральной части лимана – на правом берегу между Чиловой и Ранжевой косами, в точке отстоящей от пересыпи на 12 км. В летние месяцы 2007-2009 гг. в этом районе в 100 м от берега наблюдались значения температуры воды около 25 °С и выше. Температура воды более 20 °С наблюдалась с мая по сентябрь. В аномально жаркий август 2010 г. была зафиксирована температура воды 32.1 °С. Даже в первой половине сентября 2010 г. температура воды была 24.5-24.6 °С.

Для вертикального распределения температуры воды в летний период года характерно формирование в котловинах южной и центральной частей лимана на глубинах более 10 м мощного сезонного термоклина. При температуре воды поверхностного слоя 25-30 °С, на глубине 14-15 м она не превышала 8-9 °С (рис. 5).

Соленость воды в лимане может колебаться от 6 ‰ в период весеннего половодья до 23 ‰ осенью (рис. 6). В прошлом, когда объемы стока реки Тилигул составляли значительную часть водного баланса лимана и поддерживался водообмен с

морем, существовало четкое разделение лимана на соленую (около 15 ‰) – южную и опресненную (8,5 ‰) – северную части [8]. В современных условиях к концу лета – началу осени соленость вод как в южной (при отсутствии водообмена с морем), так и в северной частях лимана (при отсутствии стока р.Тилигул) может возрастать до 19-22 ‰. Заметим, что в период полной изоляции лимана в IX веке соленость его вод достигала 40 ‰.

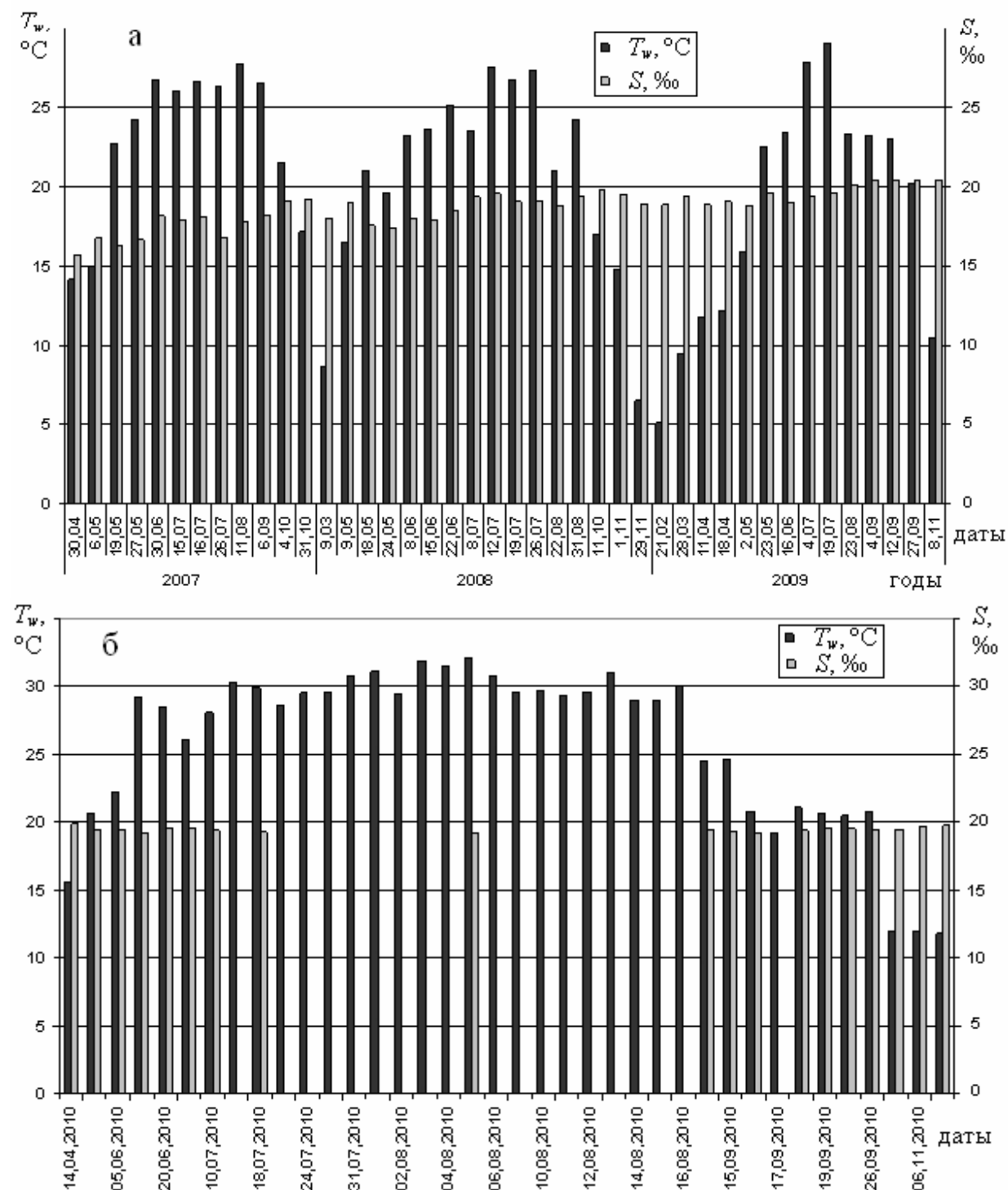


Рис. 4 – Изменчивость значений температуры ($T_w, ^\circ\text{C}$) и солености ($S, \text{‰}$) воды в поверхностном слое центральной части Тилигульского лимана: а – 2007-2009 гг.; б – 2010 г.

