

УДК 504.42

Ю.С. Тучковенко, д.геогр.н., О.Ю. Сапко, к.геогр.н.

Одесский государственный экологический университет

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СБО «СЕВЕРНАЯ» И «ЮЖНАЯ» НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД ОДЕССКОГО РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

С помощью численной гидродинамической модели получены оценки степени и масштабов загрязнения акватории Одесского района северо-западной части Черного моря при функционировании станций биологической очистки сточных вод г.Одессы «Северная» и «Южная» для ветров различных направлений. Особое внимание уделено оценке изменений, которые произойдут при введении в эксплуатацию удаленного морского выпуска сточных вод СБО «Северная»

Ключевые слова: Одесский район Черного моря, загрязнение вод, сточные воды, моделирование

Введение. Станции биологической очистки сточных вод (СБО) г.Одессы «Северная» и «Южная» являются наиболее мощными источниками загрязнения морских вод Одесского района северо-западной части Черного моря [1]. В связи со строительством глубоководного выпуска сточных вод СБО «Северная», с особой актуальностью встал вопрос о целесообразности и эколого-экономической эффективности реализации этого проекта. В настоящее время сброс очищенных сточных вод СБО «Северная» осуществляется на удалении 260-300 м от берега на глубине 3,6 м, что не соответствует действующим нормативным требованиям [2]. В работах [1, 3, 4] было показано, что сбросы сточных вод с СБО «Северная» в море в весенне-летний период года оказывают крайне негативное влияние на экологическое состояние вод как Одесского залива, так и Одесского района северо-западной части Черного моря в целом. Для предотвращения этого влияния практикуется отвод сточных вод летом в Хаджибейский лиман, что в свою очередь порождает угрозу прорыва дамбы и затопления района Пересыпи в период весеннего половодья из-за переполнения лимана.

Вышеуказанные проблемы должно решить строительство глубоководного выпуска сточных вод СБО «Северная» с выводом сброса на удаление 4 км от береговой черты на глубину ≈ 10 м. Однако представленный общественности проект не содержит расчетных оценок, подтверждающих его эколого-экономическую эффективность. Поэтому представляется актуальным получить независимые оценки изменения степени влияния сточных вод СБО «Северная» на уровень загрязнения прибрежной рекреационной зоны г.Одессы после реализации проекта удаленного морского выпуска.

Цель работы заключается в оценке уровня и масштабов загрязнения вод прибрежной рекреационной зоны Одесского района северо-западной части Черного моря частично очищенными сточными водами, поступающими в морскую среду от СБО «Северная» и «Южная».

Методы и материалы, условия модельных расчетов. Для решения поставленной задачи использовалась численная гидротермодинамическая модель [5, 6]. Расчеты проводились для ветров восьми основных румбов со скоростью 7 м/с. Расчетная область Одесского района северо-западной части Черного моря покрывалась сеткой 61×72 узла с шагом 500 м (рис. 1). Использовались 10 расчетных уровней по вертикали. Начальное распределение температуры и солености воды задавалось однородным в горизонтальной плоскости и характерным для летнего периода – по глубине.

