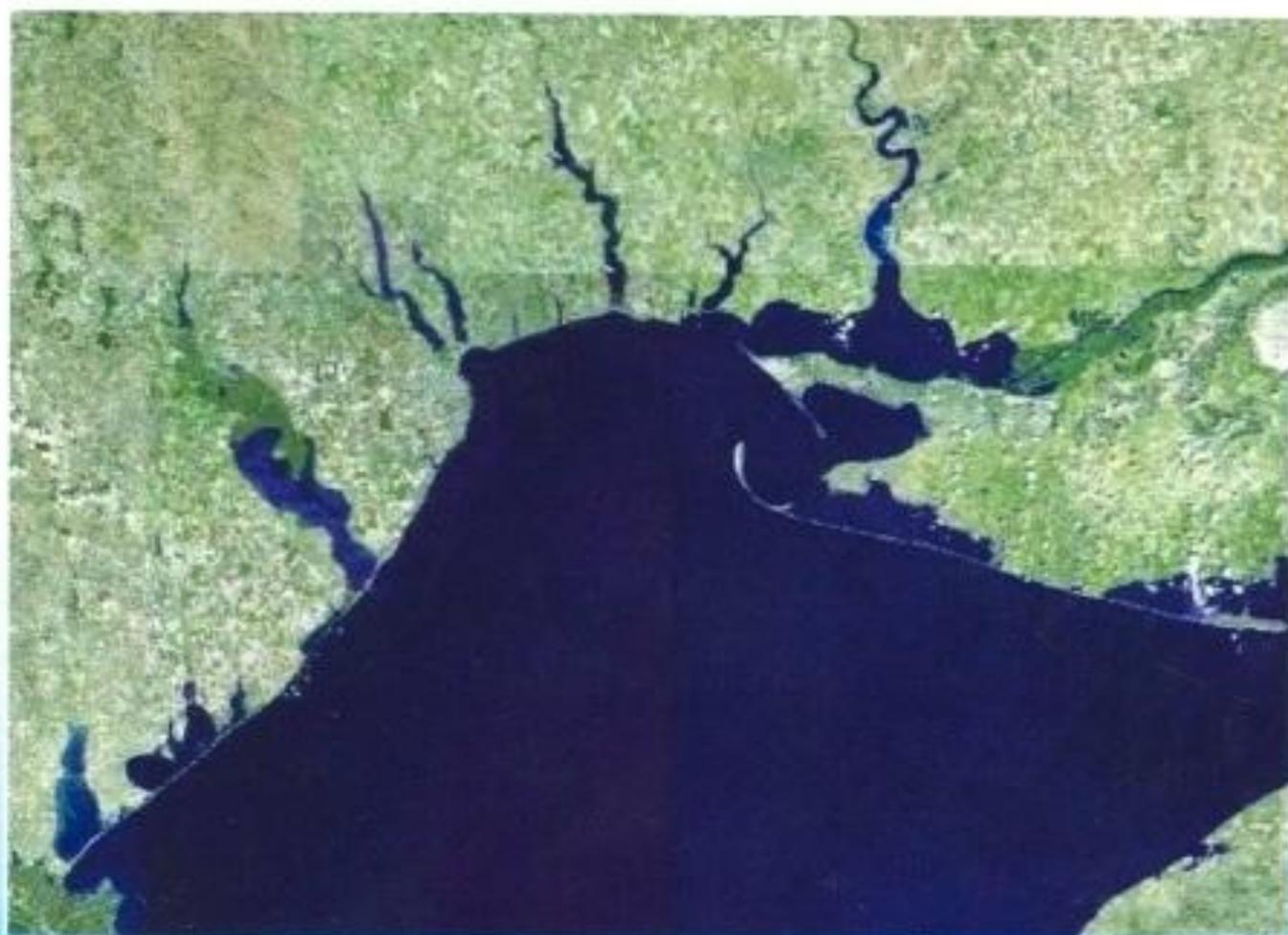


АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЛИМАНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

Монография



Одеса
«ТЭС»
2012

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Одесский государственный экологический университет

*Посвящается 80-летию Одесского государственного
экологического университета*

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЛИМАНОВ СЕВЕРО-
ЗАПАДНОГО
ПРИЧЕРНОМОРЬЯ**

Монография



Одесса
2012

ББК 26.22
А 43
УДК 504.42

Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: Коллективная монография / под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. Одесский государственный экологический университет. – Одесса: ТЭС, 2012. – с. 224, ил. 79, табл. 38, библи. 148.
ISBN 978-966-2389-61-6

В монографии приведены результаты исследований учеными Одесского государственного экологического университета особенностей формирования современного гидрологического режима определяющих его природных и антропогенных факторов, возможностей стабилизации и регулирования гидроэкологического состояния вод лиманов Одешины: Большого Аджалыкского (Дофиновского), Тилигульского, Куяльницкого, Тузловской группы лиманов. Разработана методика долгосрочного прогнозирования наполнения Хаджибейского лимана в период весеннего половодья и дождевых паводков для предотвращения угрозы разрушения дамбы и затопления части территории г. Одессы.

Рекомендуется для специалистов в области океанологии и морского природопользования, гидрологии суши, гидроэкологии, экологии и охраны морской среды, студентов гидрометеорологических и экологических специальностей.

Актуальні проблеми лиманів північно-західного Причорномор'я: Колективна монографія / за ред. Ю.С. Тучковенка, Є.Д. Гопченка.– Одеса: Одеський державний екологічний університет. – Одеса: ТЕС, 2012. – с. 224, іл. 79, табл. 38, біблі. 148.
ISBN 978-966-2389-61-6

У монографії викладені результати досліджень вченими Одеського державного екологічного університету особливостей формування сучасного гідрологічного режиму, природних і антропогенних чинників, які його визначають, можливостей стабілізації і регулювання гідроекологічного стану вод лиманів Одешини: Великого Аджалікського (Дофіновського), Тилигульського, Куяльницького, Тузловської групи лиманів. Розроблена методика довгострокового прогнозування наповнення Хаджибейського лиману в період весняної повені і дощових паводків для запобігання загрозі руйнування греблі і затоплення частини території м. Одеси.

Рекомендується для фахівців в області океанології та морського природокористування, гідрології суши, гідроекології, екології та охорони морського середовища, студентів гідрометеорологічних і екологічних спеціальностей.

Ответственные редакторы:

д.геогр.н., проф. Ю.С. ТУЧКОВЕНКО; д.геогр.н., проф. Е.Д. ГОПЧЕНКО

Рецензенты: д.биол.н. Г. Г. Миничева, д.геол.н., проф. А.В. Чепижко

*Рекомендовано к печати ученым советом
Одесского государственного экологического университета
Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины
(протокол № 9 от 27.10.2011 г.)*

Список авторов:

© В.В. Адабовский*, В.Н. Большаков*, Е.Д. Гопченко, О.Н. Гриб, Н.С. Лобода,
Н.Г. Сербов, Т.А. Сафранов, Ю.С. Тучковенко, О.А. Тучковенко, Ж.Р. Шакирзанова