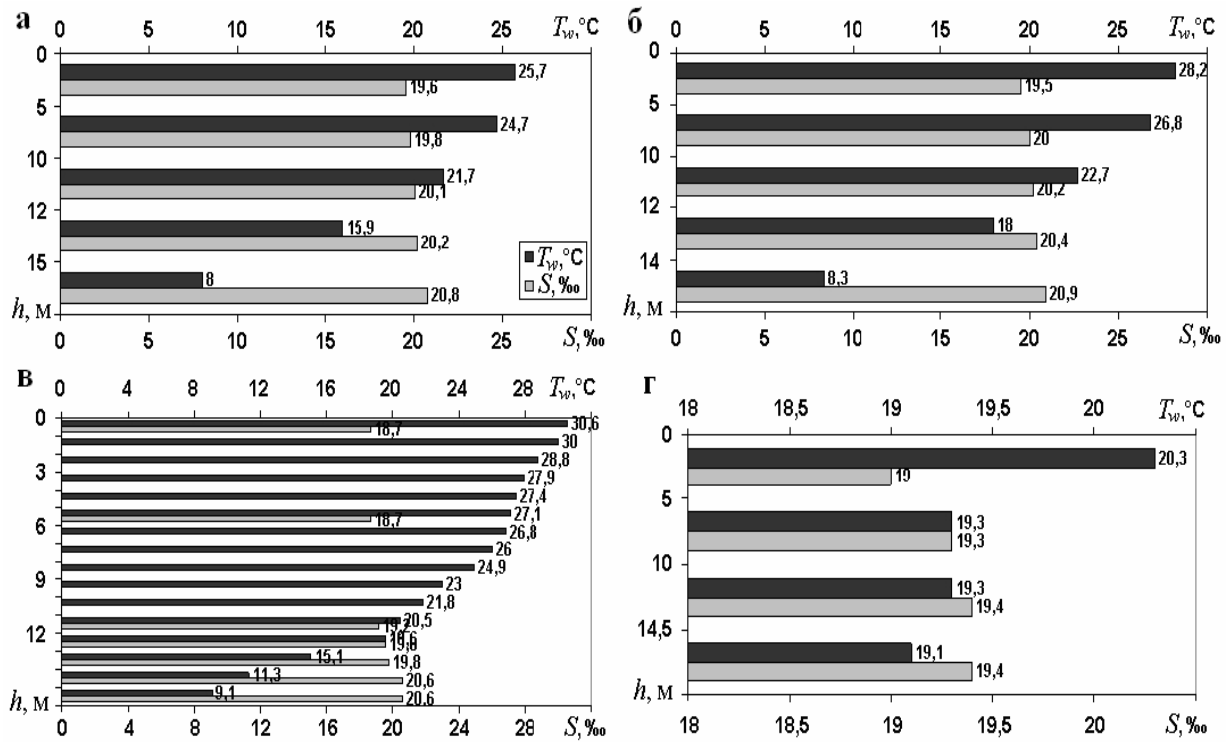


Рис. 5 – Изменчивость вертикального распределения температуры (T_w , °C) и солёности (S , ‰) воды в котловине центральной части Тилигульского лимана в 2010 г.: а – 04.07.2010; б – 18.07.2010; в – 05.08.2010; г – 16.09.2010.

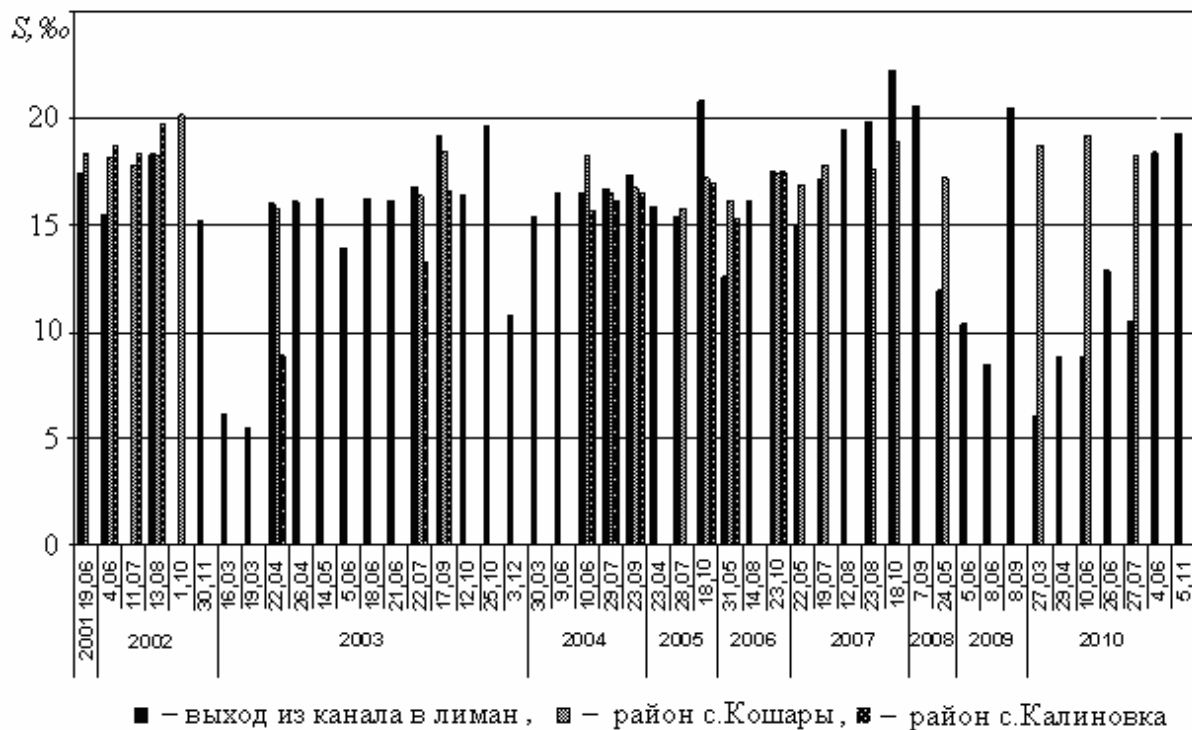


Рис. 6 – Изменчивость значений солёности воды (S , ‰) в различных частях Тилигульского лимана по данным эпизодических береговых наблюдений в 2001-2010 гг.

В центральной части лимана на протяжении 2007-2009 гг. (рис. 4) соленость воды колебалась в пределах 16-20 ‰, а в 2010 г. не опускалась ниже 18,5 ‰. Вертикальное распределение солености летом в районе глубоких котловин центральной части лимана характеризуется относительной однородностью (рис. 5). Максимальная разница между соленостью вод поверхностного и придонного слоев не превышает 2 ‰.

Результаты моделирования пространственно-временной изменчивости гидрологических характеристик. Результаты расчетов установившихся ветровых течений при стационарных ветрах различных направлений скоростью 5 м/с и отсутствии водообмена с морем свидетельствуют (рис. 7, 9.I), что пространственная структура осредненных по глубине течений имеет ярко выраженный ячеистый характер и состоит из множества вихревых образований (циркуляционных ячеек), расположенных вдоль продольной оси лимана. Такой характер циркуляции вод обусловлен особенностями геоморфологического строения лимана – конфигурацией берегов, распределением глубин вдоль лимана. Береговая линия лимана очень извилиста, а ложе южной и центральной его частей представляет собой набор глубоких котловин, разьединенных мелководными участками (рис. 1). В результате, в лимане отсутствуют протяженные и мощные вдольбереговые течения, которые способствуют массообмену между различными его частями. Вихревые структуры препятствуют распространению водных масс и примеси вдоль акватории лимана.