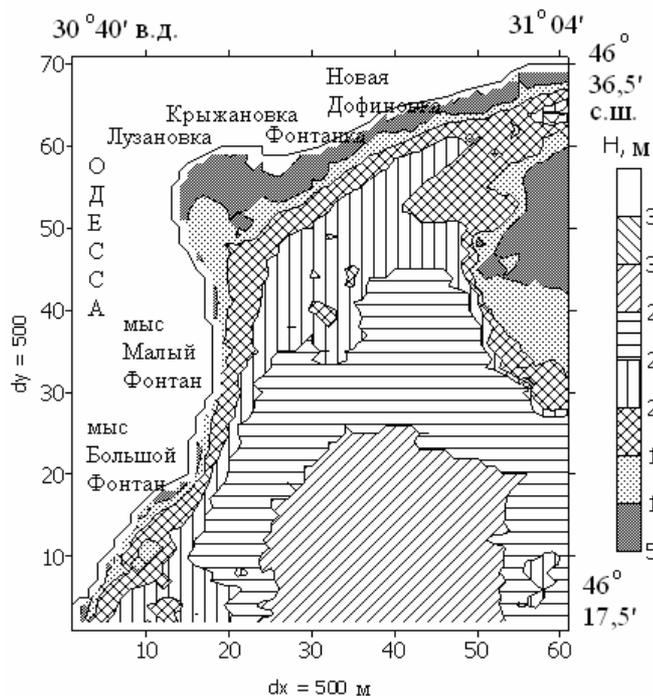


Рис. 1 – Расчетная область и батиметрическая карта (глубины в м) Одесского района СЗЧМ. На осях координат указаны номера узлов расчетной сетки.

Моделировалось распространение условного загрязняющего вещества – пассивной, консервативной примеси нейтральной плавучести, концентрация которой в сбросных водах СБО полагалась равной 1000 условным единицам (у.е.) в 1 м³ сточных вод. Расходы сточных вод для СБО задавались равными проектным – 146 млн. м³/год (4.6 м³/с) для СБО «Северная» и 73 млн. м³/год (2.3 м³/с) для СБО «Южная». Сброс частично очищенных сточных вод СБО «Южная» осуществляется через рассеивающий выпуск на расстоянии 2,12 км от берега, на глубине 18,2 м.

Фоновая концентрация примеси в водах исследуемой акватории принималась равной нулю. Расчет велся на 5 суток модельного времени при неизменных ветрах с учетом теплообмена с атмосферой.

При анализе результатов моделирования использовались сведения о повторяемости ветров различных направлений по данным ГМС Одесса-порт, приведенные в табл.1.

Таблица 1 – Повторяемость направления ветра (%) в летние месяцы по данным ГМС Одесса-порт за период 1981 – 2000 гг. [7]

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
VI	10,9	3,1	8,2	19,1	15,9	3,9	23,1	15,8
VII	14,1	2,0	5,6	15,3	11,8	2,8	27,7	20,7
VIII	14,7	3,5	7,5	14,7	12,1	3,8	24,3	19,4

Обсуждение результатов модельных расчетов. Поскольку распространение загрязняющих веществ от морских заглубленных выпусков СБО определяется системой течений, которые формируются в результате ветрового воздействия на водную поверхность, сгонно-нагонных колебаний уровня моря и формируемых ими горизонтальных градиентов плотности, то первоначально рассмотрим особенности циркуляции вод в исследуемой акватории. Результаты расчетов полей векторов течений

при ветрах различных направлений представлены на рис. 2 – 5. Видно, что при ветрах СВ, В, ЮЗ, З направлений на мелководье и свале глубин прибрежной зоны формируется однонаправленный вдольбереговой поток (рис. 2, 4), направленный по часовой стрелке при СЗ, З ветрах и против – при СВ, В ветрах. Средняя повторяемость этих ветров в течение летнего периода года по данным ГМС Одесса-порт составляет 31 % [7]. При С и Ю ветрах вдольбереговой поток разрывается в районе мелководья Одесского залива, где течения существенно ослабевают и образуют слабо выраженные замкнутые циркуляционные структуры. При С, СЗ, Ю и ЮВ ветрах вдоль западной границы исследуемой акватории у побережья г.Одессы между мысами Ланжерон и Большой Фонтан формируется узкое прибрежное противотечение, направленное противоположно основному баротропному потоку, расположенному мористее. При общем доминировании дрейфовой составляющей, пространственная изменчивость векторов суммарных течений в поверхностном слое определяется значительным влиянием баротропного потока на мелководье и плотностных течений, возникающих вследствие сгонно-нагонных явлений. Характер придонной циркуляции вод близок к баротропному.