*сотрудники Одесского филиала Института биологии южных морей НАН Украины

© Одеський державний екологічний університет

СОДЕРЖАНИЕ

Введение (<i>Сафранов Т.А., Тучковенко Ю.С.</i>).....	5
Глава 1 Методы расчета гидрологических характеристик Причерноморских лиманов.....	12
1.1 Научно-методические подходы к оценке составляющих водно-солевых балансов лиманов (<i>Гопченко Е.Д., Лобода Н.С.</i>).....	12
1.1.1 Уравнение водного баланса Причерноморских лиманов.....	12
1.1.2 Атмосферные осадки.....	14
1.1.3 Годовой сток.....	14
1.1.4 Внутригодовое распределение стока.....	27
1.1.5 Грунтовый сток.....	29
1.1.6 Испарение с водной поверхности Причерноморских лиманов.....	31
1.1.7 Максимальный сток.....	34
1.2 Численное математическое моделирование гидродинамических процессов в лиманах и их водообмена с морем (<i>Тучковенко Ю.С.</i>).....	44
1.2.1 Математическая структура модели.....	45
1.2.2 Блок теплообмена с атмосферой.....	59
1.2.3 Моделирование распространения примеси.....	62
1.2.4 Особенности численной реализации уравнений модели.....	63
Глава 2 Улучшение гидрологического и гидрохимического режимов Тузловской группы лиманов путем регулирования водообмена с морем (<i>Тучковенко Ю.С., Гопченко Е.Д., Сербов Н.Г.</i>).....	67
Глава 3 Регулирование гидроэкологического режима Дофиновского лимана (<i>Тучковенко Ю.С., Гопченко Е.Д., Адабовский В.В., Большаков В.Н.</i>).....	87
Глава 4 Оценка возможностей регулирования гидроэкологического режима Тилигульского лимана.....	115
4.1 Современный гидрологический режим и динамика вод Тилигульского лимана (<i>Тучковенко Ю.С., Адабовский В.В., Гриб О.Н., Тучковенко О.А.</i>).....	116
4.2 Влияние морфометрических характеристик соединительного канала на водообмен лимана с морем (<i>Тучковенко Ю.С., Тучковенко О.А.</i>)....	134
4.3 Оценка притока пресных вод в Тилигульский лиман (<i>Лобода Н.С.</i>)....	140
Глава 5 Оценка многолетних изменений составляющих водного баланса Куяльницкого лимана и рекомендации по сохранению его природных ресурсов (<i>Гопченко Е.Д., Гриб О.Н.</i>).....	149

Глава 6 Оценка наполнения Хаджибейского лимана поверхностными водами и долгосрочное прогнозирование его состояния в весенний период года (<i>Гопченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р.</i>).....	169
6.1 Условия формирования Хаджибейского лимана и его физико-географическая характеристика.....	170
6.2 Методика долгосрочного прогнозирования поступления весенних вод к закрытым лиманам северо-западного Причерноморья.....	185
6.3 Метод прогноза сроков начала весеннего подъема и наступления максимальных уровней воды в лиманах.....	201
Заключение (<i>Тучковенко Ю.С.</i>).....	207
Список литературы.....	212

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.

4.1 Современный гидрологический режим и динамика вод Тилигульского лимана

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 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. 4.1).

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 скоростью 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. 4.1), но при отсутствии водообмена с морем. Сток реки Тилигул полагался равным 0,3 м³/с в мае, 0,95 м³/с – в июле и 0,05 м³/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 солености морской воды 19 ‰ с использованием пересчетного множителя 0,94 (табл. 4.1) [4]. В табл. 4.1 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.

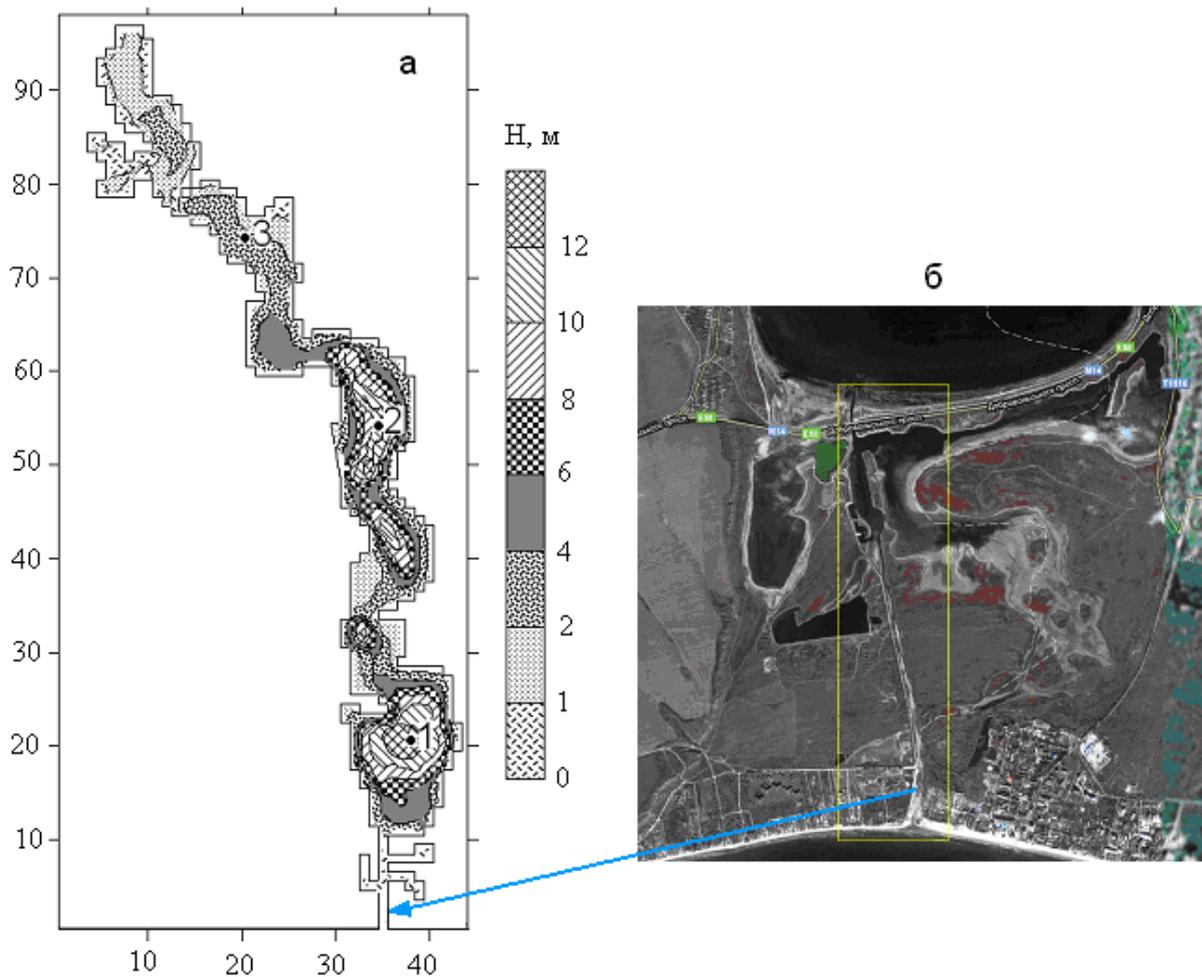


Рис. 1 – Горизонтальная расчетная сетка акватории Тилигульского лимана с глубинами, соответствующими уровню моря минус 0,4 м БС (а)*. Космический снимок участка побережья между южной частью Тилигульского лимана и прилегающей акваторией Черного моря (б), на котором расположен соединительный канал (выделен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

Таблица 4.1 – 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.	62,0	99,0	124,0	142,0	131,0	91,0

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 солености 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 солености воды в лимане в начальный момент времени задавалось на основе данных наблюдений и полагалось однородным в горизонтальной плоскости.

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. 4.2) по данным водомерного поста лим. Тилигульский – пгт. Коблево, осредненным помесечно 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.

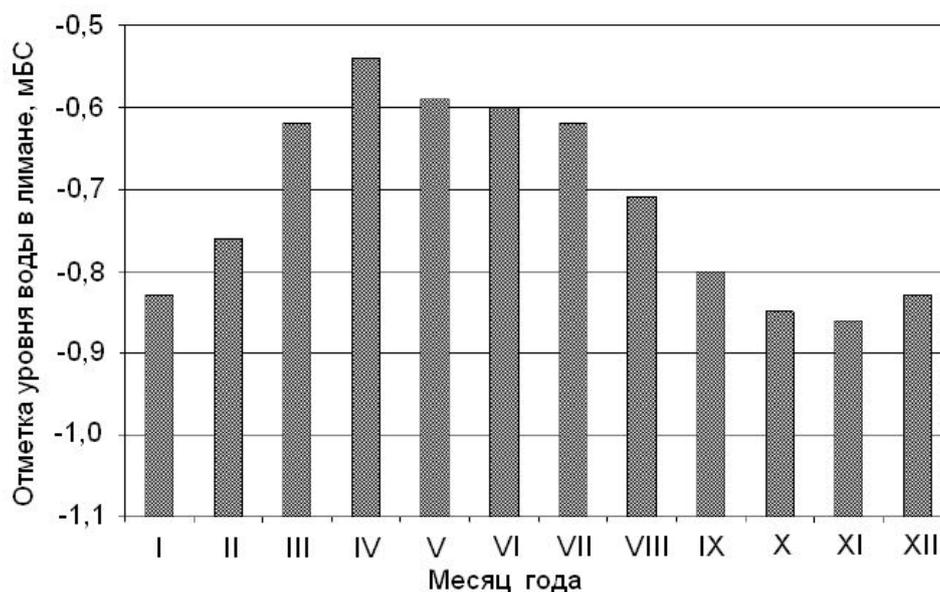


Рис. 4.2 – Сезонная изменчивость среднемесячных отметок уровня воды в Тилигульском лимане, осредненных за период с 1936 по 1987 гг.

