

УДК 551.46:504.42

Ю.С. Тучковенко<sup>\*</sup>, д.геогр.н., Е.Д. Гопченко<sup>\*</sup>, д.геогр.н., В.В. Адобовский<sup>\*\*</sup>,  
В.Н. Большаков<sup>\*\*</sup>, к.геогр.н.

<sup>\*</sup>Одесский государственный экологический университет

<sup>\*\*</sup>Одесский филиал Института биологии южных морей НАН Украины

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДОФИНОВСКОГО ЛИМАНА

*Проведен анализ естественных и антропогенных факторов, которые формируют современный гидроэкологический режим лимана. Определены составляющие водно-солевого баланса водоема. Проанализирована изменчивость колебаний уровня воды в море и водоеме. Получены оценки влияния искусственно регулируемого водообмена с морем на соленость и температуру воды, колебания уровня воды в лимане. Разработаны рекомендации по регулированию искусственного водообмена лимана с морем, с учетом сезонной изменчивости гидроэкологических характеристик лимана и влияния на них внешних факторов.*

**Ключевые слова:** Причерноморье, Дофиновский лиман, гидроэкологический режим, регулирование.

Дофиновский лиман (Большой Аджалыкский или Бюю-Аджалык) расположен восточнее г.Одессы и относится к группе Причерноморских лиманов, водообмен которых с открытым морем искусственно регулируется. В связи с экологическими проблемами лимана (обмеление, эвтрофирование и ухудшение качества вод, случаи заморозов) и интенсивным развитием аквакультуры на его акватории, особую актуальность приобретает задача разработки научно-обоснованных рекомендаций для стабилизации и улучшения гидрологического и гидрохимического режимов лимана. Решение этой задачи является целью данной статьи.

Ранее изменчивость гидрологических и гидроэкологических характеристик Дофиновского лимана обсуждалась в работах [1-3].

**Исходные материалы исследования.** Авторами использовались данные морфологических исследований акватории лимана, наблюдения за изменчивостью уровня, температуры и солености воды в лимане, выполненные специалистами Одесского филиала ИНБЮМ в 1999 - 2007 гг., материалы многолетних гидрометеорологических наблюдений на МГС Одесса-порт и МГФЛ ОГЭКУ.

**Методы исследования.** В работе использованы методы научного анализа, статистической обработки данных полевых исследований морфологических характеристик бассейна лимана, изменчивости гидрологических характеристик вод лимана, полуэмпирические методы оценки составляющих водно-солевого баланса, численное математическое моделирование изменчивости гидротермодинамических характеристик вод лимана.

**Физико-географическая и гидроэкологическая характеристика объекта исследования.** Дофиновский лиман расположен в 6 км к востоку от современной городской черты г. Одессы. Он вытянут в меридиональном направлении с ЮЮЗ на ССВ и отделен от моря пересыпью из песка и ракушки шириной 100 - 150 м и протяженностью 800 м.

Образовался лиман в результате трансгрессии моря на долину реки Большой Аджалык. В настоящее время река, длина которой ранее достигала 25 - 30 км, практически прекратила свое существование.

Площадь водосбора бассейна Дофиновского лимана с учетом бассейна р.Большой Аджалык и Черной балки  $\approx 110 \text{ км}^2$ , из них площадь водосбора собственно

лимана  $\approx 50 \text{ км}^2$ . По обоим берегам лимана имеется несколько балок, устья которых подходят к урезу воды. По этим балкам происходит боковой приток вод при выпадении осадков и таянии снега.

Морфологические характеристики составных частей лимана при НПУ = -0.3 мБС приведены в табл. 1. Лиман состоит из двух бассейнов: Малого и Большого (рис. 1а), которые соединяются проливом шириной  $\approx 150 \text{ м}$ . Глубины в Малом бассейне значительно меньше, чем в Большом. Особенно мелководна северная часть, в которой обнажаются обширные площади дна при понижении уровня воды, вызванном интенсивным испарением летом, а также при развитии сгонно-нагонных колебаний, инициированных ветровым воздействием. Из-за мелководности северной части длина лимана существенно зависит от уровня воды: при уровне -0.3 мБС она составляет 7 км, при 0.25 мБС – 8.1 км, при 0.6 мБС – 9.5 км (март 2003 г.).

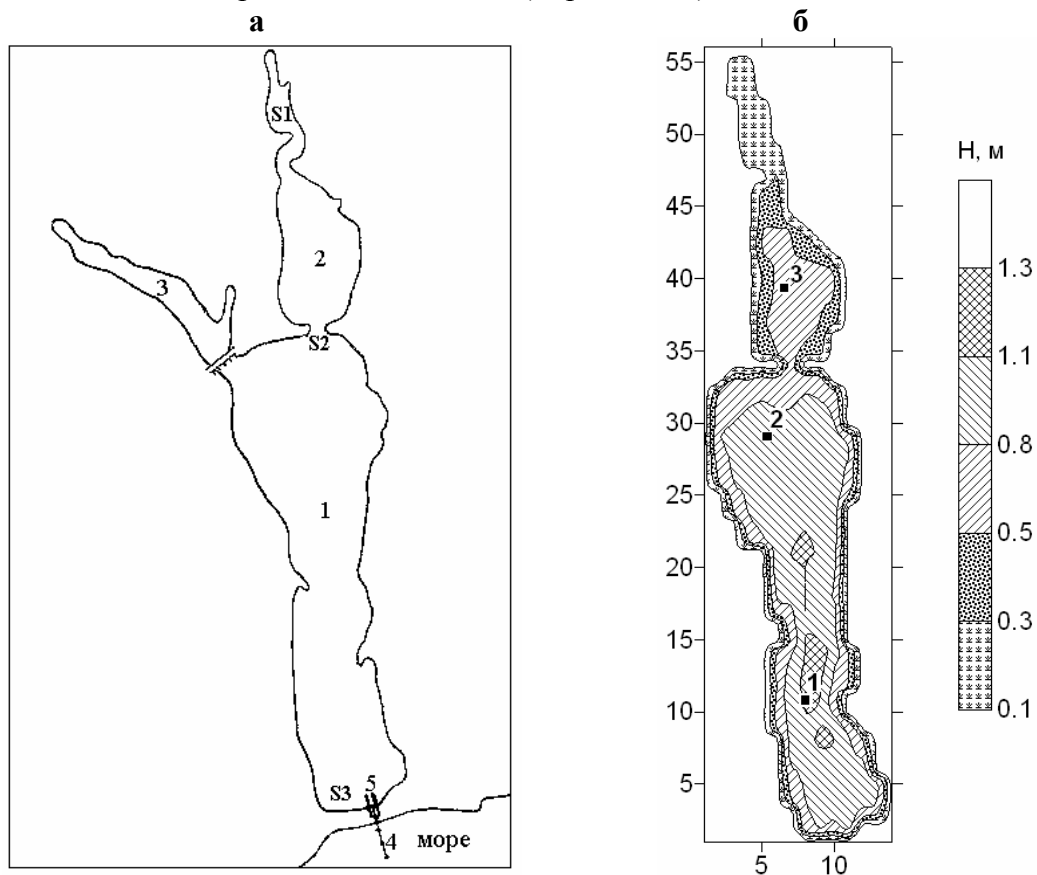


Рис. 1 – Схема (а) и батиметрическая карта (б) расчетной области Дофиновского лимана.

Обозначения: а) 1 – Большой бассейн; 2 – Малый бассейн; 3 – пресноводный Александровский пруд; 4 – трубопровод; 5 – канал. S1, S2, S3 – пункты натуральных наблюдений; б) глубины, в м, при отметке уровня воды -0.3 мБС. Цифрами отмечены точки, в которых выводятся ряды временной изменчивости моделируемых величин. Оси размечены в шагах расчетной сетки с горизонтальным шагом  $\Delta x = \Delta y = 135 \text{ м}$ .

Примыкающий к северо-западной части Большого бассейна пресный Александровский пруд имеет искусственное происхождение. Он сооружен в ложе Черной балки в 60-х годах прошлого столетия для водоснабжения Кулиндоровского промузла. В северо-западную часть пруда производится сброс сточных вод Кулиндоровского промузла объемом 1-2 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$ , с минерализацией  $0.5 \text{ г}/\text{дм}^3$ . Пруд отделен от Большого бассейна дамбой с гидроузлом, через который происходит перелив воды в лиман. Край переливного створа гидроузла расположен на 3.2 м выше

НПУ лимана. Интенсивность поступления воды (с минерализацией 1.0 – 1.2 г/дм<sup>3</sup>) из Александровского пруда в лиман через гидроузел может достигать 8 тыс. м<sup>3</sup>/сут в зависимости от количества выпавших осадков.

По балке на южной окраине с. Александровка происходит сброс воды в лиман из системы прудов, расположенных на территории села. Объем сброса составляет в среднем 200-300 м<sup>3</sup>/сут (максимум 500 м<sup>3</sup>/сут) с минерализацией воды 1.1-1.3 г/дм<sup>3</sup>.

Дофиновский лиман к началу 1990-х годов характеризовался прогрессирующими процессами высыхания и осолонения, малыми глубинами (максимальная глубина в 1992 г. составляла 0.7 м), крайне бедной ихтиофауной и бентосом.

Таблица 1 – Основные морфометрические характеристики лимана

Характеристики при НПУ	Малый бассейн	Большой бассейн	Александровский пруд
Площадь, км <sup>2</sup>	1.12	4.15	0.75
Объем, км <sup>3</sup>	0.000347	0.00342	0.0015
Средняя глубина, м	0.3	0.8	2.0
Максимальная глубина, м	0.65	1.1	3.6
Длина по оси, км	2.4	4.5	2.9
Средняя ширина, км	0.5	0.95	0.2
Максимальная ширина, км	0.75	1.45	0.35

В начале XIX века лиман с морем соединял канал, но уже в засушливом 1853 г., когда канал не функционировал, лиман высох почти полностью. Во второй половине XIX века водность лимана восстановилась и в сентябре 1893 г. уровень его был только на 19 см ниже уровня моря. Однако, в дальнейшем этот лиман по своим природным характеристикам вплотную приблизился к категории лимана-солонца, т.е. последней стадии деградации экосистемы этих водоемов. Перехват стока р. Большой Аджалык, вызванный сооружением прудов в ее долине, оказал самое негативное воздействие на лиман. В XX столетии Дофиновский лиман пережил несколько периодов, когда процессы высыхания и осолонения достигали критических значений. Это происходило в конце 20-х, в конце 40-х – начале 50-х и в первой половине 90-х годов прошлого века. В эти периоды значительная часть лимана высыхала, а соленость вод приближалась к 100 ‰.

В 1993 – 1994 гг. площадь водного зеркала лимана сокращалась более чем на четверть, а максимальное значение солености воды достигло 94 ‰ [1].

Ввиду малых глубин и высокой солености воды водоем относился к числу абсолютно бесперспективных для ведения рыбного хозяйства. Единственным вариантом спасения лимана от полной деградации было установление регулярного водообмена с морем.