Результаты расчетов уровня и масштабов загрязнения прибрежной зоны Одесского района при ветрах различных направлений в результате функционирования СБО «Северная» (современный вариант сброса), без учета вклада СБО «Южная», показали, что загрязняющие вещества, поступающие с ее сточными водами, распространяются вдоль северного побережья исследуемого района при Ю, ЮЗ, З и СЗ ветрах (суммарная повторяемость в летний период 57 %), ухудшая качество вод в районах пляжей Лузановка, Крыжановка, Фонтанка, Новая Дофиновка [8]. Наиболее высокий уровень загрязнения вод (более 10 усл. ед.) формируется в районах пляжей Лузановка и Крыжановка при Ю и ЮЗ ветрах. При С, СВ, В, ЮВ ветрах (суммарная повторяемость в летний период 40 %) загрязняющие вещества, поступающие со сточными водами СБО «Северная», ухудшают качество прибрежных вод вдоль западной границы Одесского района в пределах рекреационного побережья г.Одессы. Наиболее высокий уровень загрязнения морских вод на участке побережья от м.Ланжерон до м.Малый Фонтан формируется при СВ и В ветрах. Такая ситуация может наблюдаться летом в 11 % случаев.

Расчеты, выполненные отдельно для заглубленного выпуска сточных вод СБО «Южная», показали, что загрязняющие вещества переносятся на север вдоль западного рекреационного побережья исследуемого района при Ю, ЮЗ и З ветрах, которые наблюдаются в 32 % случаях в летний период. Наиболее негативное влияние на качество вод рекреационного побережья г.Одессы СБО «Южная» оказывает при З ветрах (повторяемость 25 %). При ЮЗ и З ветрах сброс сточных вод СБО «Южная» может способствовать повышению уровня загрязнения вод в районе пляжей Лузановка и Крыжановка.

Характерная особенность изменчивости гидрологической структуры вод исследуемого района в летний период года заключается в систематическом развитии прибрежного ветрового апвеллинга, который сопровождается подъемом к поверхности холодных придонных вод в прибрежной зоне моря [4]. Такой эффект хорошо прослеживается в результатах модельных расчетов распределения температуры воды поверхностного слоя при ветрах различных направлений, представленных на рис. 6.б, в.

Развитие прибрежного апвеллинга способствует увеличению влияния глубоководного выпуска сточных вод СБО «Южная» на уровень загрязнения поверхностных вод прилегающей прибрежной рекреационной зоны г.Одесса (западное побережье). В этом случае сезонный термоклин выклинивается к поверхности и его

изолирующее влияние на распространение загрязняющих веществ по вертикали уменьшается. Этот эффект проявляется при ЮЗ и З ветрах.