На рис. 4.3 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.

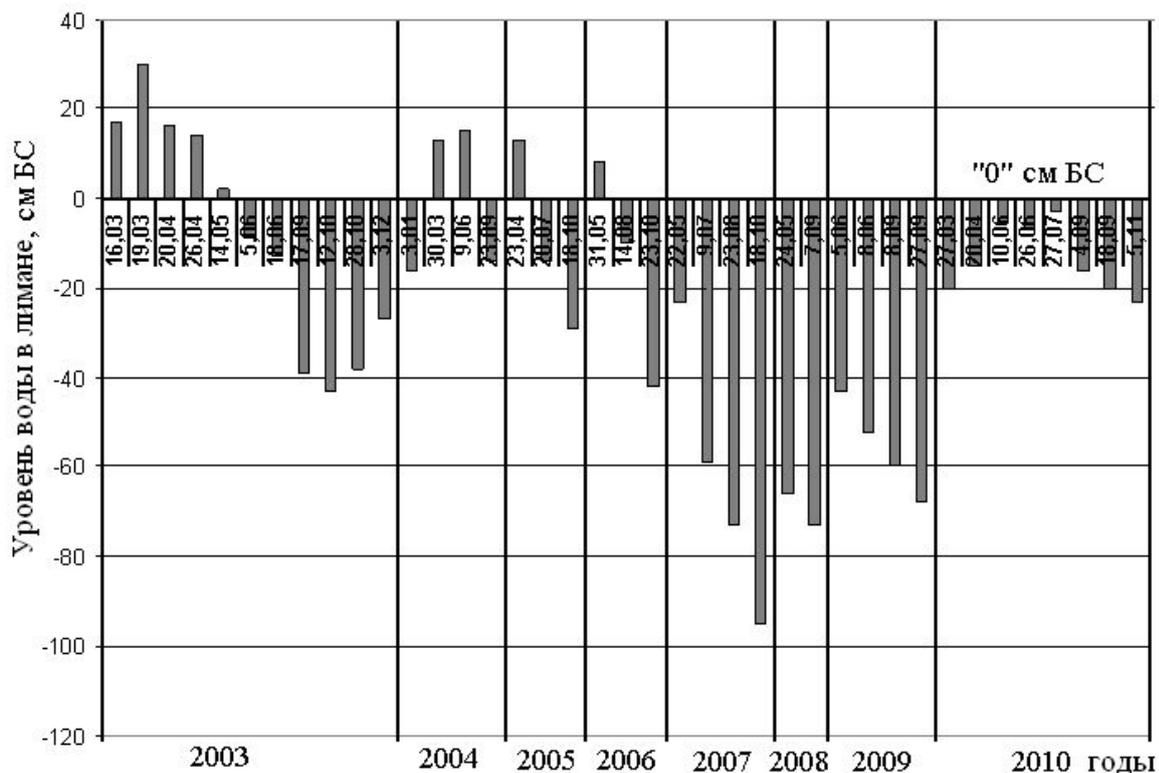


Рис. 4.3 – Изменчивость отметок уровня воды в Тилигульском лимане по данным эпизодических наблюдений в 2003-2010 гг.

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. 4.4 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.

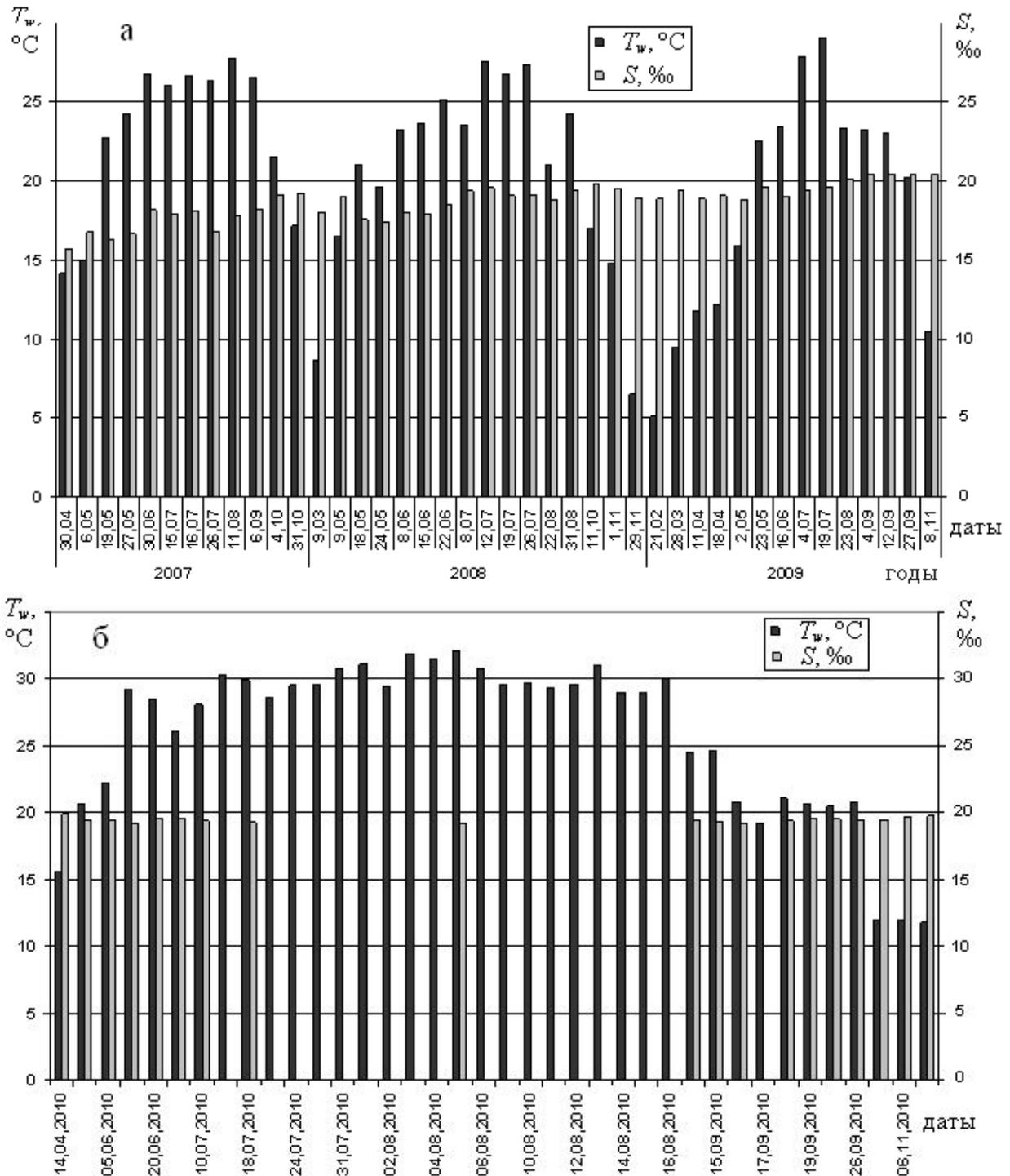


Рис. 4.4 – Изменчивость значений температуры ($T_w, ^\circ\text{C}$) и солёности ($S, \text{‰}$) воды в поверхностном слое центральной части Тилигульского лимана: а – 2007-2009 гг.; б – 2010 г.