В 1997 г. начаты работы по программе “Восстановление экологической системы лимана”, которую выполняет фермерское хозяйство “Восход”. На первом этапе (с 1998 по июнь 2002 гг.) осуществлялся периодический водообмен с морем по каналу длиной ≈ 100 м, который прокладывался через песчаную пересыпь. Время функционирования канала зависело от интенсивности гидродинамических процессов в море, потому что, как правило, в первый же шторм устье канала замывалось песком и водообмен прекращался. Несмотря на довольно короткие отрезки времени работы канала, начиная с 1998 г. наметились позитивные тенденции в изменении экологической ситуации на акватории лимана. Увеличился объем вод в лимане, произошла некоторая стабилизация

уровня и солености, повысилась прозрачность воды, что создало более благоприятные условия для жизни гидробионтов.

К июлю 2002 г. в основном было закончено строительство комплекса гидротехнических сооружений на пересыпи, который должен обеспечивать постоянный водообмен лимана с морем и регулирование его водно-солевого режима. Комплекс состоит из канала со средней глубиной около 2 м, выдвинутого в лиман и ограниченного шпорами из насыпного грунта длиной 100 м. Канал отделен от моря песчаной перемычкой шириной 30 – 40 м. Через перемычку проложен трубопровод длиной 250 м с диаметром трубы 920 мм и выходом ее в море на глубину 3 м. Длина морской части трубопровода составляет 200 м (рис.1а). На оголовке трубы в канале стоит заслонка, позволяющая регулировать объем воды, проходящий по трубопроводу. Движение воды обеспечивается перепадом уровней в системе лиман-море.

В начале июля 2002 г. гидроузел начал действовать, что сразу же оказало позитивное влияние на гидроэкологический режим лимана. Жарким летом 2002 г. работа гидроузла позволила избежать его катастрофического высыхания. В июне-августе объем испарения с площади водной поверхности лимана превысил объем выпавших на его акваторию осадков, как минимум, в 3 раза. К середине лета уровень воды в лимане понизился на 40 см по сравнению с его значением в марте. Возникла опасность осушения больших участков дна в северной части лимана и значительного повышения солености воды. Поступление морской воды по трубопроводу в лиман позволило стабилизировать его уровень, который во второй половине августа начал медленно повышаться. Соленость вод лимана от весны к осени непрерывно возрастала. В Большом бассейне с марта по октябрь она выросла на 10 ‰. В Малом бассейне за тот же период соленость выросла на 17 ‰, а максимальное значение в начале сентября отмечено в северной части (точка S1, рис. 1б) – 52.4 ‰. В марте-октябре 2002 г. значения солености воды в среднем составили в точках: S1 – 31.7 ‰; S2 – 22.6 ‰; S3 – 21.0 ‰.

Уменьшение интенсивности испарения с акватории лимана во второй половине осени и увеличение количества осадков привели к повышению уровня водоема. При увеличении повторяемости северных и северо-западных ветров, дующих вдоль оси лимана, активизировались реверсивные движения потоков воды через трубопровод, что улучшило водообмен, увеличило водную массу лимана и привело к снижению солености воды. Таким образом, несмотря на интенсивное испарение, регулярный водообмен позволил поддерживать процессы восстановления экосистемы лимана.

Широкое распространение в лимане получили водоросли-макрофиты и высшие водные растения. Высшие водные растения своей корневой системой укрепили донные грунты, состоящие в основном из ила с ракушкой. Это уменьшило мутность воды, которая всегда была очень высокой в лимане, т.к. даже слабое ветровое волнение взмучивало верхний слой донных осадков, что создавало неблагоприятные условия для гидробионтов. Увеличилась прозрачность воды, которая ранее в летний период не превышала 15-20 см, а сейчас составляет 50 - 70 см.

В результате выполнения мероприятий по восстановлению экосистемы, в лимане появились промысловые скопления рыбы (кефали, бычков, атерины, камбалы-гlossы) и креветки. В 2002 г. рыбопродуктивность водоема достигла 18 кг/га.

После теплого летнего сезона 2002 г. наступила аномально холодная зима 2002 - 2003 гг., во время которой средняя температура воздуха была на 3 °С ниже климатической нормы региона.

Значительное понижение температуры воздуха в конце осени привело к началу льдообразования на лиманах в первой декаде декабря 2002 г. Вследствие мелководности, в Дофиновском лимане произошло быстрое охлаждение воды до

-1.5 °С. Уже к 8 декабря 2002 г. вся акватория была покрыта льдом, который полностью сошел только в конце марта 2003 г. Максимальной толщины (45 - 47 см) лед достиг в феврале 2003 г.

Поступление паводковых вод в начале февраля на покрытый льдом Дофиновский лиман привело к увеличению его протяженности на север с 8 до 9 км, причем вновь образовавшаяся часть лимана глубиной 15 – 20 см вскоре промерзла до дна. Подо льдом в Малом бассейне лимана воды с соленостью 2 – 5 ‰ и температурой 0.1 – 0.4 °С заполнили весь объем до дна, а в центральной и южной частях Большого бассейна образовали слой толщиной до 0.5 м, что привело к резкой стратификации воды. При максимальной глубине лимана в этот период 2.3 м, температура воды у дна была 2 – 4 °С, а соленость 20 – 32 ‰. Уровень Дофиновского лимана в результате поступления паводковых вод весной 2003 г. был намного выше чем в 2002 г. и на 1.0 м превышал среднемноголетнее его значение (рис. 6б).

С зимне-весенними паводковыми водами в лиман поступило около 7 млн.м<sup>3</sup> воды. Для того чтобы избежать прорыва перемычки на пересыпи, в начале февраля временно была открыта заслонка трубопровода для сброса воды в море. После того как лед на акватории лимана полностью растаял, соленость вод лимана понизилась до 3 – 7 ‰.

В начале мая, когда был открыт обловно-запускной канал, перепад уровней лиман–море составлял 1.0 м. В первые сутки уровень воды в лимане понизился на 0.5 м, что было равносильно сбросу в море 3 млн. м<sup>3</sup> воды. Еще через двое суток уровни воды в лимане и море выровнялись и по каналу началось реверсивное движение воды, в зависимости от направления ветра и изменений уровня моря. Соленость воды на акватории лимана в это время была 8 – 9 ‰.

Ввиду мелководности лимана, соленость и температура его вод колеблются в широких пределах (табл. 2).

Содержание растворенного кислорода в водах лимана днем в летний период может превышать 200 % насыщения, а ночью снижаться до 30 – 40 %. В продолжительные периоды штилевой погоды, когда отсутствует вертикальное перемешивание, содержание кислорода в придонном слое может понижаться до 10 - 20 % насыщения, что является признаком гипоксии. Аналогичная ситуация наблюдается зимой, когда лиман покрыт льдом, толщина которого может достигать 40 – 50 см.

Таблица 2 – Температура ( $T_w$ , °С) и соленость ( $S$ , ‰) воды, осредненные за период 2002 - 2006 гг.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$T_w$ средн.	1.0	-0.2	7.3	12.7	20.8	23.4	26.0	25.6	18.6	14.1	8.4	0.1
$T_w$ max	3.6	0.2	13.6	18.1	27.0	31.7	31.5	32.1	22.6	24.0	12.2	2.4
$T_w$ min	-1.2	-0.8	0.5	5.3	17.0	20.1	20.5	22.6	13.0	3.9	3.2	-1.5
$S$ средн.	16.3	13.9	9.1	12.4	13.5	16.9	20.2	19.5	18.6	20.8	20.2	21.6
$S$ max	26.7	17.3	18.8	18.0	19.2	31.5	32.2	30.3	22.6	29.7	27.3	29.0
$S$ min	9.9	9.6	1.8	3.1	9.3	11.1	11.9	13.0	13.0	15.5	15.1	14.8

Любые изменения природных факторов, действующих в бассейне лимана, приводят к изменению характеристик его водно-солевого режима.

Об уязвимости гидроэкологического режима лимана к межгодовой изменчивости гидрометеорологических условий свидетельствует ситуация, сложившаяся на акватории лимана в 2007 г. Зима 2006 - 2007 гг. была самой теплой за весь период наблюдений на ГМО Одесса с 1894 г. Среднезимняя температура воздуха составила 3.6 °С, что на 3.4 °С выше, чем средняя за предыдущий десятилетний период. Среднемесячная температура в июне (23.1 °С) была самой высокой после экстремума в 1924 г. (23.3 °С). Начиная с 20 мая, среднесуточные значения температуры воздуха перешли отметку 20 °С и ниже не опускались до конца августа.

Если до марта включительно, количество выпавших осадков находилось на среднемноголетнем уровне, то, начиная с апреля, произошло их уменьшение. С 11 мая по 26 июня, т.е. за 1.5 месяца выпало всего 4 мм осадков. В июле месячная сумма осадков составила 3 мм. В целом за летний период сумма осадков была почти в два раза ниже нормы: 69 и 128 мм, соответственно.

Ветровой режим в зоне лимана характеризовался преобладанием зимой, весной и летом ветров южной четверти, причем зимой повторяемость Ю, ЮЗ ветров составила 41.6 %, что не характерно для этого периода, поскольку зимой, как правило, преобладают ветры северной четверти. Весной и летом усилились ЮВ ветры (20.7 – 21.4 %).

Изменчивость гидроэкологических характеристик вод лимана была следующей.

В январе уровень лимана на 0.37 м превышал НПУ. Температура воды была 1 - 2 °С, а соленость – 13.5 - 14.0 ‰. В зимний период устойчивого льдообразования на акватории лимана не наблюдалось. В апреле уровень превышал НПУ на 0.43 м (0.13 мБС), соленость понизилась до 12.8 – 13.0 ‰ и уже 10 апреля температура воды достигла 17.2 °С. В этот период наблюдалась одинаковая соленость по всей акватории лимана.

К середине мая ситуация начала меняться. В связи с интенсивным испарением уровень лимана понизился в среднем на 10 см. Соленость воды в Большом бассейне была 13.8 - 14.3 ‰, в Малом – 14.7 - 14.8 ‰. На северной границе водной поверхности, где толщина слоя воды не превышала 5 см, соленость достигла 32 ‰. Длина лимана в этот период составляла 8 км.

Интенсивность прогрева воды в таком мелководном водоеме как Дофиновский лиман в летние месяцы достигает 1 °С/час. Процесс накопления тепла в водах лимана привел к тому, что уже в первой половине июля в дневное время наблюдалась температура воды 30 °С и выше. Максимальное значение температуры воды, равное 34.2 °С, отмечено в 17 часов 19 июля.

24 июля в лимане произошла массовая гибель рыбы. Высокая температура воды при штилевой, маловетреной погоде, развитие гипоксии в ночные часы вызвали подход рыбы к берегу. Кратковременным шквалистым ветром с восточного направления утром 24 июля на западный берег лимана было выброшено около 7 – 8 тонн рыбы, в основном бычковых пород и атерины.

Соленость вод Большого бассейна 31 июля составила 22.6 ‰, Малого – 28.4 ‰, а длина лимана при сгонном СЗ ветре силой 7 - 8 м/с уменьшилась до 5.9 км. Перекок уровня от северной границы к пересыпи составил около 15 см. Протяженность обнажившегося в результате сгона участка дна Малого бассейна достигала 1.5 км.

К концу июля прекратился сброс воды из Александровского пруда. За 1.5 месяца (с 17 июля по 2 сентября) уровень этого водоема понизился на 28 см.