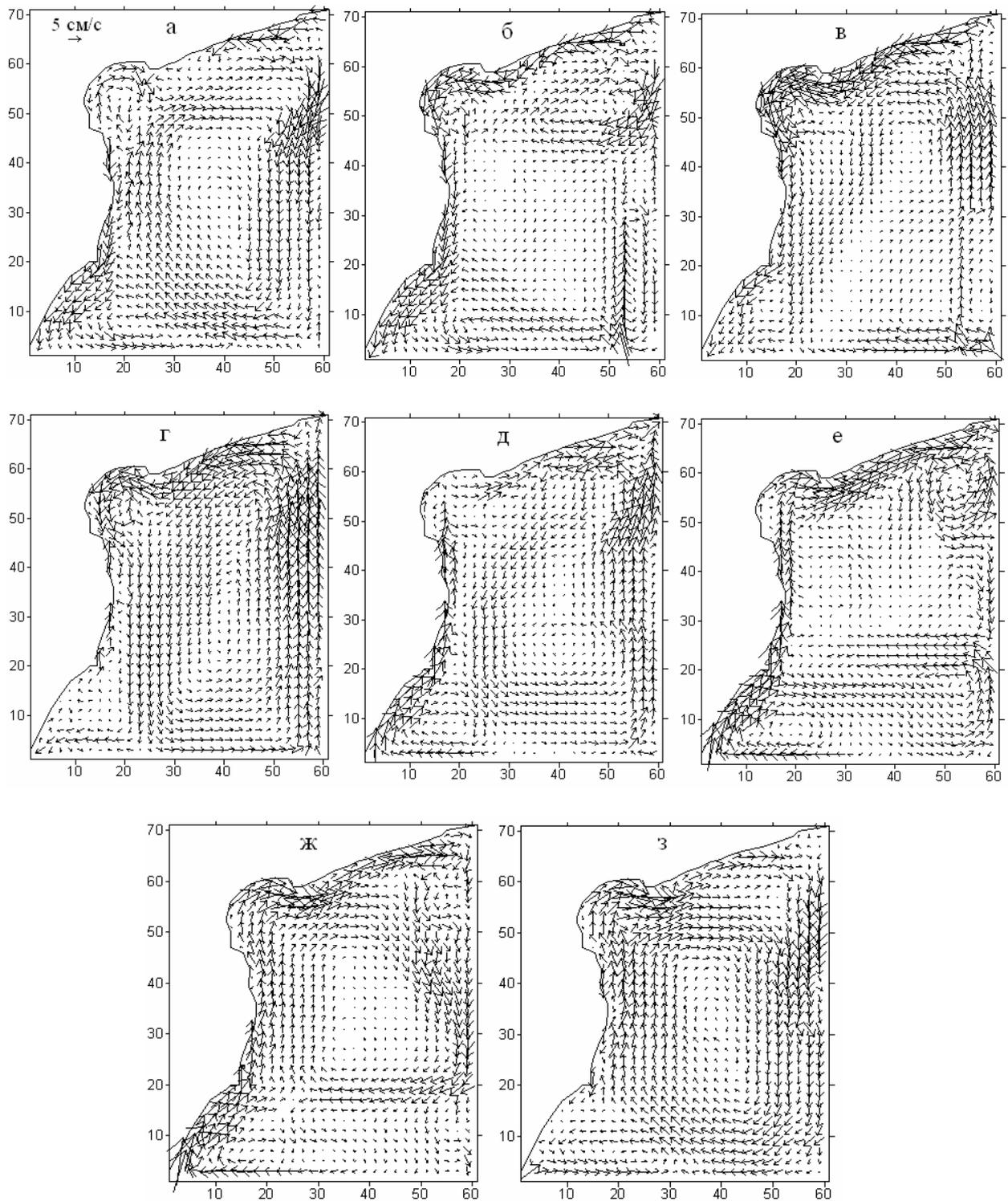


Рис. 2 – Поле векторов баротропных течений, см/с, в Одесском районе СЗЧМ при ветрах различных направлений со скоростью 7 м/с: а) северный; б) северо-восточный; в) восточный; г) юго-восточный; д) южный; е) юго-западный; ж) западный; з) северо-западный.