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. 4.5).

Соленость воды в лимане может колебаться от 6 ‰ в период весеннего половодья до 23 ‰ осенью (рис. 4.6). 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 ‰.

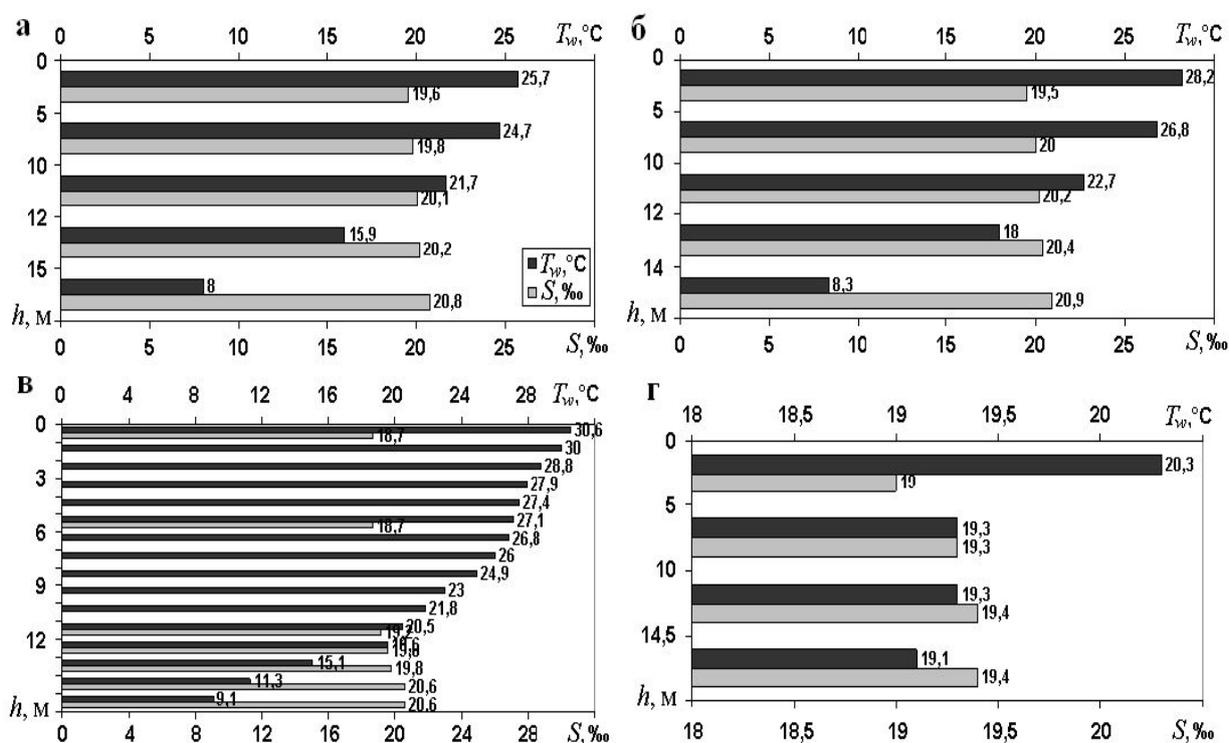


Рис. 4.5 – Изменчивость вертикального распределения температуры (T_w , °C) и солености (S , ‰) воды в котловине центральной части Тилигульского лимана в 2010 г.:

а – 04.07.2010; б – 18.07.2010; в – 05.08.2010; г – 16.09.2010

В центральной части лимана на протяжении 2007-2009 гг. (рис. 4.4) 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. 4.5). Максимальная разница между соленостью вод поверхностного и придонного слоев не превышает 2 ‰.

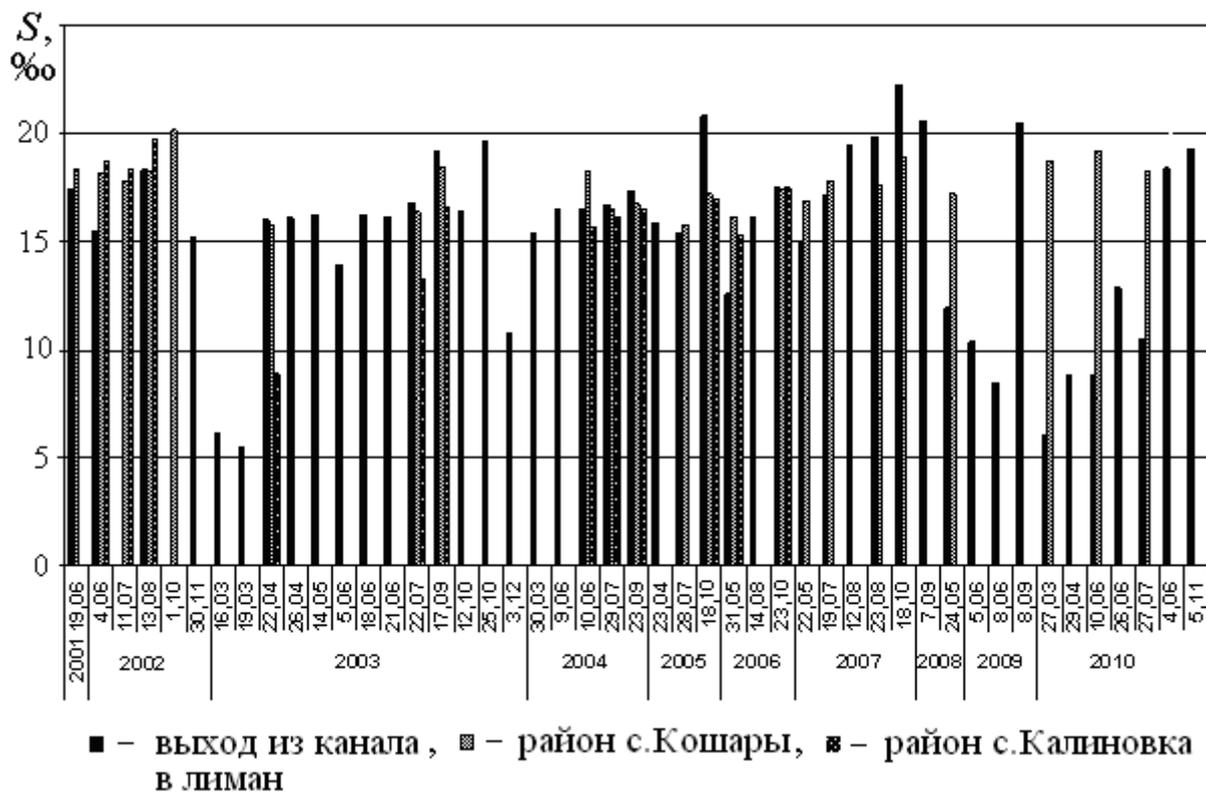


Рис. 4.6 – Изменчивость значений солености воды (S , ‰) в различных частях Тилигульского лимана по данным эпизодических береговых наблюдений в 2001-2010 гг.

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. 4.7, 4.9.1), 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, разъединенных мелководными участками (рис. 4.1). 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. 4.8, 4.9.П 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. 4.9.П.а).

На рис. 4.10.а 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. 4.10.б). 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. 4.10.а) 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. 4.11. 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. Полученные в результате моделирования значения скоростей течений в канале хорошо согласуются с данными немногочисленных эпизодических натурных 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.