На рис. 8, 9.II представлены поверхностные течения в лимане при различно ориентированных по отношению к продольной оси канала ветрах. Видно, что интенсификация поверхностных течений наблюдается на мелководных участках акватории лимана, ориентированных в направлении ветра. В придонном слое пространственная структура течений определяется характером баротропной циркуляции. На относительно глубоких участках южной и центральной частей лимана вертикальная структура течений может быть двухслойной: на поверхности формируются дрейфовые течения, направленные по ветру, а в придонном слое – противоположно направленные градиентные течения. При этом поверхностные дрейфовые течения ослабляются придонным градиентным потоком (рис. 9.II.a).

На рис. 10.a показана изменчивость уровня воды в граничных точках соединительного канала со стороны лимана и моря при его функционировании. Видно, что после фазы начального наполнения лимана, продолжительностью около 20-30 суток, амплитуда колебаний уровня воды в лимане намного меньше, чем в море. Отмечается также временная задержка в несколько суток при смене тенденций изменения уровня воды в лимане, по отношению к морю.

На интенсивность баротропной циркуляции вод в лимане, помимо колебаний уровня моря, влияют также и формируемые ветром градиенты уровня между северной и южной оконечностями лимана (рис. 10.b). В результате воздействия ветра перекося уровня между южной и северной оконечностями лимана может достигать 0,2 м.

Результаты моделирования свидетельствуют, что при отсутствии водообмена с морем уровень воды в лимане с мая по август при гидрометеорологических условиях 2010 г. уменьшился бы на 0,2 м (рис. 10.a) за счет превышения испарения над поступлением воды в лиман с атмосферными осадками и стоком р.Тилигул.

Изменчивость осредненной по глубине скорости течений, а также расходов воды в канале при современных его морфометрических характеристиках показана на рис. 11. Баротропные течения и расходы воды в канале характеризуются очень сильной короткопериодной изменчивостью, как по величине, так и по направлению, что обусловлено совместным действием ветра, колебаний уровня воды в лимане и море.

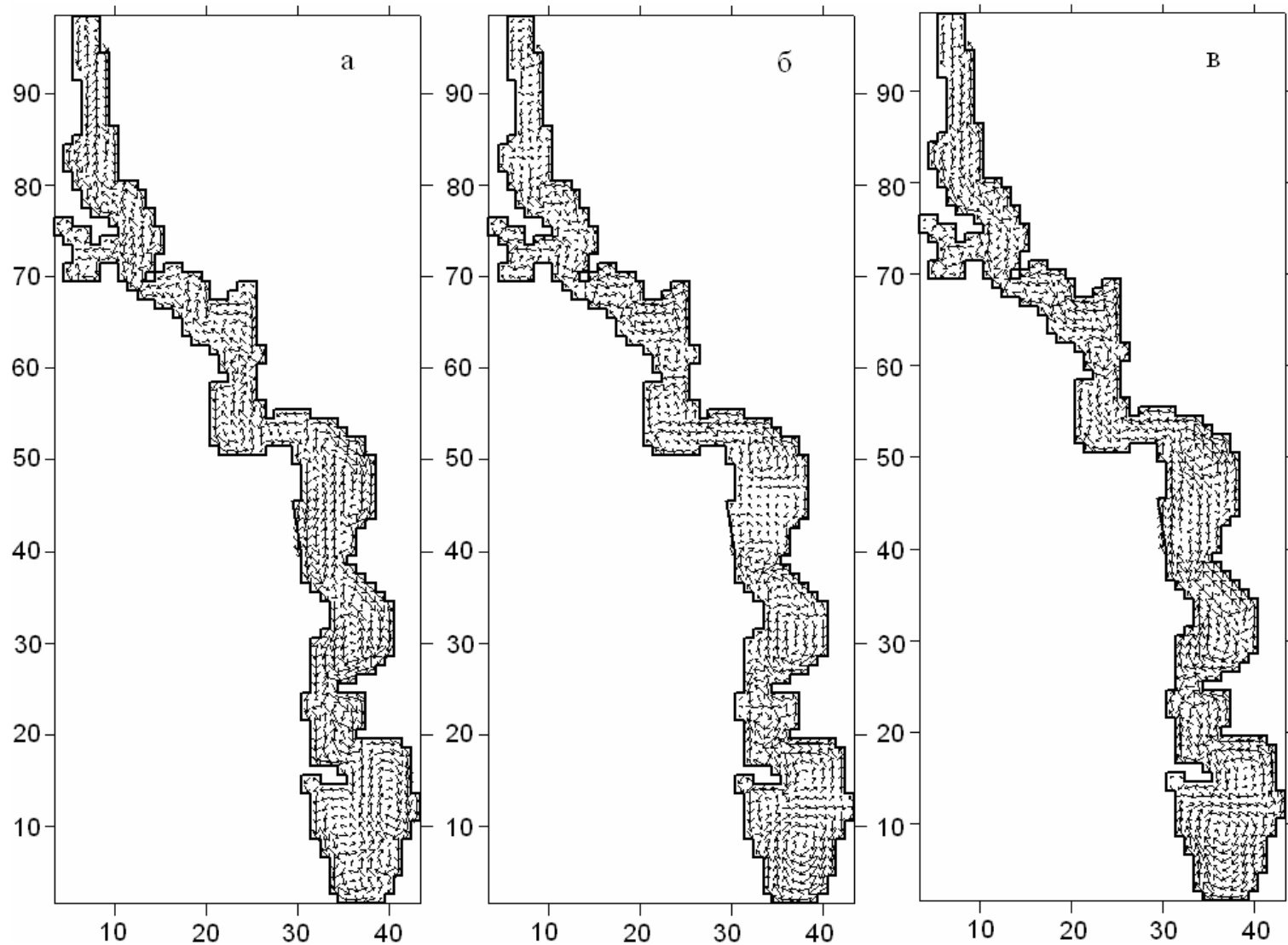


Рис. 7 – Поле векторов средних по глубине (баротропных) течений в лимане при стационарных ветрах со скоростью 5 м/с различных направлений: а – северном; б – восточном; в – юго-восточном.