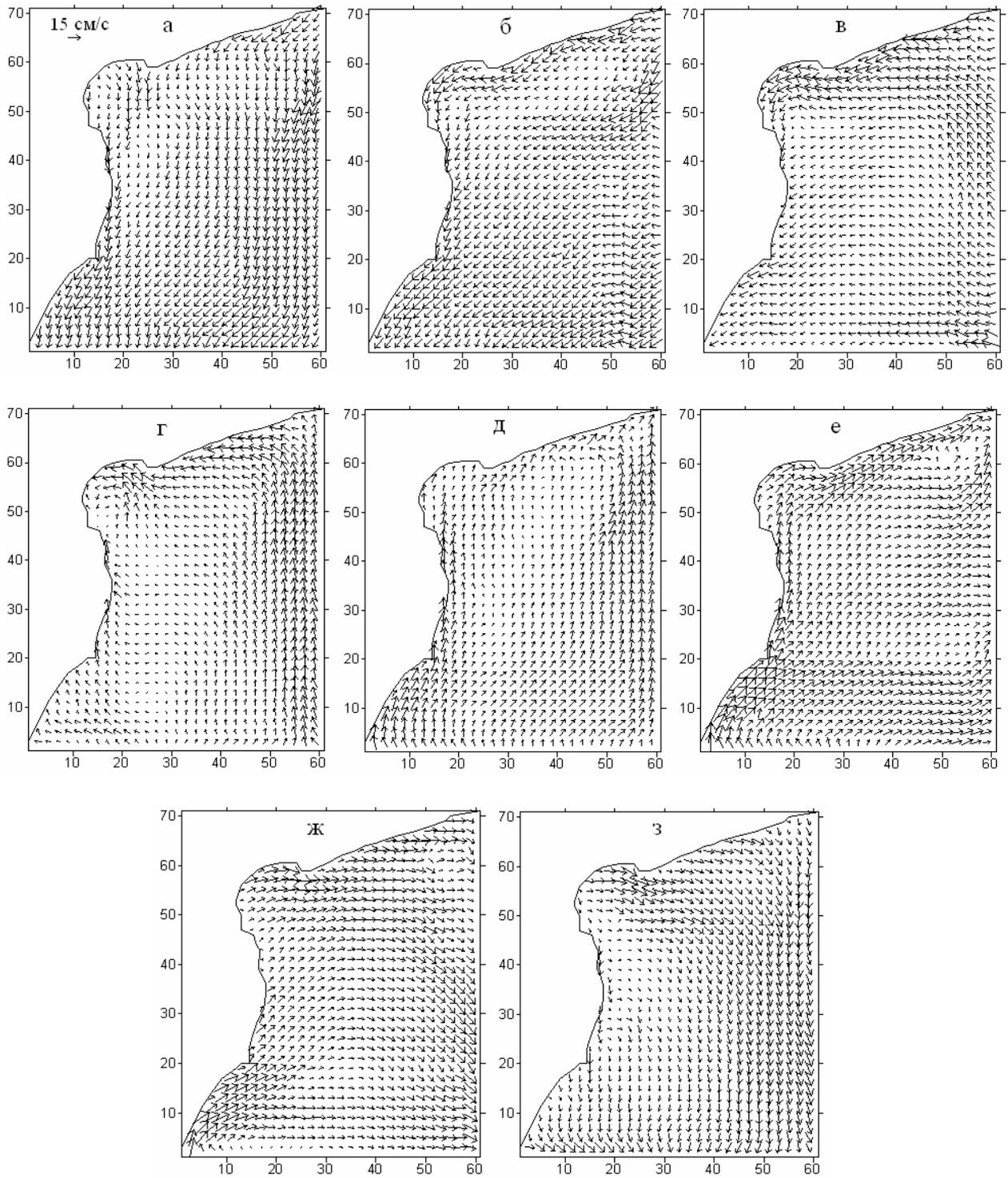


Рис. 3 – Поле векторов поверхностных течений, см/с, в Одесском районе СЗЧМ при ветрах различных направлений со скоростью 7 м/с: а) северный; б) северо-восточный; в) восточный; г) юго-восточный; д) южный; е) юго-западный; ж) западный; з) северо-западный.