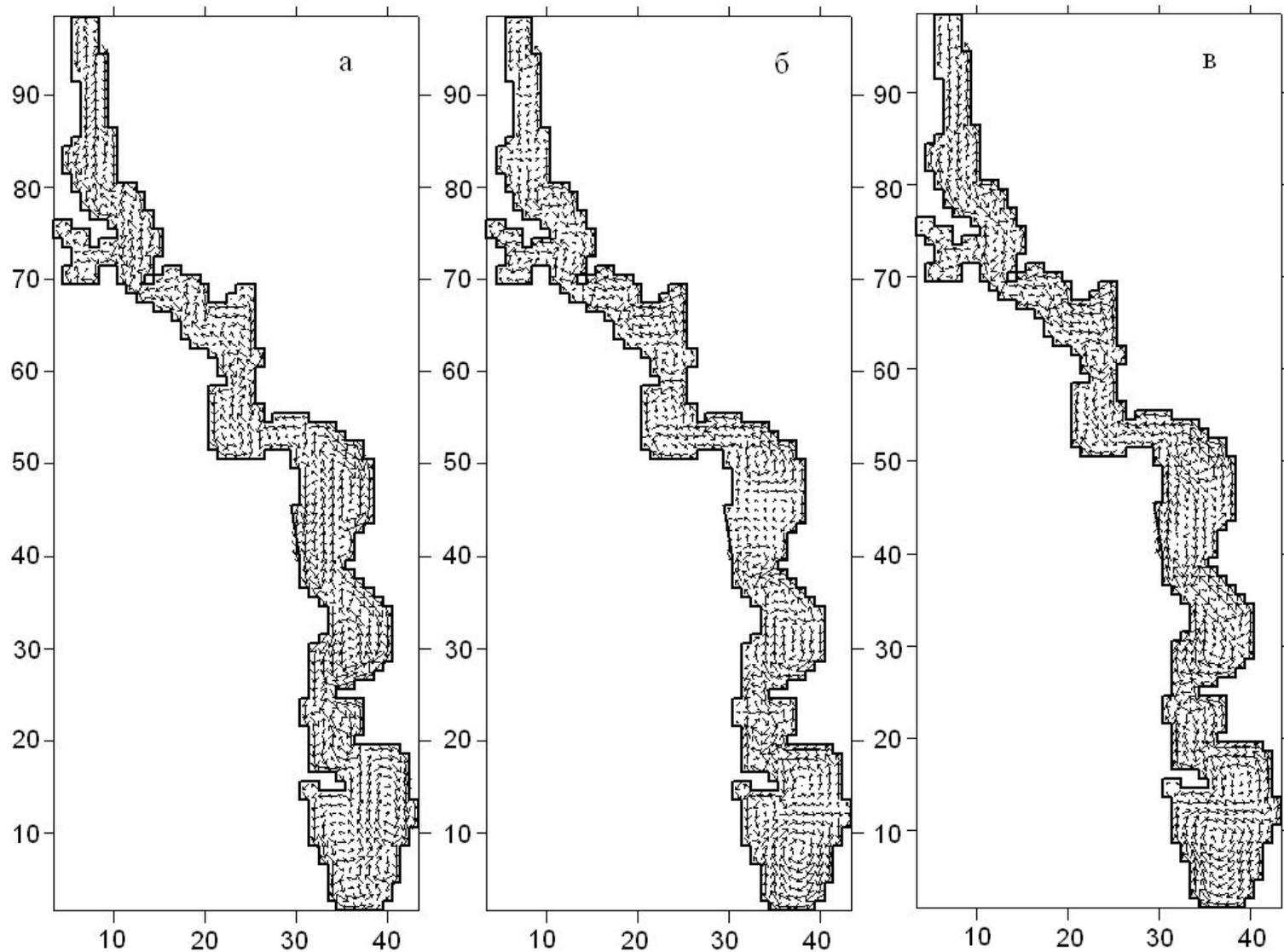


Рис. 4.7 – Поле векторов средних по глубине (баротропных) течений в лимане при стационарных ветрах скоростью 5 м/с различных направлений: а – северном; б – восточном; в – юго-восточном

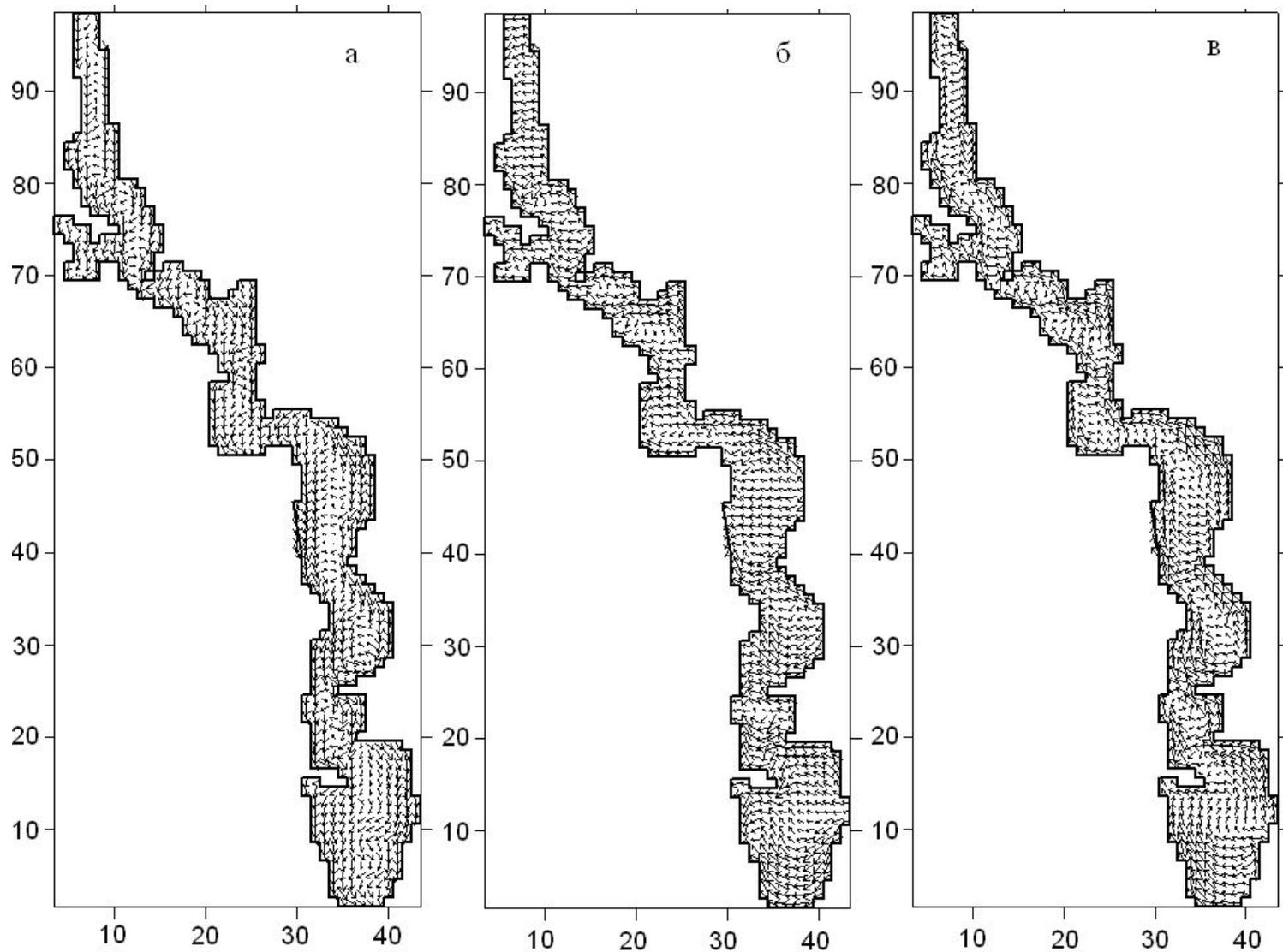


Рис. 4.8 – Поле векторов поверхностных ветровых течений в лимане при стационарных ветрах скоростью 5 м/с различных направлений: а – северный; б – восточный; в – юго-восточный