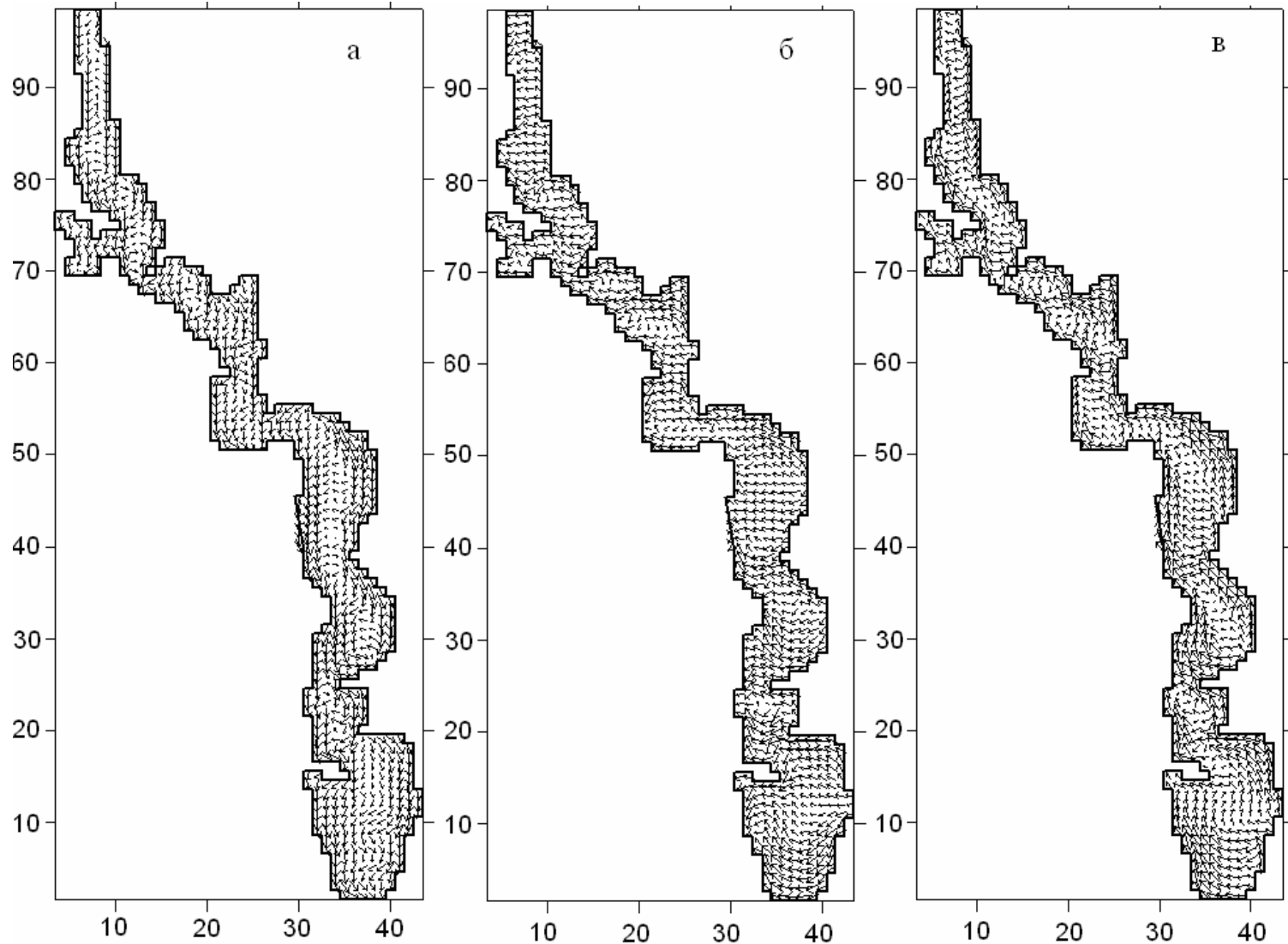


Рис. 8 – Поле векторов поверхностных ветровых течений в лимане при стационарных ветрах со скоростью 5 м/с различных направлений: а – северный; б – восточный; в – юго-восточный.