Только в середине августа, когда уровень лимана вследствие интенсивного испарения понизился до уровня моря, началось поступление морской воды в Большой

бассейн. Объем поступающей воды колебался от 1 до 3 тыс. м<sup>3</sup>/сут, что позволило частично компенсировать потери на испарение, но понижение уровня и рост солености продолжались (рис. 2). Заметим, что регулирование водообмена было затруднено, т.к. за период эксплуатации трубопровода, соединяющего лиман с морем, произошло отложение в нем наносов, что снизило его пропускную способность.

В начале октября при уровне лимана -0.5 мБС соленость воды у пересыпи составляла 27.4 ‰, а на северной границе лимана – 45.3 ‰.

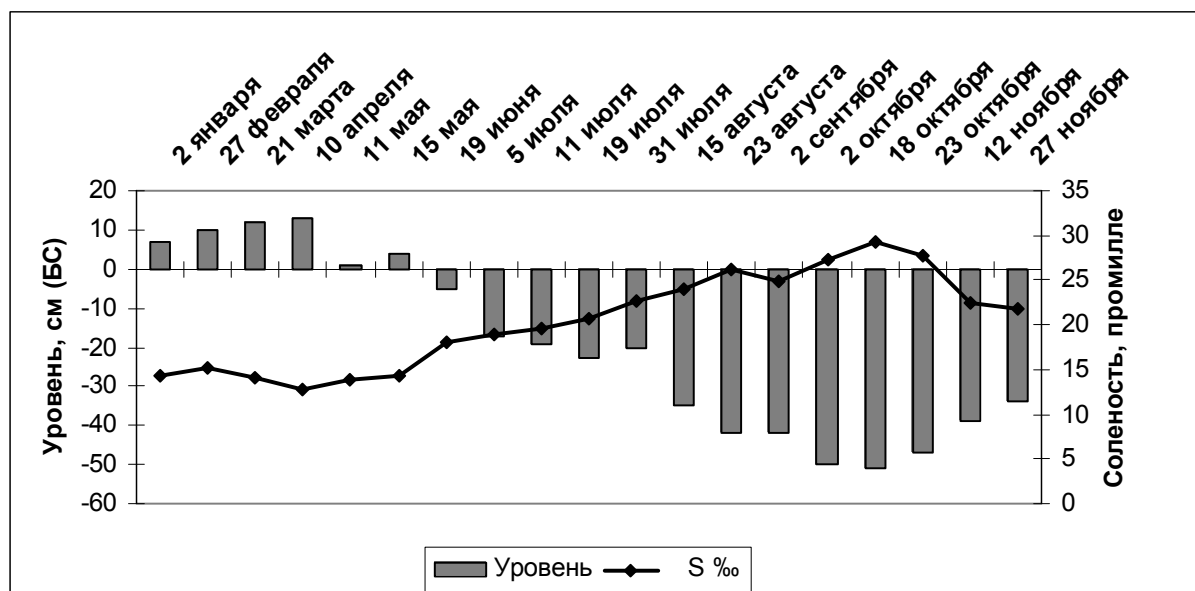


Рис. 2 – Уровень и соленость вод Дофиновского лимана в январе-ноябре 2007 г.

18 октября зафиксировано самое низкое в 2007 году значение уровня -0.51 мБС и самая высокая соленость в южной части лимана – 29.2 ‰. В конце октября уровень лимана начал медленно расти. 23 октября соленость воды всего Большого бассейна была 28 ‰ при уровне -0.47 мБС. В этот период по трубопроводу и лотково-шлюзовому каналу в лиман ежедневно поступало около 3 тыс. м<sup>3</sup> воды из моря. Рост уровня и понижение солености продолжались в ноябре, когда в течение месяца выпало 110.9 мм осадков. Соленость воды к концу ноября понизилась до 21.8 ‰, а уровень составил -0.34 мБС.

Таким образом, аномальные климатические условия 2007 г. показали, что существующая стратегия регулирования гидрологического режима лимана, когда водообмен с морем поддерживается лишь после падения уровня лимана (за счет испарения) до уровня моря, не обеспечивает стабильность его гидроэкологического состояния.

**Водно-солевой режим лимана.** Уравнение водного баланса Дофиновского лимана записывается следующим образом

$$\Delta W_i = (V_P)_i + (V'_A)_i + (V_{\bar{\sigma}})_i + (V_{zp})_i + (V_M)_i - (V_E)_i - (V_f)_i - (V_L)_i, \quad (1)$$

где  $\Delta W_i$  - изменение объема вод Дофиновского лимана в течение расчетного интервала времени  $i$ , принимаемого равным 1 месяцу;  $V_P$  - объем осадков, выпадающих на водную поверхность лимана;  $V'_A$  - объем сбросов воды из Александровского пруда;

$V_{\delta}$  - поверхностный сток, поступающий с водосбора лимана, включая бассейн Александровского пруда;  $V_{2p}$  - приток грунтовых вод;  $V_M$  - поступление морских вод в лиман;  $V_E$  - потери воды на испарение;  $V_f$  - потери воды на фильтрацию в берега;  $V_{\pi}$  - отток воды из лимана в море, когда уровень воды в лимане превышает уровень моря;  $i$  - номер месяца. Учитывая, что  $V'_A$  и  $V_{\delta}$  представляют собой поверхностную составляющую в уравнении (1), с целью упрощения они были в дальнейшем объединены в один параметр  $V_A$ , т.е.  $V_A = V'_A + V_{\delta}$ .

Блок-схема уравнения (1) представлена на рис. 3, а оценки его составляющих для лет различной водности в табл. 3. Методические подходы к оценке составляющих водного баланса лимана подробно описаны в [4]. Маловодные годы характеризуются малыми значениями осадков, поверхностного стока и большими – испарения, а многоводные – наоборот. Предполагается, что соединительный канал лиман-море находится постоянно в рабочем состоянии на уровне его проектного режима и уровень воды в лимане поддерживается равным НПУ.

Как видно из табл. 3, в приходной части водного баланса 30.4 % приходится на водообмен с морем, 36.7 % – на поверхностный приток вод и еще 32.4 % – на атмосферные осадки, которые выпадают на водную поверхность лимана. Что касается притока грунтовых вод, то в водном балансе они играют ничтожную роль (всего 0.59 %, что ниже точности их расчета). В расходной части водного баланса 59.2 % приходится на испарение с водной поверхности, еще 32.8 % – на водообмен с морем и 7 % – на фильтрацию в берега лимана.

В маловодный год в приходной части водного баланса ведущую роль играет поступление в лиман морских вод (52.8 %), на долю осадков приходится 25.6 %, на приток поверхностных вод – 20.8 %, грунтовый сток – 0.87 %.

В многоводный год поступление воды в водоем в виде осадков почти равно (92.8 %) объёму лимана при НПУ. Еще больший вклад в приходную часть водного баланса вносит приток поверхностных вод, который в 1.4 раза превышает объём лимана. В целом же, приходные компоненты составляют 2.33 объёма лимана. С другой стороны, в расходной части водного баланса 60.9 % приходится на отток воды из лимана в море. Сравнивая объёмы испарения и лимана, в целом можно отметить, что практически почти один объём воды в лимане в многоводные годы расходуется на испарение.

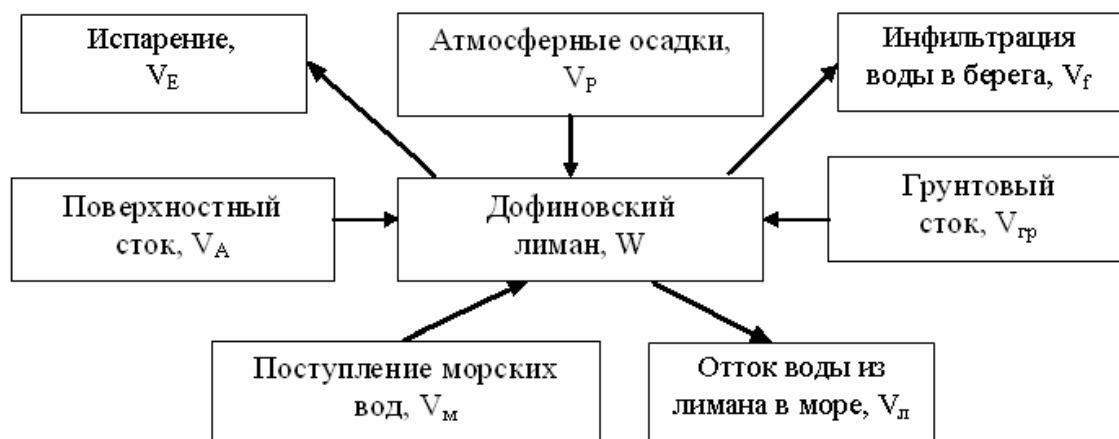


Рис. 3 – Блок-схема формирования водного баланса Дофиновского лимана.



Уравнение солевого баланса лимана имеет следующий вид:

$$\Delta(WS_L)_i = (V_P S_P)_i + (V_A S_A)_i + (V_{zp} S_{zp})_i + (V_M S_M)_i - (V_f S_f)_i - (V_L S_L)_i, \quad (2)$$

где  $\Delta(WS_L)_i = \Delta(C_L)_i$  - изменение количества солей в водах Дофиновского лимана в течение расчетного интервала времени  $i$ , принимаемого равным 1 месяцу;  $S_P$  – минерализация атмосферных осадков;  $S_A$  – минерализация поверхностных вод, которые поступают в лиман;  $S_{zp}$  – минерализация грунтовых вод;  $S_M$  – соленость морской воды, которая через соединительные гидротехнические сооружения поступает в лиман;  $S_f$  – минерализация воды, которая фильтруется в берега;  $S_L$  – соленость лиманской воды, которая уходит в море при превышении уровня воды в лимане над уровнем моря.

Таблица 3 – Составляющие уравнения водного баланса Дофиновского лимана в различные по водности годы

Единицы измерения	Приходная часть					Расходная часть			
	$V_P$	$V_A$	$V_{zp}$	$V_M$	$\sum V_i$ $P$	$V_E$	$V_f$	$V_L$	$\sum V_i$ $R$
Средневодный год (50 % обеспеченности)									
$10^6 \text{ м}^3$	2.69	3.03	0.057	2.52	8.30	4.43	0.53	2.83	7.48
%	32.4	36.7	0.70	30.4	100	59.2	7.1	32.8	100
Маловодный год (95 % обеспеченности)									
$10^6 \text{ м}^3$	1.67	1.36	0.057	3.45	6.53	4.73	0.53	1.27	6.53
%	25.6	20.8	0.87	52.8	100	72.4	8.1	19.4	100
Многоводный год (5 % обеспеченности)									
$10^6 \text{ м}^3$	3.48	5.27	0.057	0.768	9.59	3.22	0.528	5.84	9.59
%	36.3	55.1	0.59	8.0	100	33.6	5.5	60.9	100

Оценка составляющих солевого баланса Дофиновского лимана приведена в табл.4. Основным источником поступления солей в лиман является водообмен с морем (80.8 % от общего количества приходной части). Еще 17.3 % приходится на поверхностный приток воды с водосбора, включая водосбор Александровского пруда и сам водоём. В расходной части 79.2 % - это вынос солей при поступлении воды из лимана в море, 20.8 % - соли, которые из водоёма выносятся при фильтрации воды в берега лимана. В маловодные годы как в приходной, так и в расходной частях солевого баланса ведущая роль принадлежит водообмену между лиманом и морем. Действительно, из табл. 4 видно, что в лиман поступило 32.2 тыс.т солей, а вынесено из него в море – 27.8 тыс.т. Это соответственно 81.7 и 70.2 % от валовых величин солей в приходной и расходной частях солевого баланса.