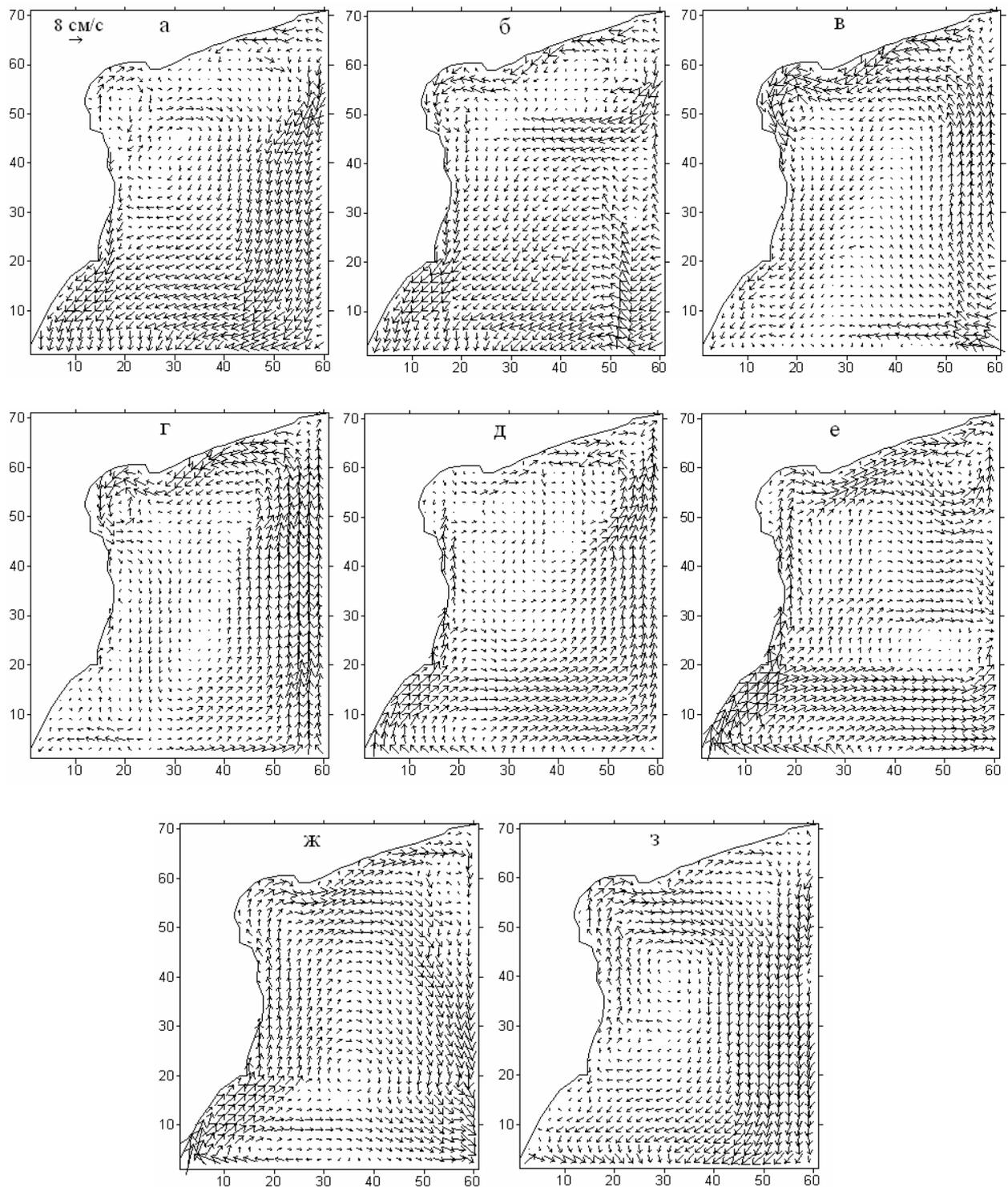


Рис. 4 – Поле векторов течений на глубине 4 м, см/с, в Одесском районе СЗЧМ при ветрах различных направлений со скоростью 7 м/с: а) северный; б) северо-восточный; в) восточный; г) юго-восточный; д) южный; е) юго-западный; ж) западный; з) северо-западный.