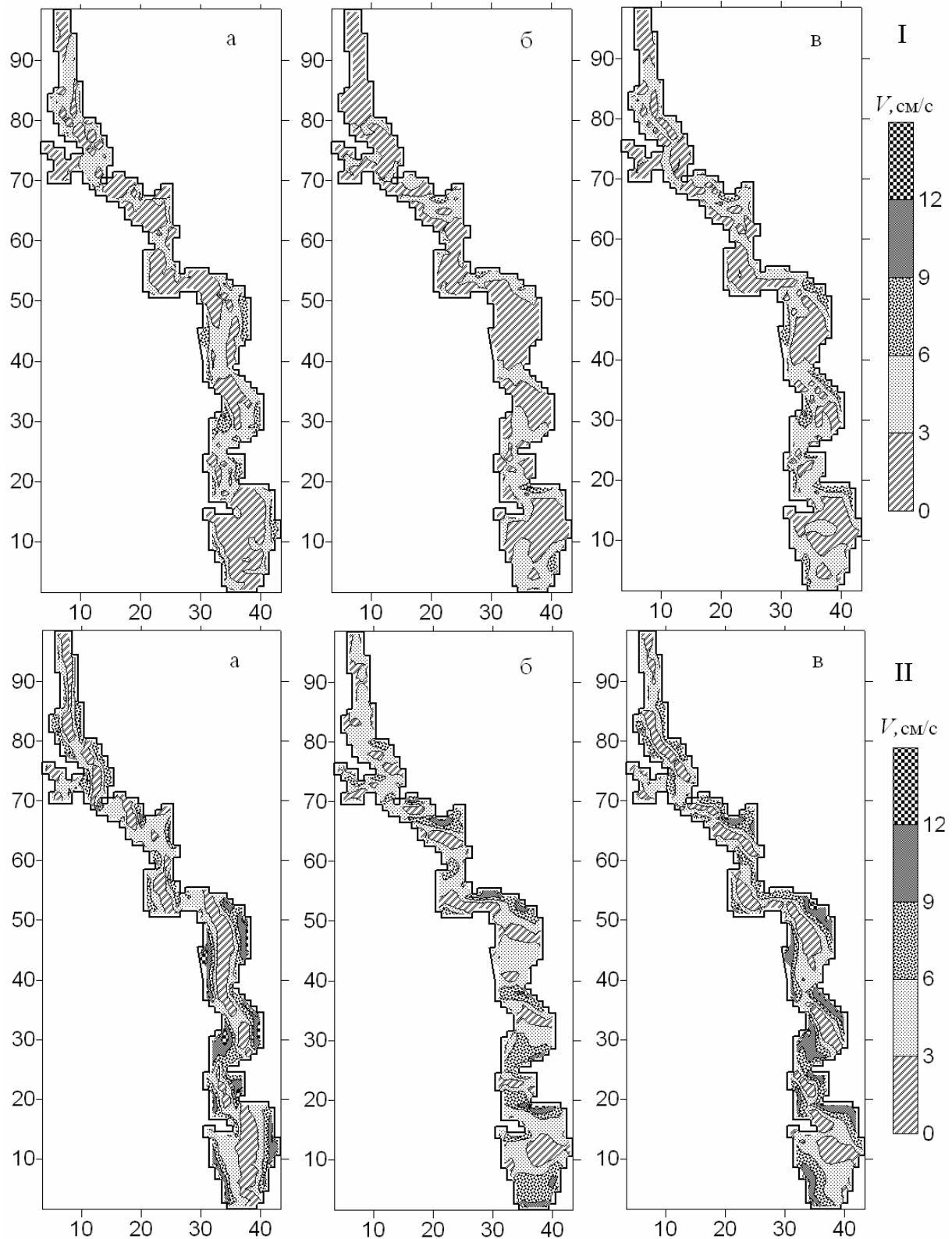


Рис. 9 – Поля изотак средних по глубине (баротропных) течений (I) и поверхностных ветровых течений (II) в лимане, см/с, при стационарных ветрах со скоростью 5 м/с различных направлений: а – северный; б – восточный; в – юго-восточный.

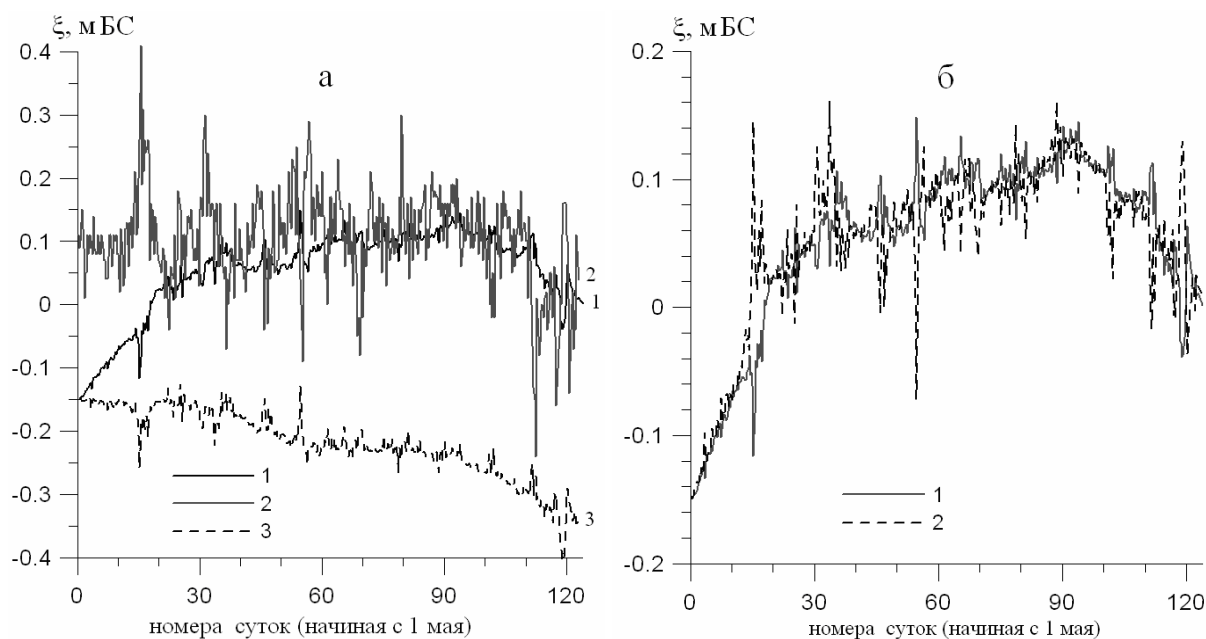


Рис. 10 – Временная изменчивость отметки уровня воды (м БС): а – на границах соединительного канала со стороны лимана (1) и моря (2) при открытом канале, у южной границы лимана при закрытом канале (3); б – на южной (1) и северной (2) оконечностях лимана при открытом канале.

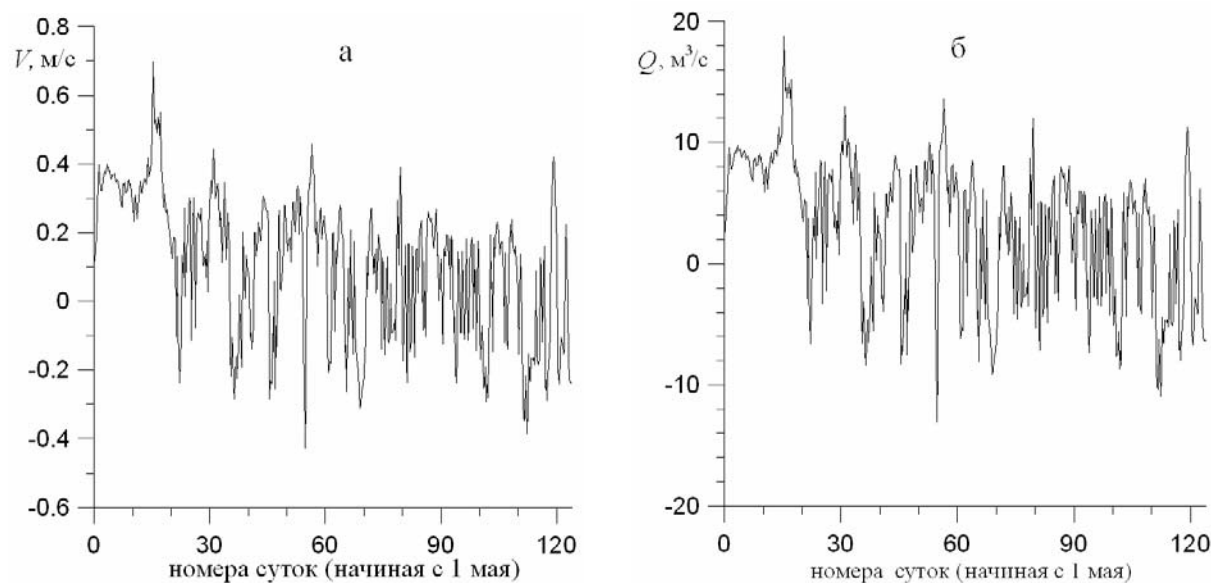


Рис. 11 – Временная изменчивость скорости баротропных течений, м/с, (а) и расходов воды, м³/с, (б) в соединительном канале (вблизи выхода в лиман) при современных его морфометрических характеристиках. Положительные значения соответствуют втоку воды в лиман, отрицательные – вытоку.