В отличие от средневодного года, в многоводный год приходную часть солей в лиман обеспечивают почти в одинаковой степени поверхностные и морские воды (соответственно, 51.7 % и 44 % валового количества в приходной части солевого баланса). Что касается расходных статей солевого баланса, то здесь почти 95 % приходится на сбросные воды из лимана в море и только 5.3 % уходит в берега с фильтрационными водами.

Интерес представляет также сравнительный анализ основных компонент приходной и расходной статей солевого баланса в многоводный и средневодный годы. В частности, количество солей, содержащихся в поверхностном стоке среднего по водности года составляет 17.3 %, т.е. в 4.7 раза меньше по сравнению с поступлением

солей с морской водой. В многоводные годы за счет водообмена лимана с морем поступает почти столько же солей, сколько их содержится в поверхностном стоке. Особенно большой сброс солей из лимана в море имел место во время весеннего паводка 2003 г. – около 50 тыс. т или 62.5 % годового баланса от этой составляющей.

Изменчивость солености воды в лимане в различные по водности годы представлена в табл. 5. В многоводный год, при начальной солености воды в лимане на уровне 21.6 ‰ (январь), она за счет поступления паводочных вод уже в феврале снижается до 6.77 ‰ и удерживается на довольно низком уровне вплоть до конца года. В средние по водности годы, при тех же начальных условиях, соленость в весенние месяцы снижается до 9.1 ‰ (в марте), но во вторую половину года снова возрастает и к концу года практически достигает исходных значений, которые наблюдались в январе. В маловодном году соленость в лимане удерживается на уровне 19 - 21 ‰ в весенние месяцы и 22 - 27 ‰ – в остальную часть года. Конечно, можно ожидать, что при меньших начальных значениях солености воды в лимане, в течение лета она не будет превышать 25 ‰.

Таблица 4 – Составляющие солевого баланса Дофиновского лимана в различные по водности годы

Единицы Измерения	Приходная часть					Расходная часть		
	$C_P$	$C_A$	$C_{cp}$	$C_M$	$\sum_{P} C_i$	$C_f$	$C_l$	$\sum_{R} C_i$
Средневодный год								
$10^3$ т	0.593	6.63	0.15	31.0	38.4	8.91	33.8	42.7
%	1.5	17.3	0.39	80.8	100	20.8	79.2	100
Маловодный год								
$10^3$ т	0.011	0.246	0.009	32.2	39.4	11.8	27.8	39.6
%	0.93	17.5	0.38	81.7	100	29.8	70.2	100
Многоводный год								
$10^3$ т	0.763	11.1	0.009	9.45	21.5	4.29	77.4	81.7
%	3.5	51.7	0.7	44.0	100	5.3	94.7	100

Таблица 5 – Изменчивость солености воды (‰) в Дофиновском лимане в разные по водности годы ( $S_1$  и  $S_2$  – значения солености на начало и конец каждого месяца, соответственно)

Месяцы	Многоводный год		Средневодный год		Маловодный год	
	$S_1$	$S_2$	$S_1$	$S_2$	$S_1$	$S_2$
I	21.6	18.4	21.6	16.3	21.6	20.8
II	18.4	6.77	16.3	13.9	20.3	20.4
III	6.77	4.22	13.9	9.10	20.4	19.3
IV	4.22	4.39	9.10	12.4	19.3	19.5
V	4.39	4.91	12.4	13.5	19.5	20.7
VI	4.91	5.82	13.5	16.9	20.7	22.2
VII	5.82	5.51	16.9	20.2	22.2	22.7
VIII	5.51	6.46	20.2	19.5	22.7	26.6
IX	6.46	6.61	19.5	18.6	26.6	26.7
X	6.61	6.37	18.6	20.8	26.7	27.2
XI	6.37	6.29	20.8	20.2	27.2	22.1
XII	6.29	5.71	20.2	21.6	22.1	21.8

Анализ водно-солевого режима Дофиновского лимана в условиях его постоянной связи и водообмена с морем (начиная с 2002 года) показывает, что составляющие водных и солевых балансов в значительной мере определяются гидрометеорологическими условиями на водосборе. Высокая чувствительность экосистемы лимана к внешним условиям определяется также его морфометрическими особенностями: небольшими площадью, глубиной водоёма и объёмом воды в нём. При расчетах водных и солевых балансов лимана без большой погрешности можно пренебречь грунтовой составляющей.

Важнейшую положительную роль в стабилизации солевого режима лимана играет свободный водообмен между лиманом и морем через соединительный канал и трубопровод. Поэтому для нормального функционирования экосистемы Дофиновского лимана рекомендуется содержание гидротехнических сооружений, обеспечивающих водообмен между морем и лиманом, в работоспособном эксплуатационном состоянии на протяжении всего года. Кроме того, на режиме солёности в лимане, особенно в весенний период, сказывается значительное поступление слабоминерализованных поверхностных вод с водосбора бассейна лимана.

Анализ материалов по солёности лимана в очень маловодном 2007 году показал, что по своим условиям он приближается к маловодному году 95 %-ной обеспеченности. В обоих случаях солёность в летне-осенний период в лимане достигает 27 ‰. Следует, однако, при этом иметь в виду, что в северной части Малого бассейна лимана солёность в 1.5 раза и более может превышать среднее значение по водоему.

**Изменчивость уровней воды в лимане и море.** Анализ межгодовой изменчивости среднего уровня моря свидетельствует (рис. 4), что за последние 20 лет он стабилизировался на среднегодовой отметке - 0.1 мБС, т.е. на 20 см превышает НПУ лимана. На рис. 5 приведена средняя за период 1966 – 2005 гг. кривая сезонной изменчивости уровня моря, а также кривые изменчивости среднемесячных значений уровня моря для трех экстремальных лет. В 1986 г. зафиксирован минимальный среднегодовой уровень за указанный 20-летний период – - 0.2 мБС, а в 1988 и 1996 гг., напротив, максимальный – -0.05 мБС. Среднемесячные значения уровня моря в начале 1986 г. имели нормальные (не выходящие за пределы средних квадратических отклонений (СКО) для этих месяцев) значения, поскольку на Дунае в апреле и мае, а на Днепре – в марте и мае наблюдалось хорошо выраженное половодье. Но в июле и августе уровень моря опустился на величину, превышающую СКО для этих месяцев; в сентябре – больше, чем на два СКО, а в октябре-декабре – почти на три СКО. Во второй половине этого года – в ноябре-декабре на Дунае и в августе-сентябре на Днепре – зафиксированы самые низкие объёмы стока за весь рассматриваемый 20-летний период. Только в марте следующего года средний уровень моря возвратился к нормальным значениям. Этот пример говорит о том, что среднемесячные аномалии уровня моря, скорее всего, обусловлены стоком рек, впадающих в СЗЧМ, а также показывает какими длительными и глубокими эти аномалии могут быть. Именно во время таких аномалий уровня с помощью гидротехнических сооружений можно особенно эффективно влиять на гидроэкологическое состояние лимана, сокращая или, наоборот, усиливая водообмен с морем.

Для совместного анализа изменчивости уровней лимана и моря использовались 218 пар измерений: единичных в лимане и средних за те же сутки – на МГФЛ ОГЭКУ. Наблюдения за уровнем моря в лимане не регулярны и относятся к 24 календарным сезонам семи лет (1999, 2002-2007 гг.). На рис. 6 показана изменчивость измеренных отметок уровня воды в Дофиновском лимане и соответствующих им среднесуточных значений уровня моря до данным МГФЛ ОГЭКУ для отдельных лет. В 2002 – 2007 гг. в

весенний период уровень воды в лимане, как правило, существенно превышал уровень моря за счет интенсификации бокового стока в период весеннего половодья. В 2003 г. это превышение достигало 1 м по причинам, указанным ранее. Уровень воды в лимане в летний период определялся интенсивностью испарения и режимом регулирования водообмена с морем через гидротехнический узел. В 2004, 2006 годах за счет существенного ограничения водообмена с морем уровень воды в лимане поддерживался выше среднестатистического уровня моря. В 2002, 2003, 2005, 2007 гг. к началу летнего сезона уровни воды в лимане и море выравнивались, и водообновление в лимане определялось колебаниями уровня моря.

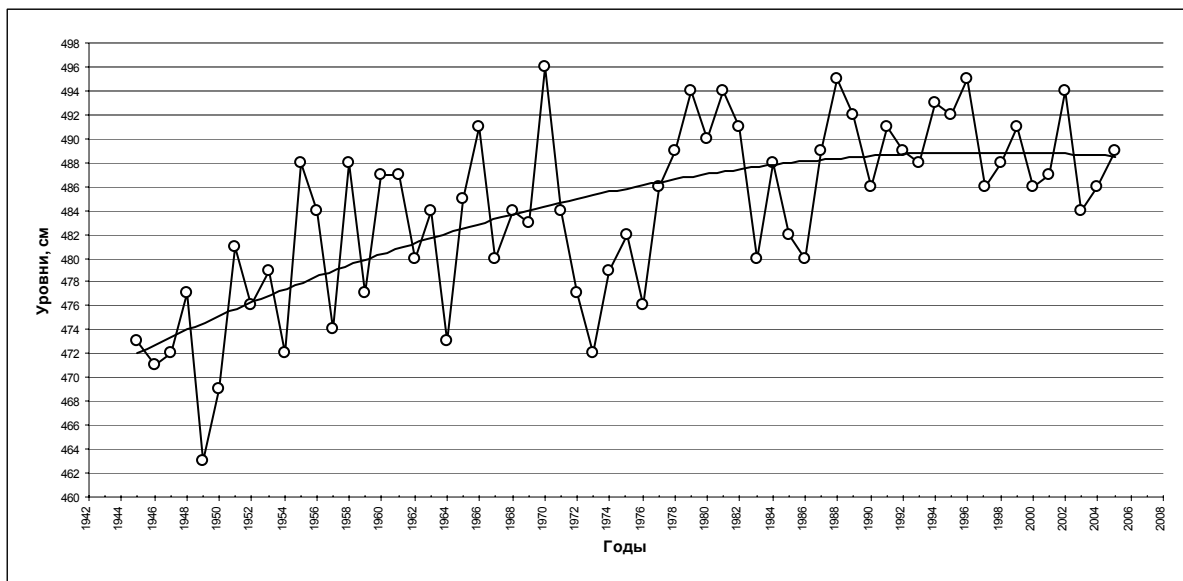


Рис. 4 – Среднегодовые уровни моря, в см от единого нуля Черного и Азовского морей, по данным МГС Одесса-порт. Уровень 470 см соответствует -0.3 мБС.