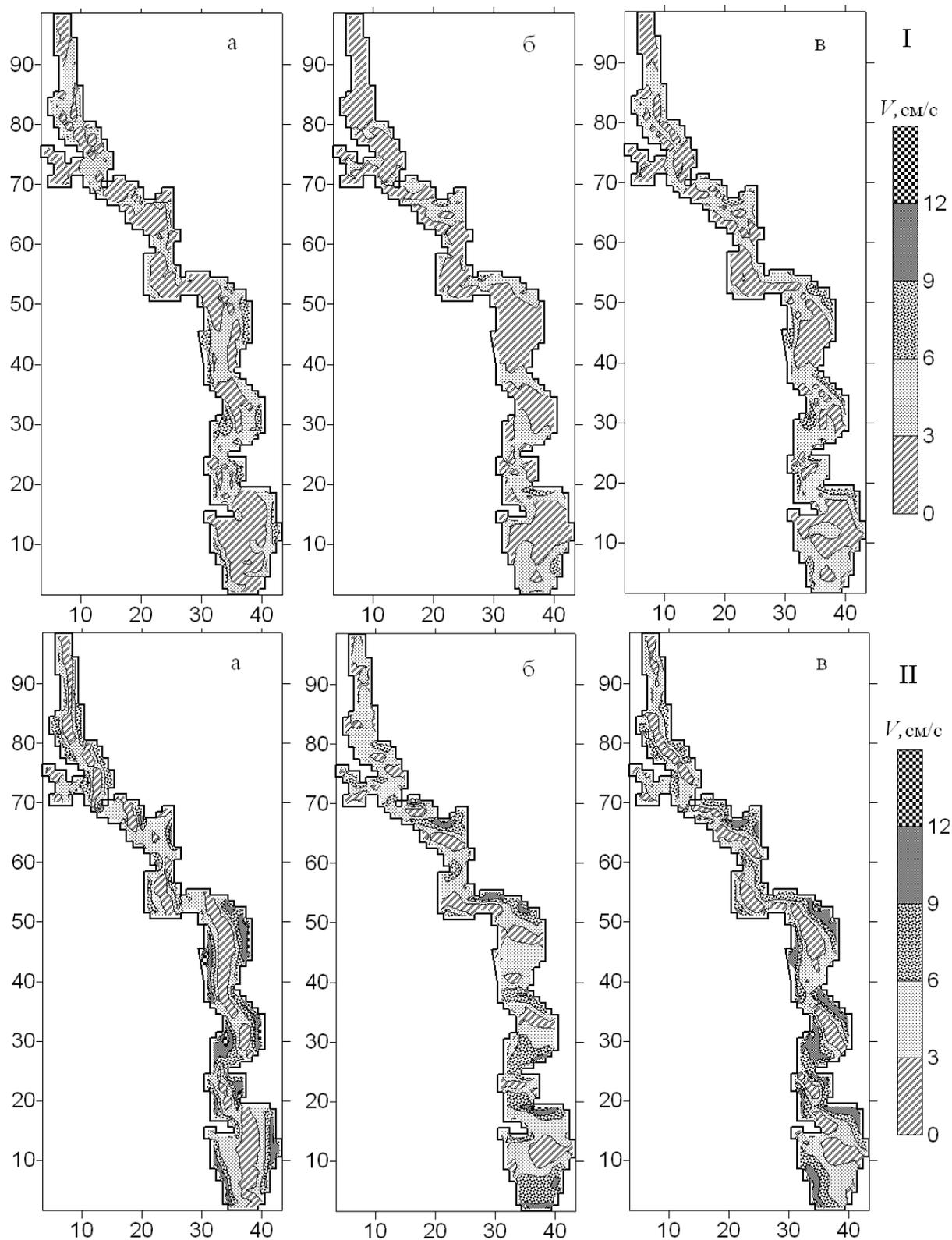


Рис. 4.9 – Поля изотак средних по глубине (баротропных) течений (I) и поверхностных ветровых течений (II) в лимане, см/с, при стационарных ветрах скоростью 5 м/с различных направлений: а – северный; б – восточный; в – юго-восточный

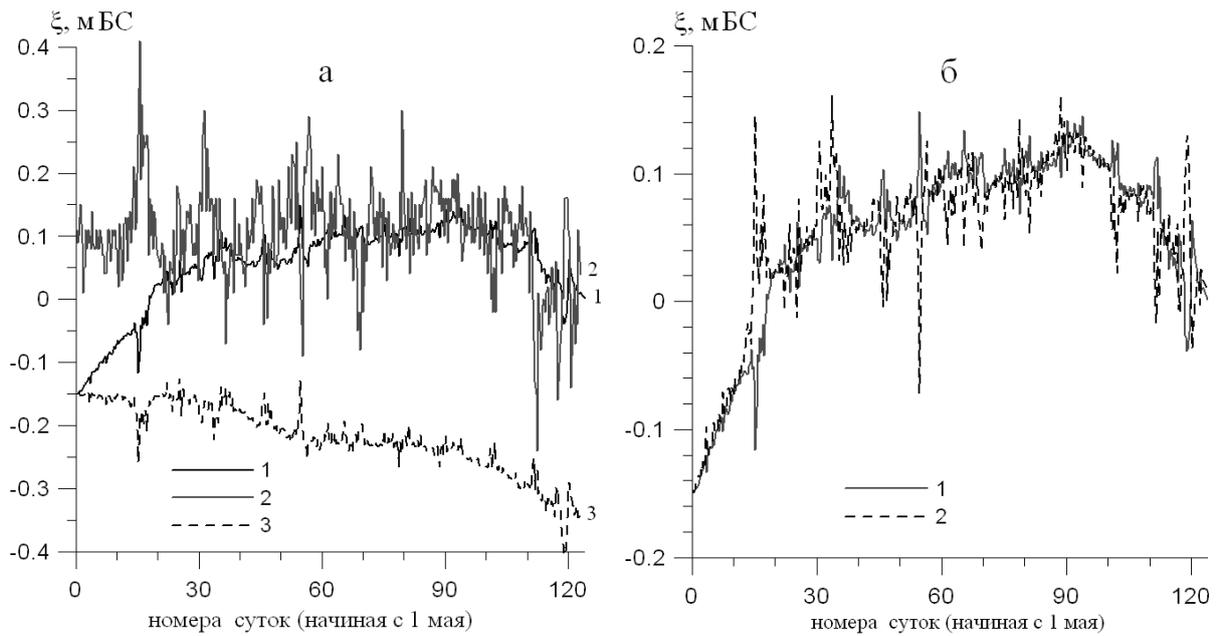


Рис. 4.10 – Временная изменчивость отметки уровня воды (м БС): а – на границах соединительного канала со стороны лимана (1) и моря (2) при открытом канале, у южной границы лимана при закрытом канале (3); б – на южной (1) и северной (2) оконечностях лимана при открытом канале

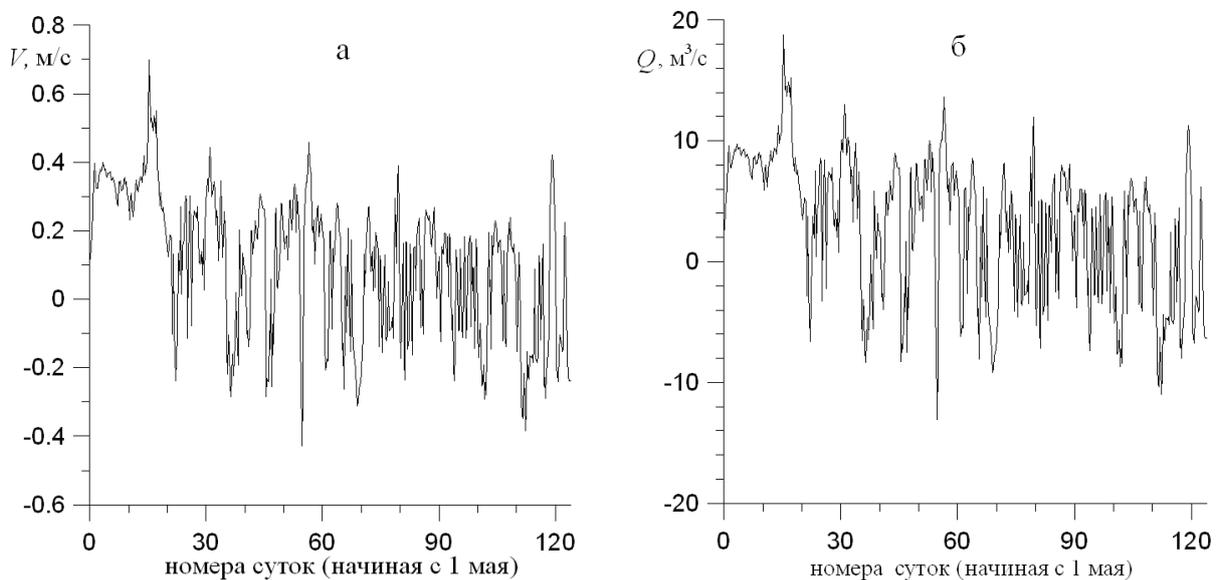


Рис. 4.11 – Временная изменчивость скорости баротропных течений, м/с, (а) и расходов воды, м³/с, (б) в соединительном канале (вблизи выхода в лиман) при современных его морфометрических характеристиках. Положительные значения соответствуют втоку воды в лиман, отрицательные – вытоку