Полученные в результате моделирования значения скоростей течений в канале хорошо согласуются с данными немногочисленных эпизодических натуральных наблюдений [4], выполненных на протяжении последних лет. В частности, в 2010 г. были зафиксированы скорости течений в канале, у его выхода в лиман, в диапазоне от 0,10 до 0,34 м/с.

На рис. 12 приведена полученная в модели и по данным наблюдений изменчивость температуры и солености вод поверхностного слоя центральной части Тилигульского лимана в районе с. Пшеняново. Следует отметить, что используемые данные наблюдений были получены в прибрежной мелководной зоне лимана. Из сравнения данных наблюдений за температурой вод поверхностного слоя, выполненных на прибрежном мелководье и в глубокой части акватории лимана в районе с. Пшеняново в одни и те же дни лета 2010 г., следует, что на мелководье воды лимана прогреты в среднем на 1,5 °С больше, чем в глубокой части. Поэтому расположение наблюденных значений температуры на рис. 12.а в диапазоне между кривыми модельных значений температуры, полученных для мелководной северной части (реперная точка 3) и над котловиной центральной части (реперная точка 2) лимана представляется обоснованным.

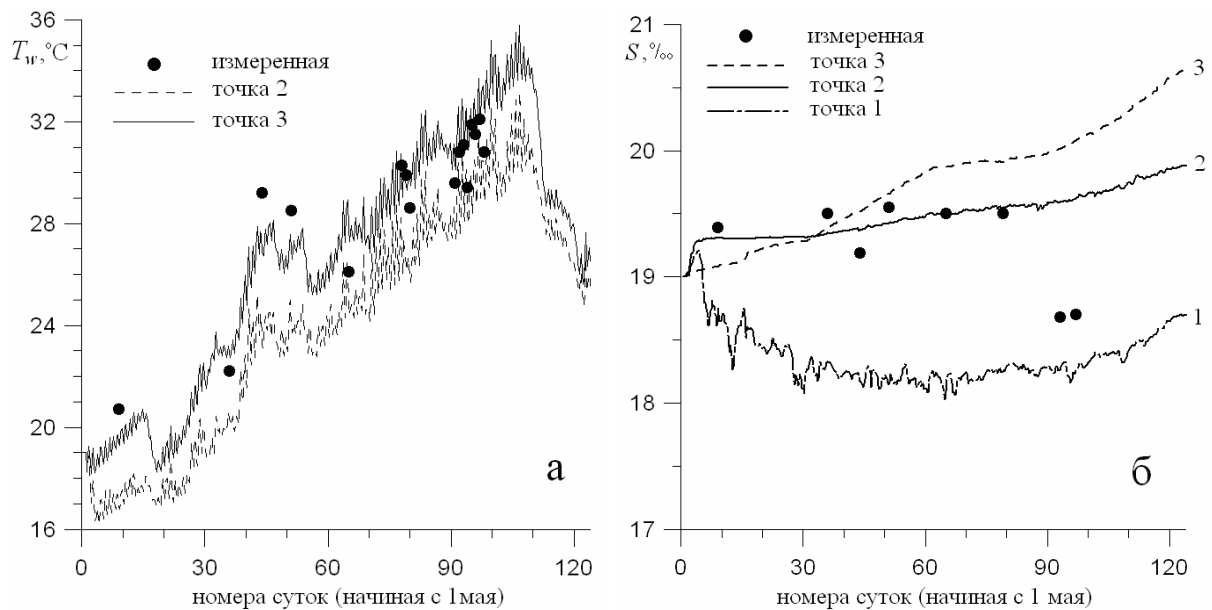


Рис. 12 – Временная изменчивость температуры, °С, (а) и солености, ‰, (б) вод поверхностного слоя в реперных точках на акватории лимана (рис. 1), полученная при моделировании и по данным эпизодических наблюдений на участке акватории, прилегающем к с.Пшеняново (центральная часть лимана).

При наличии водообмена с морем соленость в южной части лимана понижается до 18,0-18,5 ‰. В мелководной северной части лимана, даже при наличии стока р.Тилигул в летний период года, соленость вод наибольшая и превышает 20 ‰. Во временной изменчивости наблюденных значений солености вод поверхностного слоя в центральной части лимана (рис. 12.б) обращает на себя внимание понижение ее значений в начале августа 2010 г. до 18,7 ‰, которое не отражается в результатах модельных расчетов. Это означает, что зафиксированное понижение солености не связано с учитываемыми при модельных расчетах факторами: проникновением трансформированных морских вод из южной части лимана и стоком р.Тилигул, а обусловлено, вероятно, поступлением пресных вод с боковым стоком с берегов лимана.

Расчитанное с помощью модели пространственное распределение температуры и солености морской воды, соответствующее середине июля, приведено на рис. 13. Модельные поля отражают основные особенности пространственной изменчивости указанных характеристик. Минимумы температуры воды поверхностного слоя

отмечаются в районах расположения глубоких котловин и образуются за счет вертикального турбулентного перемешивания с относительно холодными водами придонного слоя. Максимальному прогреву подвергается мелководная северная часть лимана, где температура воды превышает 31°C.