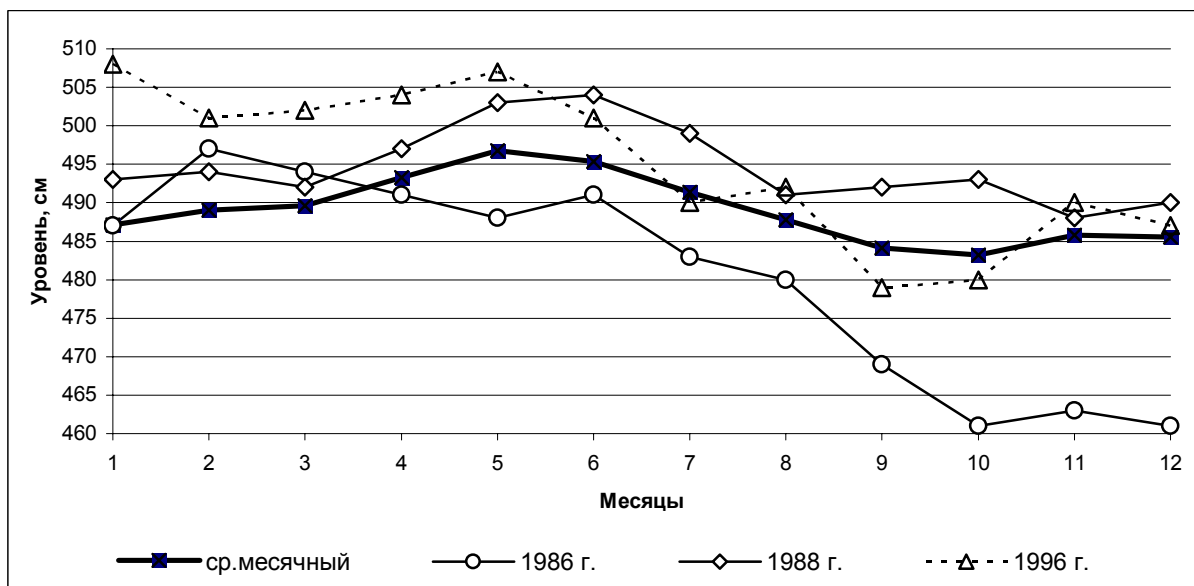


Рис. 5 – Годовой ход уровня моря, в см от единого нуля Черного и Азовского морей: среднемесячный за период 1986 – 2005 гг.; при минимальном среднегодовом в 1986 г.; при максимальных среднегодовых в 1988 и 1996 гг. Уровень 470 см соответствует -0.3 мБС.

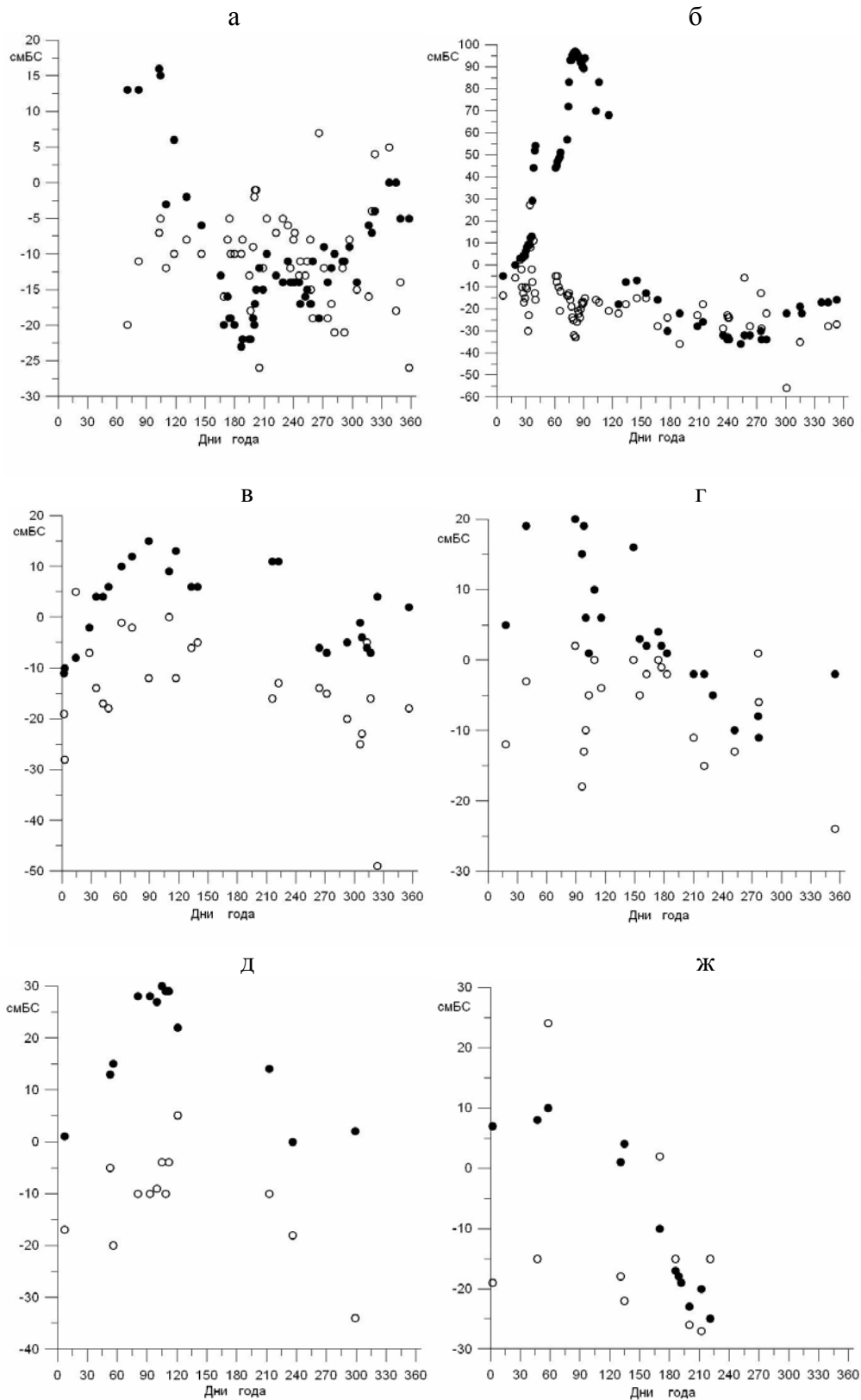


Рис. 6 – Изменчивость отметок уровня воды в Дофиновском лимане (••••) и средних за те же сутки значений уровня моря в районе МГФЛ ОГЭКУ (○○○○) в: а) 2000 г.; б) 2003 г.; в) 2004 г.; г) 2005 г., д) 2006 г.; ж) 2007 г.

Следует отметить, что во всех рассматриваемых случаях уровень моря в летние месяцы превышал НПУ лимана и, следовательно, начиная с момента ввода в эксплуатацию управляемого гидроузла, была возможность выбора: поддерживать уровни в лимане выше уровня моря, ограничивая водообмен с морем, либо выровнять уровни в лимане и море, уменьшив при этом глубину лимана, но увеличивая водообновление за счет притока морских вод.

На рис. 7 приведена изменчивость отметок уровня моря в 2000 – 2003 гг. по данным ежесрочных наблюдений (с дискретностью 3 часа) на МГС Одесса-порт. Обращают на себя внимание следующие особенности. Тренд падения уровня моря в летние месяцы не превышает 10 - 15 см. Следовательно, зная среднюю отметку уровня моря в июне, уже можно предполагать какой она будет в июле-сентябре. Средние отметки уровня (полученные скользящим осреднением с длиной интервала сглаживания равным 30.5 суток) в летний период превышают НПУ лимана. Текущие отклонения уровня моря от средних отметок (короткопериодные колебания на масштабах от нескольких часов до нескольких суток) представляют собой сгонно-нагонные колебания уровня, определяемые ветровым воздействием. Как видно из рисунка, максимальные отклонения уровня моря при сильных ветрах могут достигать 30 – 40 см. Однако, поскольку сильные ветры непродолжительны, то понижения уровня моря ниже отметки НПУ лимана при сильных сгонных ветрах в большинстве случаев кратковременны (продолжительностью до суток) и, следовательно, не вызывают существенного понижения уровня воды в лимане ниже НПУ.

Из рис. 6 следует также, что в большинстве случаев средний уровень моря летом превышает НПУ лимана и, следовательно, есть возможность выравнивать уровни лимана и моря в начале летнего периода, а затем обеспечивать водообновление лимана путем свободного водообмена с морем (при значительном превышении среднего уровня моря над НПУ лимана) либо регулировать водообмен с морем, открывая заслонку в канале в период развития интенсивных ветровых нагонов.

Для северного побережья Одесского района северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) эффективными нагонными являются ветры ЮЗ, Ю, ЮВ, В направлений. Согласно многолетним данным МГС Одесса-порт [5] повторяемость ветров указанных направлений составляет в сумме 47 % в июне, 38 % – в июле, 40 % – в августе и 43 % – в сентябре.

Величину возможного сгона или нагона в СЗЧМ при стационарных ветрах различной силы можно оценить с помощью зависимости [6]

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{\tau_{sx}}{\rho g H},$$

где  $\xi$  - отклонение уровенной поверхности от невозмущенного состояния,  $\tau_{sx}$  - вектор касательного напряжения трения ветра в направлении оси  $x$ ,  $\rho$  - плотность воды,  $g$  – ускорение свободного падения,  $H$  – характерная глубина акватории.

Принимая для СЗЧМ  $H = 20$  м,  $\Delta x = 150$  км (расстояние от линии м.Тарханкут – устье р.Дунай до северного побережья СЗЧМ);  $g = 9.8$  м/с<sup>2</sup>,  $\rho = 1015$  кг/м<sup>3</sup>, получаем что при ветре силой 10 м/с ( $\tau_{sx} = 0.16$  Н/м<sup>2</sup>)  $\frac{\partial \xi}{\partial x} = 8 \cdot 10^{-7}$ , а перекося уровенной поверхности  $\partial \xi = 0.12$  м. При ветре 20 м/с ( $\tau_{sx} = 0.94$  Н/м<sup>2</sup>)  $\partial \xi = 0.71$  м. Приведенные значения могут существенно увеличиваться за счет влияния морфологических особенностей дна и берегов, например, за счет эффекта выхода длинной волны на мелководье при условии неразрывности полного потока. Если принять глубину в

прибрежной зоне равной 5м, то пересчетный множитель, учитывающий вышеуказанный эффект, составит 2.0 [7].

Вышеприведенные расчеты учитывают только влияние ветрового воздействия на возмущения уровня моря. Однако помимо ветра существуют и другие факторы, определяющие изменчивость уровня моря в СЗЧМ, к числу которых относятся речной сток, интенсивность Основного Черноморского течения, ветвь которого заходит в СЗЧМ.