На рис. 4.12 приведена полученная в модели и по данным наблюдений изменчивость температуры и солёности 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 наблюдаемых значений температуры на рис. 4.12.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.

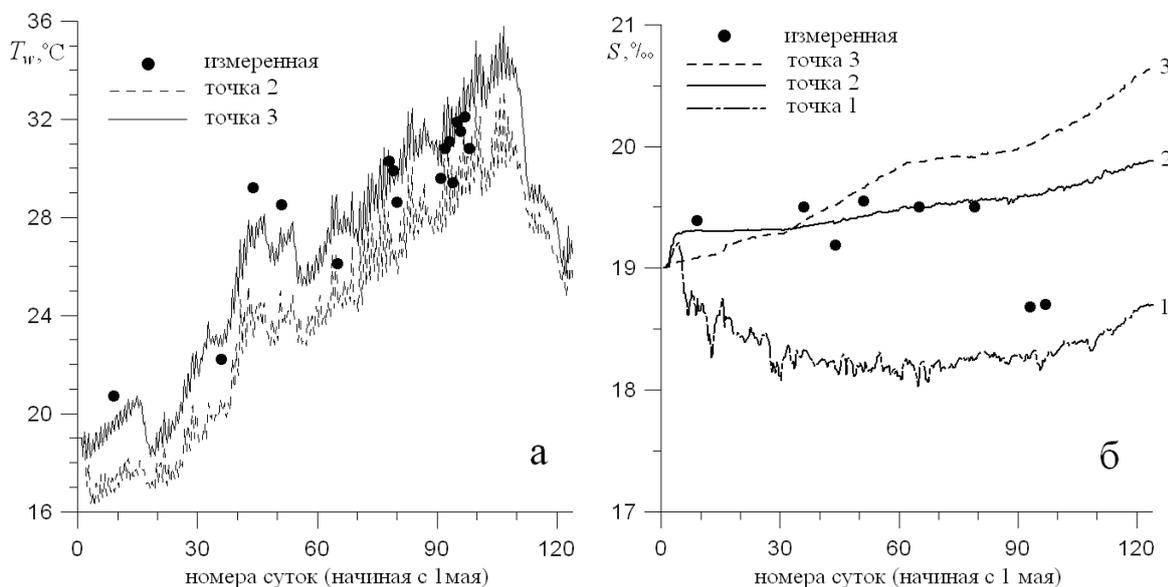


Рис. 4.12 – Временная изменчивость температуры, °С, (а) и солёности, ‰, (б) вод поверхностного слоя в реперных точках на акватории лимана (рис. 4.1), полученная при моделировании и по данным эпизодических наблюдений на участке акватории, прилегающем к с.Пшеняново (центральная часть лимана)

При наличии водообмена с морем солёность 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, солёность вод наибольшая и превышает 20 ‰. Во временной изменчивости наблюдаемых значений солёности вод поверхностного слоя в центральной части лимана (рис. 4.12.б) обращает на себя внимание понижение ее значений в начале августа 2010 г. до 18,7 ‰, которое не отражается в результатах модельных

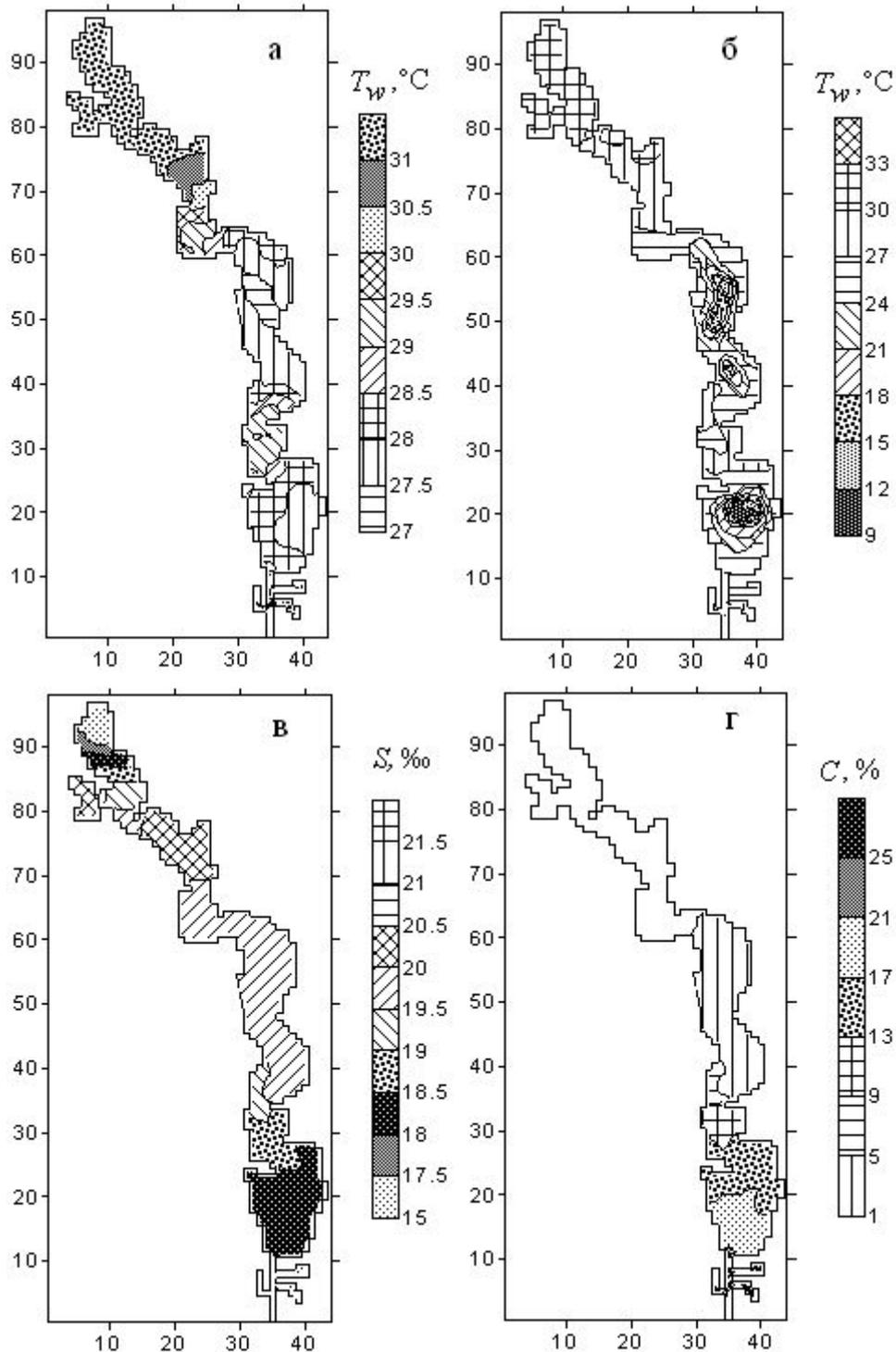


Рис. 4.13 – Пространственное распределение температуры воды, °С, в поверхностном (а) и придонном (б) слоях лимана; солёности, ‰, вод поверхностного слоя (в); концентрации в поверхностном слое консервативной примеси нейтральной плавучести, усл. ед., поступающей в лиман с морскими водами (г)

расчетов. Это означает, что зафиксированное понижение солёности не связано с учитываемыми при модельных расчетах факторами:

проникновением трансформированных морских вод из южной части лимана и стоком р.Тилигул, а обусловлено вероятнее поступлением пресных вод с боковым стоком с берегов лимана.