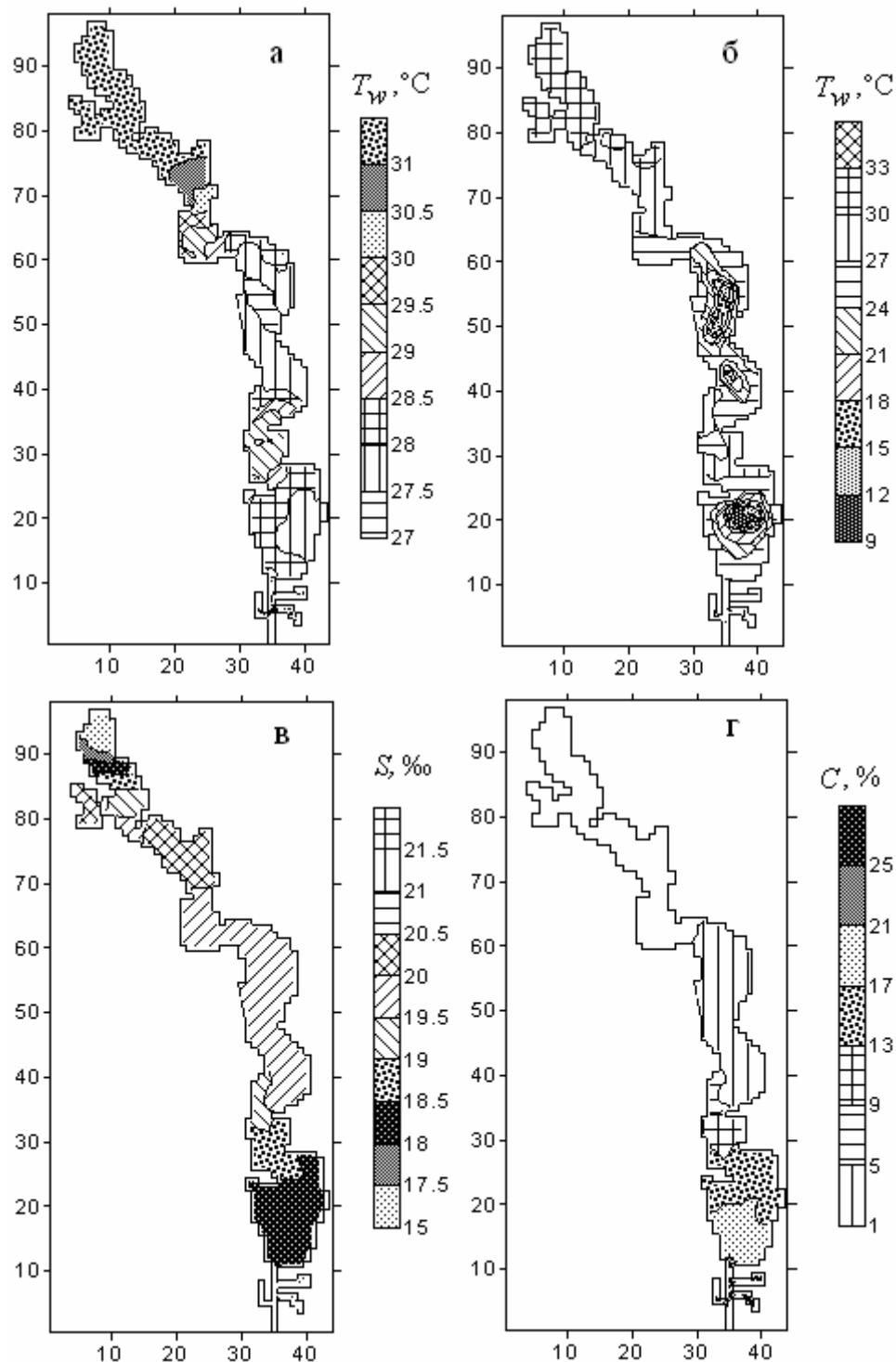


Рис. 13 – Пространственное распределение температуры воды, °С, в поверхностном (а) и придонном (б) слоях лимана; солёности, ‰, вод поверхностного слоя (в); концентрации в поверхностном слое консервативной примеси нейтральной плавучести, усл. ед., поступающей в лиман с морскими водами (г).

Как следует из рис. 14, модель с достаточной для гидроэкологических расчетов точностью отражает особенности вертикального распределения температуры воды в глубоких частях лимана.

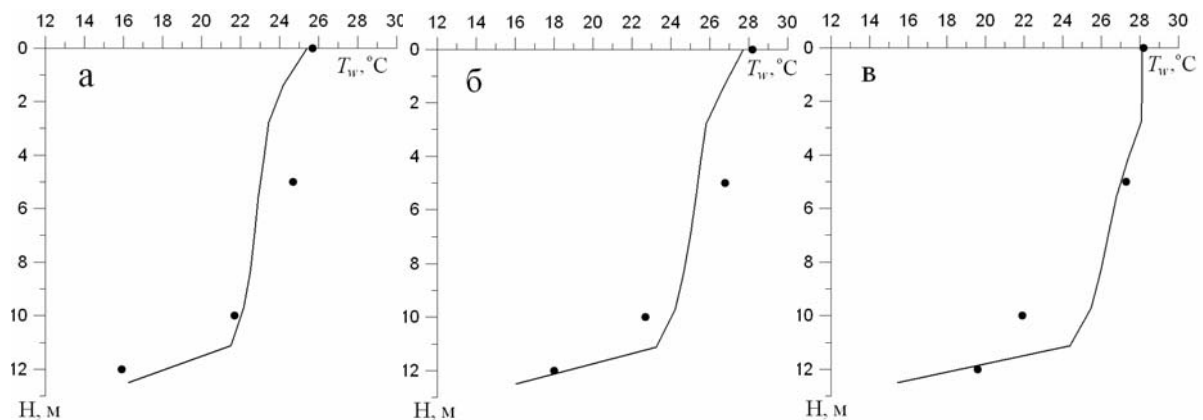


Рис. 14 – Вертикальное распределение температуры воды, °С, полученное в модели (кривые) и по данным натуральных наблюдений (точки) в котловине центральной части Тилигульского лимана в 2010 г.: а – 04.07.2010; б – 18.07.2010; в – 01.08.2010.

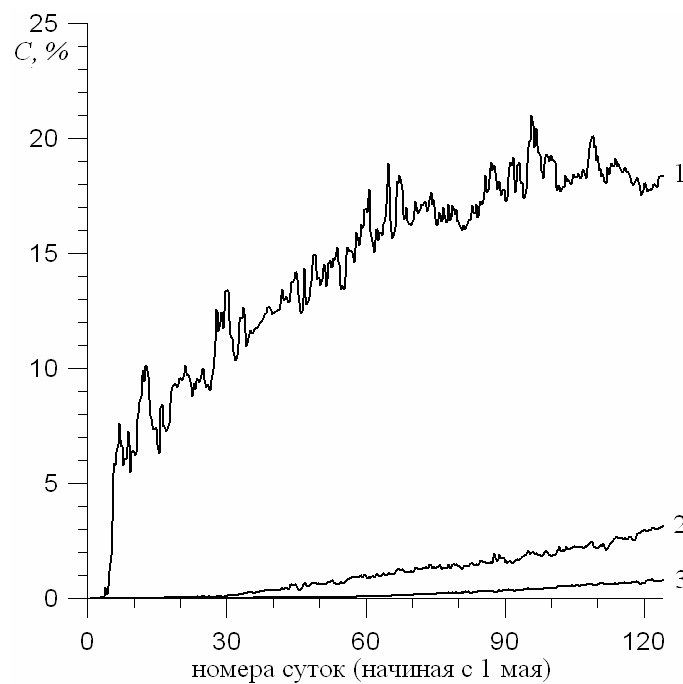


Рис. 15 – Изменчивость концентрации консервативной примеси нейтральной плавучести (усл. ед.), поступающей в лиман с морскими водами (100 усл. ед. на морской границе канала), в реперных точках акватории лимана (см. рис. 1): 1 – южная часть лимана (реперная точка 1), 2 – центральная часть лимана (реперная точка 2), 3 – северная часть лимана (реперная точка 3).