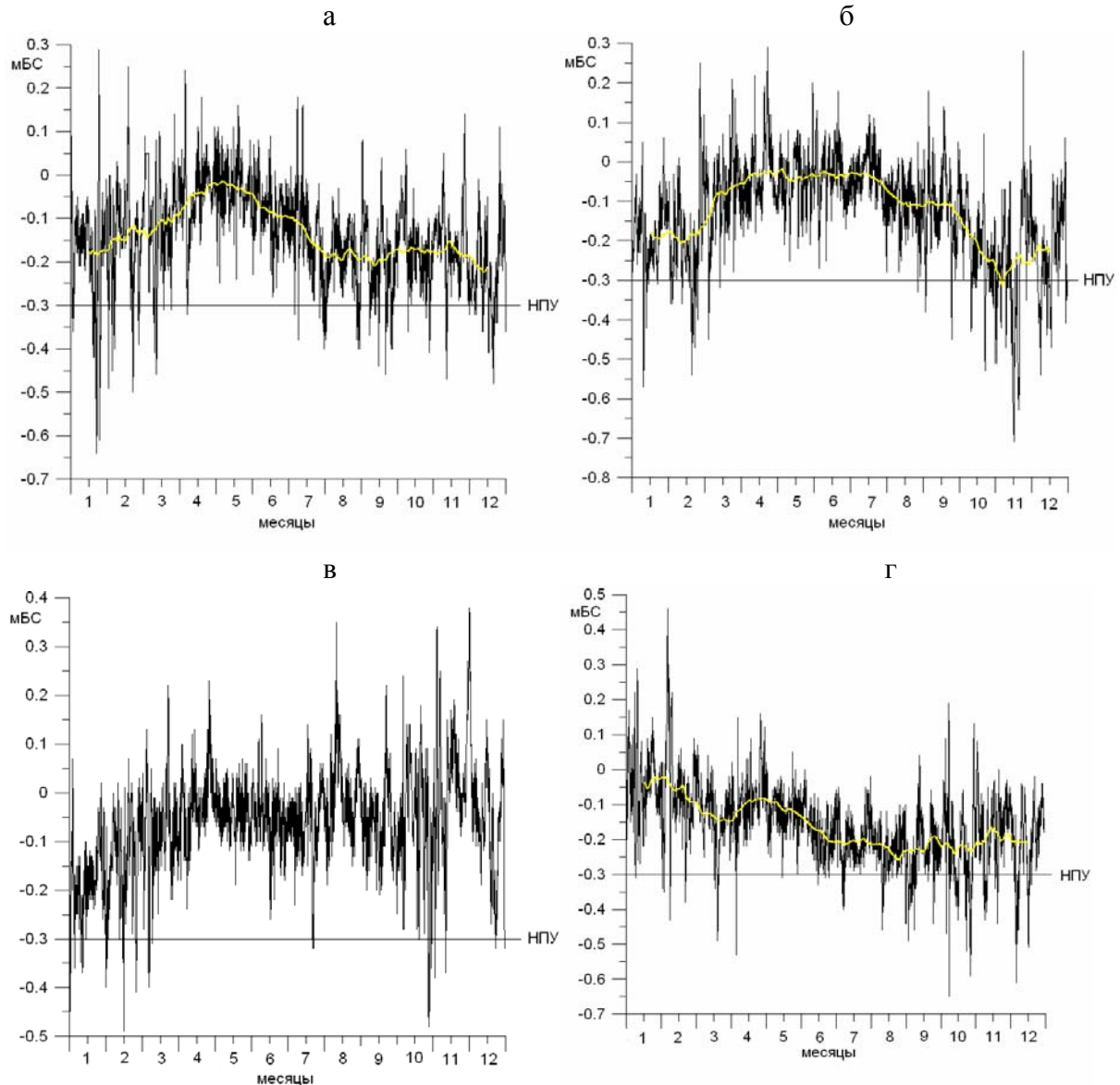


Рис. 7 – Изменчивость уровня моря, мБС, по данным МГС Одесса-порт в: а) 2000 г.; б) 2001 г.; в) 2002 г.; г) 2003 г.

В летний период года ветровая активность над северо-западной частью Черного моря невелика. В работе [8] приведены результаты анализа ветровых ситуаций над акваторией СЗЧМ со значительными скоростями ветра, превышающими 6 м/с, по данным 1946-1955 гг. Показано, что возникновение нагонных ветров возможно при восточном, юго-восточном и юго-западном типах синоптических процессов. Вероятность их развития: в июне – 13 %, в июле – 3 %, в августе – 5 % и в сентябре –

11%. Заметим, что повторяемость малоградиентных барических полей со скоростями ветра менее 6 м/с, в среднем за летние месяцы составляет 60 – 70 %. Значительные сгонные ветры в летние месяцы наблюдаются в среднем 1 – 3 раза в месяц. Минимальное число случаев соответствует июлю. Непрерывная продолжительность действия сильных сгонных ветров летом в среднем не превышает суток, а максимальные значения продолжительности действия не превышают 2 – 3 суток.

Таким образом, хотя повторяемость нагонных ветров в летний период достаточно высока, но они слабы. Сильные ветры (более 6 м/с) наблюдаются в среднем 1 - 3 раза в месяц и продолжительность их не превышает суток.

Сгонными для участка моря, примыкающего к Дофиновскому лиману, являются ветры СВ, С, СЗ и З направлений. Их повторяемость, как в летний период, так и в течение всего года существенно превышает повторяемость нагонных ветров. Согласно данным работы [8], средняя непрерывная продолжительность сильных сгонных ветров также находится в пределах суток и лишь в сентябре при СВ типе синоптической циркуляции увеличивается до 1.5 – 2 суток. Максимальная продолжительность СВ ветров может достигать 5 суток в августе – сентябре. При сильных сгонных ветрах появляется опасность падения уровня воды в лимане на 30 – 40 см ниже среднего уровня моря.

В заключение следует отметить, что в короткопериодную изменчивость уровня моря, помимо сгонно-нагонных явлений, вносят вклад сейшевые колебания. Согласно [5], сейши с размахом от 5 до 10 см наблюдаются равномерно в течение года, и повторяемость их в Одессе составляет до 10 – 15 суток в месяц.

**Моделирование гидротермодинамических процессов в лимане и водообмена с морем.** С помощью термогидродинамической модели можно оценить как водообмен с морем через соединительный канал влияет на гидрологический режим лимана в летние месяцы. Подробное описание структуры модели приведено в работах [9, 10]. При расчетах акватория лимана (Большой бассейн и часть Малого с глубинами более 30 см) покрывалась горизонтальной расчетной сеткой 44×14 узлов с шагом 135 м. Использовались 4 расчетных уровня по вертикали в  $\sigma$  - системе координат. Глубины задавались соответствующими отметке уровня воды в лимане -0.3 мБС (рис.1б).

Первая серия численных экспериментов с моделью проводилась для исследования особенностей ветровой циркуляции вод в лимане. Отдельные результаты расчетов при продольных и поперечных (по отношению к оси лимана) ветрах приведены на рис. 8, 9. Видно, что структура течений имеет двухслойный характер. В поверхностном слое горизонтальные векторы течений направлены по ветру, а в придонном – в обратном направлении (за исключением прибрежного мелководья). В северной части Большого бассейна в поле средних по вертикали течений наблюдается интенсивный вихрь.

При продольных ветрах в поверхностном слое отмечается интенсификация течений в прибрежной зоне и ослабление – вдоль продольной оси водоема. В придонном слое, наоборот, наблюдается интенсификация потока вдоль оси водоема. Средние по глубине течения направлены по ветру вдоль берегов на прибрежном мелководье и против ветра – вдоль оси ложа лимана.

При поперечных ветрах вдольбереговые потоки на мелководье выражены очень слабо. В поле средних по глубине течений отмечается множество локальных вихревых структур, среди которых выделяется интенсивный вихрь в северной части Большого бассейна. Фактически трехмерная циркуляция вод представляет собой большую конвективную ячейку с осью вытянутой вдоль лимана.

Вторая серия численных экспериментов с моделью проводилась с целью исследования влияния наличия соединительного канала с морем на характер



изменчивости отметок уровня, температуры и солености воды в лимане. При расчетах ширина соединительного канала полагалась равной 1.35 м, а глубина – 0.5 м при отметке уровня воды в лимане -0.3 мБС (аналог сечения соединительной трубы). На открытой морской границе канала задавалась изменчивость уровня моря в июле-августе 2000 г. (по данным МГС Одесса-порт), температура морской воды 22 °С и соленость 16 ‰. Расчеты проводились на двухмесячном временном отрезке с усвоением информации об изменчивости температуры воздуха, скорости и направлении ветра в июле-августе 2000 г. (по данным МГС Одесса-порт). Падение отметки уровня воды в лимане за счет испарения полагалось равным 150 мм/мес. В начальный момент времени температура и соленость воды в лимане задавались равными, соответственно, 22 °С и 20 ‰, а их пространственное распределение – однородным.

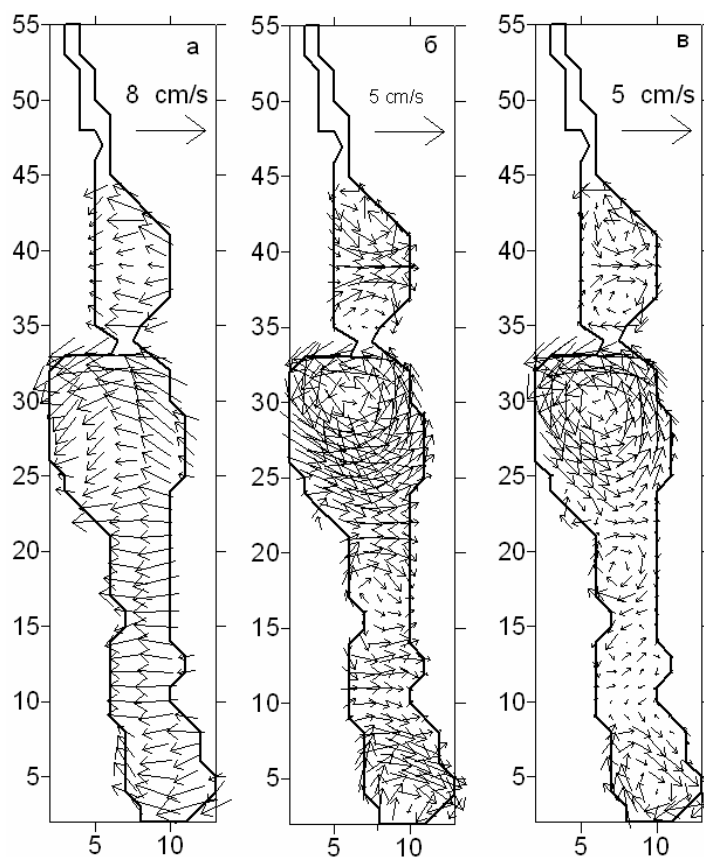


Рис. 8 – Поле векторов течений, см/с, при восточном ветре силой 7 м/с:  
а) на поверхности лимана; б) у дна; в) средних по глубине.

На рис. 10 показана изменчивость уровня моря, задаваемая на морской границе канала, и изменчивость отметки уровня воды в точке 1 (рис. 1б) лимана, полученная в численном эксперименте с моделью. Обращает на себя внимание, что колебания уровня воды в лимане более инерционны, чем в море, но отражают все тенденции изменчивости среднего уровня моря на масштабах осреднения в несколько суток. Кривая изменчивости уровня воды в лимане огибает изменчивость уровня моря по минимальным значениям, т.е. средний уровень воды в лимане на протяжении всего периода моделирования расположен ниже уровня моря, что является результатом интенсивного испарения. При длительной (5 – 7 суток) тенденции падения уровня моря при сгонах, уровень воды в лимане может упасть ниже НПУ.