Рассчитанное с помощью модели пространственное распределение температуры и солености морской воды, соответствующее середине июля, приведено на рис. 4.13. 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.

Как следует из рис. 4.14, модель с достаточной для гидроэкологических расчетов точностью отражает особенности вертикального распределения температуры воды в глубоких частях лимана.

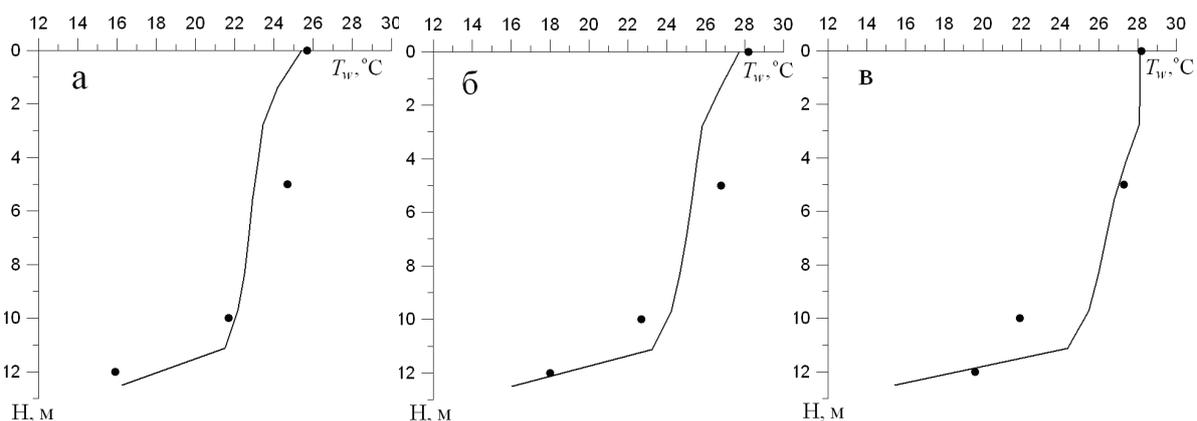


Рис. 4.14 – Вертикальное распределение температуры воды, °С, полученное в модели (кривые) и по данным натуральных наблюдений (точки) в котловине центральной части Тилигульского лимана в 2010 г.: а – 04.07.2010; б – 18.07.2010; в – 01.08.2010

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 м БС. 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.

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.

4.2 Влияние морфометрических характеристик соединительного канала на водообмен лимана с морем

В настоящее время, в результате антропогенных преобразований на водосборном бассейне лимана, значительного изъятия стока р.Тилигул в хозяйственных целях, увеличения повторяемости засушливых сезонов, наиболее реальным механизмом регулирования гидроэкологического режима лимана представляется обеспечение водообмена с морем.

При функционировании соединительного канала направленность и интенсивность водообмена с морем определяются морфологическими характеристиками канала (шириной, глубиной) и инициированными ветром короткопериодными сгонно-нагонными колебаниями уровня моря.

Водообмен с морем определяет термохалинную структуру вод в лимане и ее пространственно-временную изменчивость, а также влияет на динамику вод. В летний период года обеспечение интенсивного водообновления лимана за счет водообмена с морем является фактором стабилизации его гидроэкологического состояния. Поэтому актуальной представлялась задача определения таких оптимальных морфометрических характеристик соединительного канала, которые обеспечат максимальное проникновение морских вод в лиман. Исходя из вышесказанного, с помощью описанной в разделе 1.2 гидродинамической модели [5-7], оценим влияние морфометрических характеристик соединительного канала на интенсивность водообмена лимана с морем и разбавления загрязненных лиманных вод относительно чистыми морскими.

Моделирование выполнялось при тех же условиях, что и в третьей серии численных экспериментов, описанных в предыдущем подразделе, за исключением того, что изменялись морфометрические характеристики канала (ширина и глубина).

В качестве индикатора проникновения морских вод в лиман рассматривалась консервативная примесь нейтральной плавучести, концентрация которой в морской воде принималась равной 100 условным единицам, а в лимане в начальный момент времени – нулю. В данной постановке концентрацию примеси можно рассматривать как показатель процентного содержания морских вод в различных частях лимана.

Сценарные расчеты проводились для следующих вариантов морфологических характеристик канала:

К главе 3

1. *Адобовский В.В.* Новый этап высыхания закрытых лиманов (на примере Дофиновского лимана) // География и природные ресурсы, – 1996. – № 2. – С.167-169.
2. *Адобовский В.В.* Гидрологические аспекты реконструкции приморских лиманов// География и природные ресурсы, – 2005. – № 2. – С. 68-72.
3. *Северо-западная часть Черного моря: Биология и экология /* Под ред. Ю.П.Зайцева, Б.Г.Александрова, Г.Г.Миничевой.– Киев: Наук. Думка. – 2006.– 703 с.
4. *Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР: Справочник. Т.4. Черное море.–* Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 99 с.
5. *Обґрунтування заходів щодо покращення гідрологічного та сольового режимів Дофіновського лиману Комінтернівського району/* Одес. Держ. Екол. Ун-т; № ДР 0108U001214. – Одеса, 2007. – 101 с.
6. *Боуден К.Ф.* Физическая океанография прибрежных вод. – М.: Мир. – 1988. – 326 с.
7. *Лонин С.А., Тучковенко Ю.С.* Имитация сгонно-нагонных колебаний уровня моря в портах северо-западной части Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ. – 1999.- С. 58 – 66.
8. *Чернякова А.П.* Типовые поля ветра Черного моря // Сб. работ БГМО ЧАМ .- Л.: Гидрометеиздат.-Вып.3.- 1965.-С.78 – 121.
9. *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: НАН Украины, МГИ.– 2003.– С. 138-153.
10. *Тучковенко Ю.С.* Гидродинамическая модель для расчета трехмерной циркуляции и термохалинной структуры вод северо-западной части Черного моря // Метеорологія, кліматологія та гідрологія.– 2002.– № 45. – С. 129 - 139.

К главе 4

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. – Севастополь: МГИ НАН Украины, ОФ ИНБЮМ. – Вып. 9. – 2003. – С. 54–58.
2. *Тимченко В.М.* Эколого-гидрологические исследования водоемов северо-западного Причерноморья.– Киев: Наукова думка, 1990. – 238 с.
 3. *Розенгурт М.Ш.* Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов.– Киев: Наукова думка, 1974.– 224 с.
 4. *Оцінка та розрахунок гідраліко-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.– Севастополь: НАН Украины, МГИ.– 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.
 9. *Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца.* – К.: Урожай, 1987. – 304 с.
 10. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия. Т. 6. Вып. 1. Зап. Украина и Молдавия.* – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 882 с.
 11. *Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.* – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
 12. *Коротун І.М., Коротун Л.К., Коротун С.І.* Природні ресурси України. Рівне, 2000. С. 192.
 13. *Атлас природных условий и естественных ресурсов УССР.* – М.: ГУГК (отдел географии), 1978. – 120 с.
 14. *Атлас Одеської області.* – Одеса: Хорс, 2002. – 80 с.
 15. *Швебс Г.И., Игошин М.І.* Каталог річок і водойм України: навчально-довідковий посібник / Під ред. Є.Д. Гопченка. – Одеса: Астропринт, 2003. – 390 с.
 16. *Бефани А.Н.* Пути генетического определения нормы стока. - Научный ежегодник ОГУ. - Одесса. - 1957. - 125 с.