Результаты расчетов изменчивости концентрации пассивной, консервативной примеси нейтральной плавучести, приведенные на рис. 13.г, 15, иллюстрируют характер и степень трансформации морских вод, проникающих в лиман через соединительный канал. Концентрацию примеси можно рассматривать как показатель

процентного содержания морских вод в различных частях лимана (на морской границе соединительного канала – 100 %). Видно, что водообмен с морем практически не влияет на формирование гидроэкологических условий в центральной и северной частях лимана.

Выводы. На основе анализа данных эпизодических гидрологических наблюдений и результатов модельных расчетов установлено, что в наиболее критический для экосистемы лимана летний период года, в котловинах южной и центральной частей Тилигульского лимана на глубинах более 10 м формируется мощный сезонный термоклин. При температуре воды поверхностного слоя 25-30 °С, на глубине 14-15 м она не превышает 8-9 °С. На мелководных участках акватории лимана воды поверхностного слоя могут прогреваться до 32-34 °С. Над котловинами температура воды поверхностного слоя в среднем на 1,5 °С меньше, чем на мелководье.

Соленость воды в лимане может колебаться от 5 ‰ в период весеннего половодья до 22 ‰ осенью. При отсутствии водообмена с морем, к концу лета соленость как в северной, так и в южной частях лимана может превышать 20 ‰. При наличии водообмена с морем соленость вод в южной части лимана понижается до 18,0 – 18,5 ‰. В мелководной северной части лимана, даже при наличии стока р.Тилигул в летний период года, соленость наибольшая и превышает 20 ‰. Вертикальное распределение солености летом, в районе глубоких котловин, характеризуется относительной однородностью. Максимальная разница между соленостью вод поверхностного и придонного слоев не превышает 2 ‰.

За период с 2003 по 2010 гг. уровень воды в лимане, в зависимости от гидрометеорологических условий года, наличия и продолжительности водообмена с морем через соединительный канал, изменялся в пределах от 0,3 до минус 0,95 мБС. По данным многолетних наблюдений падение уровня воды в лимане в период с апреля по ноябрь составляет около 0,3 м. При отсутствии водообмена с морем, в зависимости от гидрометеорологических условий года, возможно понижение уровня воды в лимане к концу летнего периода на 0,2-0,5 м, в результате преобладания убыли воды при испарении над ее поступлением с атмосферными осадками и поверхностным стоком с водосбора лимана. При наличии водообмена с морем в течение 20-30 суток происходит наполнение лимана морскими водами. В дальнейшем, среднемесячные отметки уровня воды в лимане и моря близки между собой.

Интегральная по глубине циркуляция вод в лимане имеет ярко выраженный ячеистый характер и состоит из множества вихревых образований (циркуляционных ячеек), расположенных вдоль продольной оси лимана. В лимане отсутствуют протяженные и мощные вдольбереговые течения, которые способствуют массообмену между различными его частями. Вихревые структуры препятствуют распространению водных масс и примеси вдоль акватории лимана. Вертикальная структура течений характеризуется однонаправленностью на мелководных участках и двухслойностью на глубоких участках южной и центральной частей лимана (на поверхности формируются дрейфовые течения, направленные по ветру, а в придонном слое – противоположно направленные градиентные течения). Имеет место интенсификация поверхностных течений на мелководных участках акватории лимана, ориентированных в направлении ветра. На глубоких участках акватории с двухслойной вертикальной структурой течений поверхностные дрейфовые течения ослабляются придонным градиентным потоком.

При современных морфометрических характеристиках соединительного канала водообмен с морем практически не влияет на формирование гидроэкологических условий в центральной и северной частях лимана.

Результаты модельных расчетов удовлетворительно согласуются с данными натурных наблюдений за изменчивостью гидрологических характеристик лиманных вод. Численная гидротермодинамическая модель [5, 6] может использоваться для изучения влияния морфометрических характеристик канала на интенсивность водообмена Тилигульского лимана с морем и формирование гидроэкологического режима лимана.

Список литературы

1. Адобовский В.В., Большаков В.Н. Влияние аномальных условий зимы 2002-2003 гг. на гидрологический режим закрытых лиманов северо-западного Причерноморья // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Вып. 9. – 2003. – С. 54–58.
2. Тимченко В.М. Эколого-гидрологические исследования водоемов северо-западного Причерноморья. – К.: Наукова думка, 1990. – 238 с.
3. Розенгурт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наукова думка, 1974. – 224 с.
4. Оцінка та розрахунок гідравліко-морфометричних характеристик водообміну в системі «Тілігульський лиман ↔ Чорне море» для розробки рекомендацій по збереженню природних ресурсів лиману: Звіт з НДР/ Одеський держ. еколог. ун-т; № ДР 0110U008224. – Одеса, 2010. – 178 с.
5. Hess K.W. MECCA Programs documentation: Technical Report / NOAA. – NESDIS 46. – Washington, D.C., 1989. – 97 p.
6. 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. – Вып. 9. – 2003. – С. 138-153.
7. Иванов В.А., Тучковенко Ю.С. Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – 368 с.
8. Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья. – Л.: Наука, 1988. – 304 с.

Сучасний гідрологічний режим і динаміка вод Тілігульського лиману.

Ю.С. Тучковенко, В.В. Адобовський, О.А. Тучковенко, О.М. Гріб

На основі аналізу даних натурних спостережень і результатів чисельного математичного моделювання описано сучасний гідрологічний режим і динаміку вод Тілігульського лиману. Виконана верифікація тривимірної чисельної термогідродинамічної моделі, яка дозволяє розраховувати водообмін лиману з морем через сполучний канал і його вплив на формування гідроecологічного режиму лиману.

Ключові слова: Північно-Західне Причорномор'я, Тілігульський лиман, гідрологічний режим, динаміка вод, моделювання.

Current hydrological regime and water dynamics in the Tyligulskyi lagoon.

Y.S. Tuchkovenko, V.V. Adobovskyi, O.A. Tuchkovenko, O.N. Greeb

The current hydrological regime and water dynamics in the Tyligulskyi lagoon, based on the analysis of location observation data and numerical mathematical simulation results, are described. A three-dimensional numerical thermodynamic model, which makes it possible to calculate water exchange of the lagoon with the sea through a connecting canal and its influence on the hydroecological regime of the lagoon, is verified.

Keywords: North-Western Black Sea region, Tyligulskyi lagoon, hydrological regime, water dynamics, simulation.