На рис. 11 показана изменчивость солености и температуры воды в различных точках лимана (рис. 1б) при функционировании соединительного канала, а на рис. 12 – при его отсутствии. Видно, что водообмен с морем существенно понижает соленость вод лимана, особенно в южной его части. При отсутствии водообмена с морем соленость при заданной интенсивности испарения повышается к концу августа до 28 – 29 ‰ в Большом бассейне и до 34 ‰ – в Малом. В случае функционирования канала, соленость воды в южной части Большого бассейна колеблется от 16 до 20 ‰, составляя в среднем 18 ‰, а в северной части Большого бассейна и в Малом бассейне соленость вод повышается до 23.5 – 24.5 ‰. Влияние водообмена с морем на температуру воды в лимане не столь значительно из-за его мелководности и интенсивного прогрева вод. Лишь в южной части лимана приток морских вод может понизить температуру воды на несколько градусов. В северной части Большого бассейна и Малом бассейне изменчивость температуры воды практически не зависит от наличия водообмена с морем.

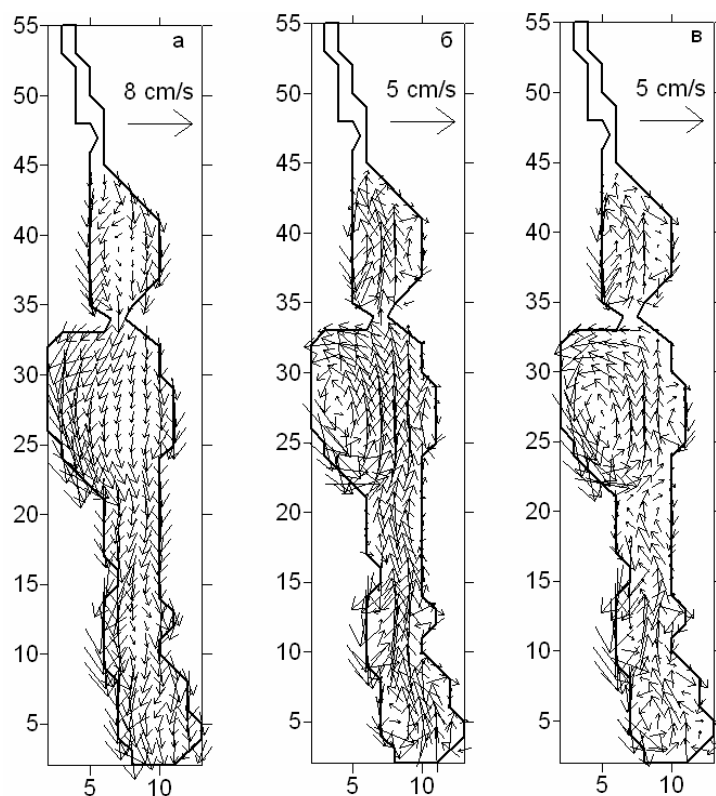


Рис. 9 – Поле векторов течений, см/с, при северном ветре силой 7 м/с:  
а) на поверхности лимана; б) у дна; в) средних по глубине.

На рис. 13 приведено пространственное распределение температуры и солености воды в лимане на 14.08.2000 г. в момент затока морских вод в лиман. Видно, что даже при относительно малых размерах соединительного канала трансформированная морская вода проникает в южную и центральную части Большого бассейна, обеспечивая существенное водообновление в лимане.

Таким образом, результаты моделирования циркуляции, изменчивости термохалинной структуры и уровня вод в лимане свидетельствуют, что функционирование соединительного канала является важным фактором стабилизации экологического состояния его вод, обеспечивающим водообновление и существенно сдерживающим повышение солености вод в лимане в летний период за счет

интенсивного испарения. Однако, водообмен с морем через канал не позволяет существенно снизить сильный прогрев воды в летний период. Доминирующие в указанном районе ветры с северной и южной составляющими способствуют интенсивному водообмену вдоль продольной оси лимана. При продольных ветрах колебания уровня воды в СЗЧМ и прилегающей к морю части лимана находятся в противофазе (нагон в СЗЧМ соответствует понижению уровня в южной части лимана и, наоборот), что также способствует интенсификации водообмена.

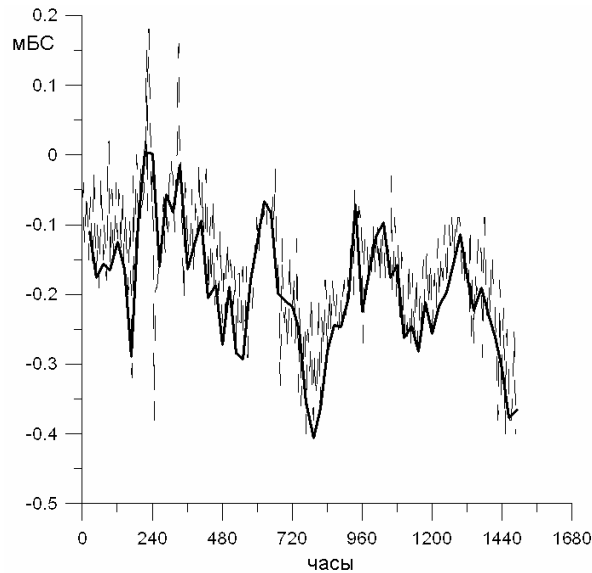


Рис. 10 – Изменчивость уровня моря, мБС, с 01.07.2000 г. по 31.08.2000 г. по данным наблюдений на МГС Одесса-порт (пунктир) и рассчитанная по модели в лимане (сплошная линия).

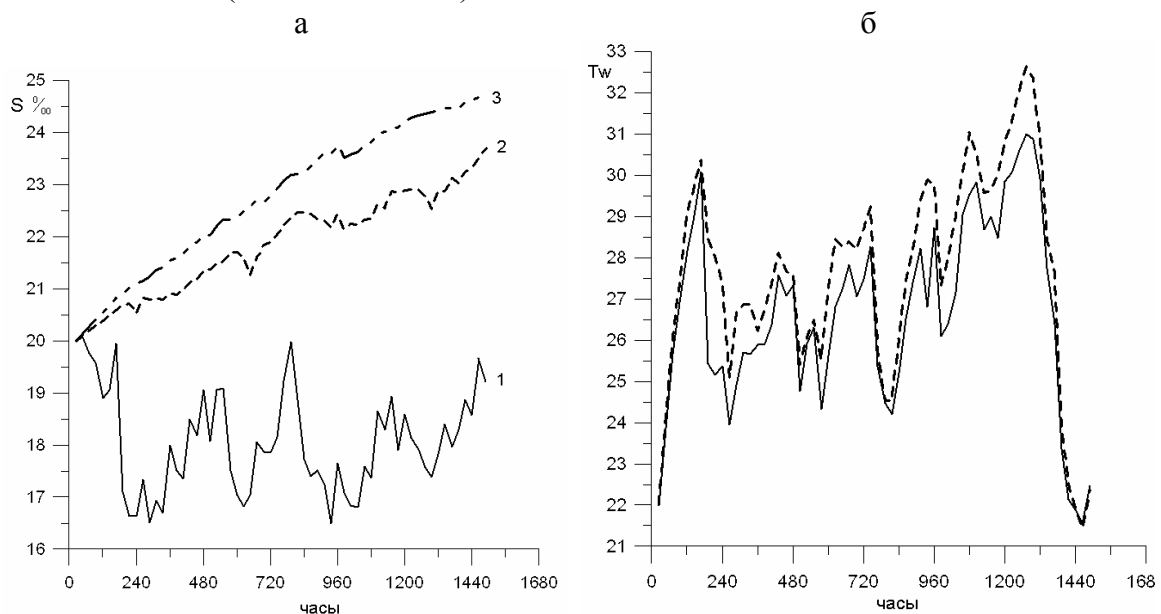


Рис. 11 – Изменчивость: а) солености, ‰, и б) температуры воды, °С, в различных точках Дофиновского лимана с 01.07.2000 г. по 31.08.2000 г., - рассчитанная с помощью модели при условии свободного водообмена с морем через соединительный канал.

Сплошная линия – южная часть лимана (точка 1, рис. 1б), пунктирные – центральная 2 (точка 2, рис. 1б) и северная 3 (точка 3, рис. 1б) части лимана.

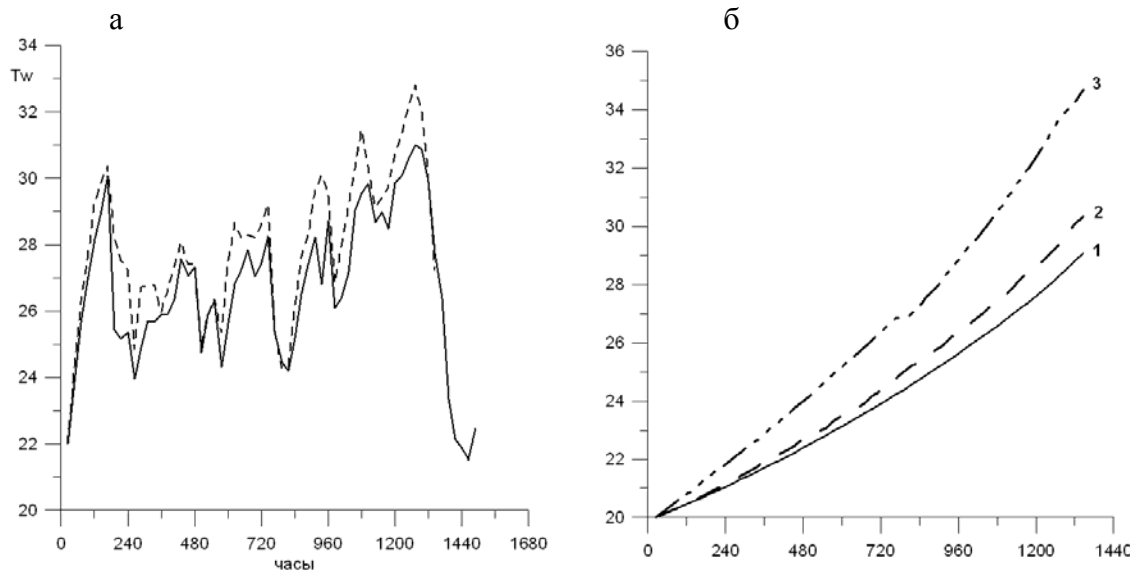


Рис. 12 – Изменчивость: а) температуры воды, °С, в июле – августе в южной части лимана (точка 1, рис. 1б) при отсутствии водообмена с морем (пунктир) и его наличии (сплошная линия); б) солёности воды в точках 1-3 (рис. 1б) лимана при отсутствии водообмена с морем.

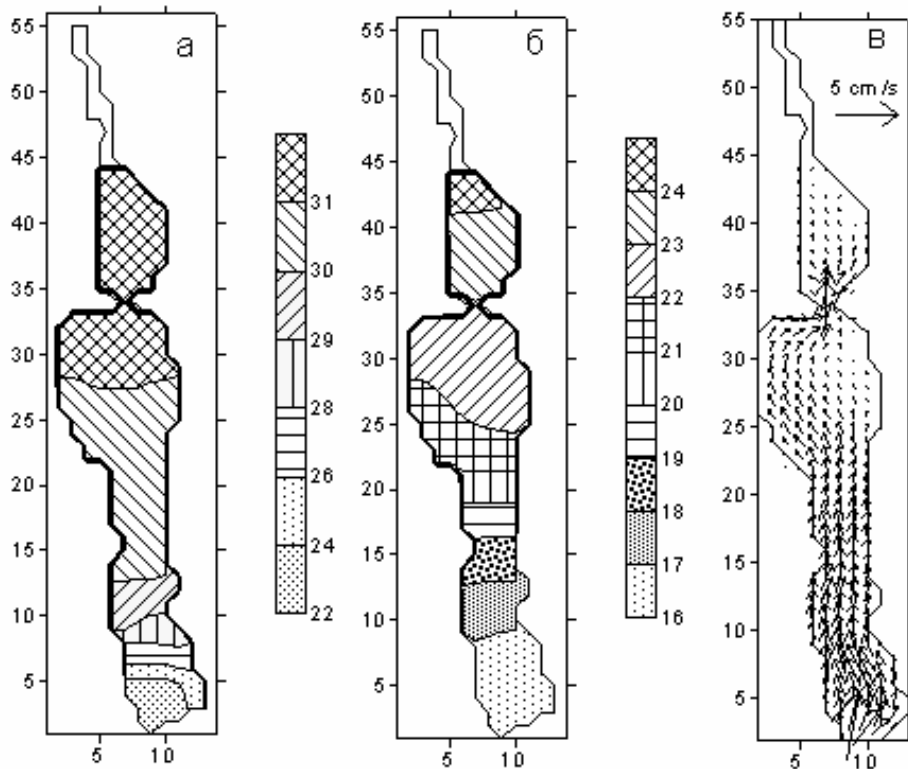


Рис. 13 – Рассчитанное по модели на 14.07.2000 г. пространственное распределение: а) температуры морской воды, °С; б) солёности, ‰; в) векторов средних по глубине течений, см/с.

Однако, при продолжительных стгонных ветрах, возможно понижение уровня воды в лимане ниже НПУ. В этих случаях целесообразным представляется перекрытие соединительного канала.

Заметим, что северная мелководная часть Малого бассейна не учитывалась в модельных расчетах (рис. 13). Но очевидно, что включение ее в расчет привело бы к значительно большему повышению солености (за счет увеличения площади испарения) и, в меньшей мере, температуры воды в северной части бассейна. При ветрах с северной составляющей, эти соленые и перегретые воды будут сноситься в южную часть лимана, создавая предпосылки для ухудшения гидроэкологического состояния лимана в целом. Поэтому представляется целесообразным либо углубить северную часть Малого бассейна, либо отгородить ее дамбой от остальной части лимана.

#### **Выводы и рекомендации.**

Мелководность лимана и малый объем его вод обуславливают сильную зависимость гидроэкологического состояния водоема от климатических условий отдельных лет: характера внутригодовой изменчивости количества выпадавших атмосферных осадков, температуры воздуха, уровня моря, интенсивности испарения. Поэтому природная экологическая устойчивость экосистемы лимана крайне низка и для ее повышения необходимо искусственное регулирование водного режима.

В современных условиях управление гидроэкологическим состоянием водоема возможно лишь путем регулирования водообмена с морем через систему гидротехнических сооружений, введенных в действие в 2002 г. и включающих в себя соединительный канал «лиман-море» с трубопроводом.

Наличие и функционирование комплекса гидротехнических сооружений, обеспечивающих регулирование уровня воды в лимане и водообмен с морем, являются необходимым условием для стабилизации гидрологического и гидрохимического режимов экосистемы Дофиновского лимана при любой водности года.

В зимне-весенний период за счет поверхностного стока с водосбора происходит наполнение водоема до отметок, значительно превышающих НПУ (наблюденный максимум – на 1.3 м), и распреснение его вод до  $\approx 5\text{‰}$  в многоводные годы,  $10\text{‰}$  – в средневодные и  $20\text{‰}$  – в маловодные. В многоводные годы приходные составляющие водного баланса (осадки, поверхностный сток) могут обеспечить увеличение объема вод лимана более чем в 3 раза. Летом, при малом количестве атмосферных осадков и больших объемах испарения, поступление пресных вод с водосбора сокращается до минимума или вообще прекращается. Потери воды за счет испарения могут быть сравнимы с объемом вод лимана. Единственным фактором, стабилизирующим экологическое состояние водоема в летний период в условиях маловодных лет, является постоянный водообмен лимана с морем.

Возможны два режима управления гидроэкологическим состоянием водоема в летний период: первый – путем максимального наполнения и распреснения вод лимана в весенний период, с последующим прекращением водообмена с морем в летние месяцы до того момента, пока уровень вод лимана не опустится до уровня моря в результате интенсивного испарения (режим 2006, 2007 гг.); второй – выровнять уровни воды в лимане и море, обеспечив свободный водообмен с морем через систему гидротехнических сооружений. Негативной стороной первого варианта управления является отсутствие водообновления в лимане и, как следствие, ухудшение гидрохимических характеристик его вод в результате увеличения концентрации загрязняющих и биогенных веществ, поступивших в водоем весной с водами поверхностного стока, возникновение гипоксии и заморов за счет интенсификации (при высокой температуре воды) биохимического потребления растворенного в воде кислорода на разложение автохтонного и аллохтонного органического вещества в воде

и донных отложениях (случай 2007г.). При втором варианте управления водообновление в лимане определяется синоптическими процессами над акваторией СЗЧМ (ветровыми условиями, интенсивностью и частотой сгонно-нагонных явлений). Возможность его реализации определяется величиной среднего уровня моря в летние месяцы. Негативная сторона – возможность уменьшения уровня воды в лимане ниже НПУ при сильных сгонах.

Результаты моделирования циркуляции вод, изменчивости температуры и солености вод лимана летом, при условии свободного нерегулируемого водообмена с морем, свидетельствуют, что при втором варианте управления обеспечивается интенсивное водообновление лимана относительно чистыми морскими водами, которое препятствует повышению солености и ухудшению гидроэкологических характеристик вод лимана до критических значений. Интенсивному водообмену вдоль продольной оси лимана способствует доминирование в районе его расположения ветров с северной и южной составляющими. Однако, водообмен с морем через канал не позволяет существенно снизить сильный прогрев воды в летний период.

Анализ изменчивости уровня моря свидетельствует, что за последние 20 лет межгодовая изменчивость среднего уровня моря стабилизировалась на среднегодовой отметке  $-0.1$  мБС, т.е. на 20 см превышает НПУ лимана, и не имеет тренда. Анализ сезонной изменчивости уровня моря за период 1999 – 2003 гг. показал, что тренд его падения в летний период не превышает 10 – 15 см. Следовательно, зная среднюю отметку уровня моря в июне, уже можно предполагать, какой она будет в июле-сентябре. Среднемесячные отметки уровня в летний период превышают НПУ лимана. Текущие отклонения уровня моря от средних отметок (короткопериодные колебания на масштабах от нескольких часов до нескольких суток) представляют собой сгонно-нагонные колебания уровня, определяемые ветровым воздействием. Максимальные отклонения уровня моря при сильных ветрах могут достигать 30 – 40 см. При сильных сгонных ветрах продолжительностью более суток возможно понижение уровня воды в лимане ниже отметки НПУ.

Для северного побережья Одесского района СЗЧМ эффективными нагонными являются ветры ЮЗ, Ю, ЮВ, В направлений, повторяемость которых летом составляет в среднем 40 %. Сильные нагонные ветры (более 6 м/с) наблюдаются в среднем 1 – 3 раза в месяц и продолжительность их не превышает суток. Сгонными для участка моря, примыкающего к Дофиновскому лиману, являются ветры СВ, С, СЗ и З направлений. Их повторяемость, как в летний период, так и в течение всего года существенно превышает повторяемость нагонных ветров. Средняя непрерывная продолжительность сильных сгонных ветров находится в пределах суток, а максимальная продолжительность может достигать 5 суток в августе – сентябре. При сильных сгонных ветрах появляется опасность падения уровня воды в лимане на 30 – 40 см ниже среднего уровня моря.

На основе изложенного предлагается следующая стратегия управления гидрологическим и гидрохимическим режимами, а, следовательно, и экологическим состоянием вод лимана: в весенний период необходимо обеспечить наполнение лимана пресными водами бокового стока путем ограничения водообмена с морем. В июне, при условии превышения отметки уровня моря на 10 – 15 см НПУ лимана, рекомендуется открыть гидротехнические сооружения, обеспечив интенсивное водообновление лимана за счет поступления относительно чистых морских вод. Это позволит избежать повышения уровня трофности и развития гипоксических явлений в лимане при сильном прогреве его вод. В августе – сентябре, когда средний уровень моря приближается к НПУ лимана, режим водообмена необходимо контролировать, перекрывая

гидротехнические сооружения при значимых (5 м/с и более) и продолжительных сгонных ветрах СВ, С, СЗ и З направлений.

Гидротехнические сооружения, осуществляющие водообмен лимана с морем, должны быть способны пропускать максимальные объемы воды, заложенные в проектных характеристиках. Тогда, даже в экстремально маловодные годы в кратковременные периоды превышения уровня моря над уровнем лимана при сильных нагонах, можно сгладить негативный эффект падения уровня в лимане, вызванный испарением.

Поскольку мелководная северная часть Малого бассейна лимана характеризуется максимальными значениями солености и температуры воды в летний период, то для уменьшения ее негативного влияния на водно-солевой и температурный режимы Большого бассейна лимана представляется целесообразным либо углубить северную часть Малого бассейна, либо отгородить ее дамбой от остальной части лимана.

Работа выполнена в 2007 г. за счет средств Одесского областного фонда охраны окружающей природной среды.

### Список литературы

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.: Гидрометеоздат, 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.: Гидрометеоздат.-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.

**Регулювання гідроекологічного режиму Дофіновського лиману.**

**Тучковенко Ю.С. , Гопченко Є.Д., Адабовский В.В., Большаков В.М.**

*Виконаний аналіз природних та антропогенних факторів, які формують сучасний гідроекологічний режим лиману. Визначені складові водно-сольового балансу водойми. Проаналізована мінливість коливань рівня води у морі та водоймі. Отримані оцінки впливу штучно регульованого водообміну з морем на солоність та температуру води, коливання рівня води в лимані. Запропоновані рекомендації щодо регулювання штучного водообміну лиману з морем, з урахуванням сезонної мінливості гідроекологічних характеристик лиману та впливу на них зовнішніх факторів.*

**Ключові слова:** Причорномор'я, Дофіновський лиман, гідроекологічний режим, регулювання.

**Management of hydroecological regimen of Dofinovka estuary.**

**Tuchkovenko Y.S., Gopchenko E.D., Adobovskiy V.V., Bolshakov V.N.**

*Analysis of natural and anthropogenous factors which form the present-day hydroecological regimen of the estuary is conducted. Constituents of water-salt balance of the reservoir are determined. Changeability of fluctuations in water level in the sea and the estuary is analysed. Estimations for influence of artificially managed seawater cycle on salinity, water temperature and fluctuations of water level in the estuary are made. Guidelines for management of artificial seawater cycle of the estuary, with seasonal changeability of hydroecological features of the estuary and influence of external factors on them being taken into account, are worked out.*

**Keywords:** Black Sea Area, Dofinovka estuary, hydroecological regimen, management.