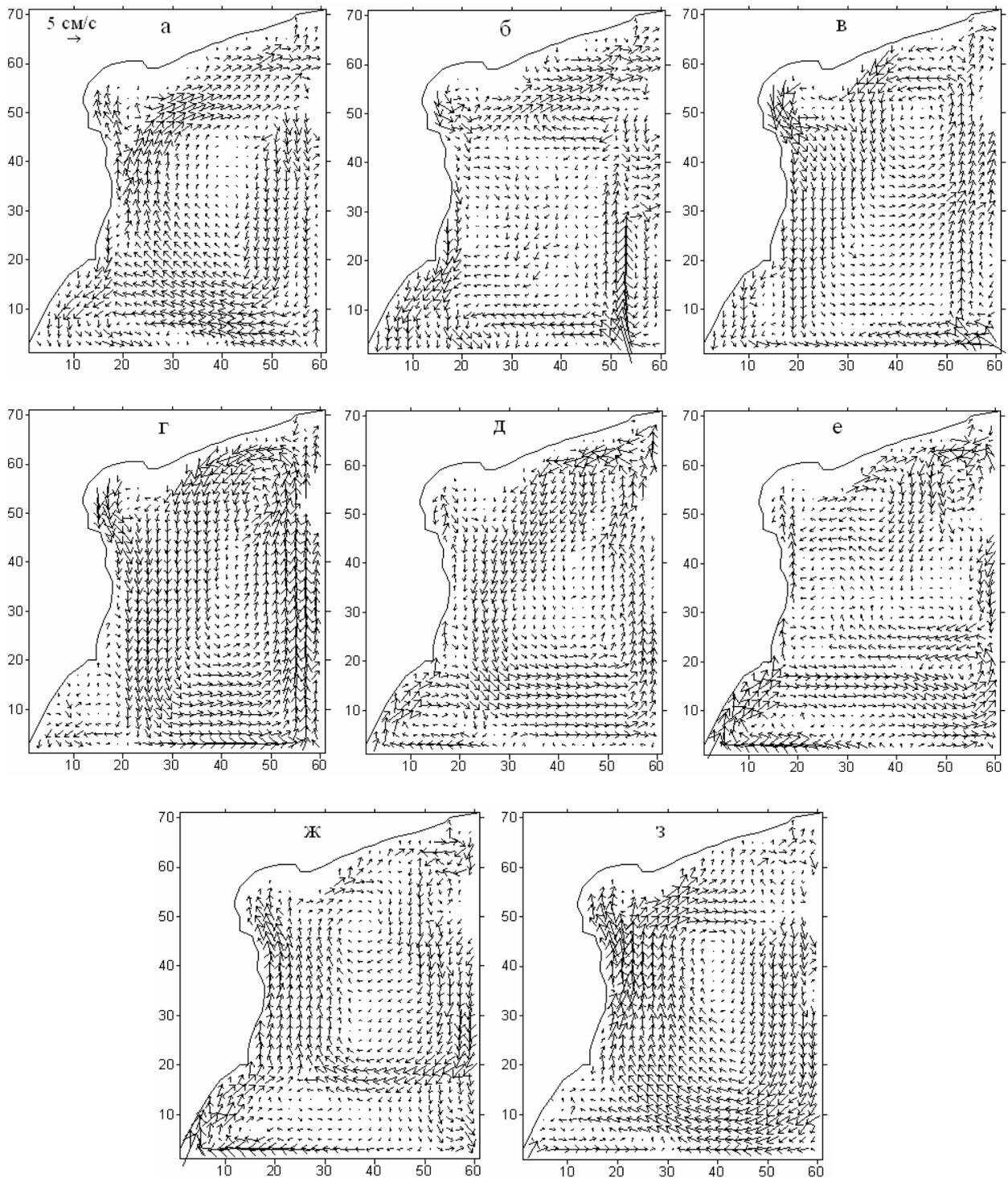


Рис. 5 – Поле векторов течений на глубине 9 м, см/с, в Одесском районе СЗЧМ при ветрах различных направлений скоростью 7 м/с: а) северный; б) северо-восточный; в) восточный; г) юго-восточный; д) южный; е) юго-западный; ж) западный; з) северо-западный.

Оценки уровня и масштабов загрязнения вод Одесского района СЗЧМ при совместном функционировании СБО «Северная» (современный вариант сброса) и «Южная» в летний период года приведены на рис. 7. Видно, что наиболее высокий уровень загрязнения морских вод у северного рекреационного побережья исследуемого района формируется при Ю, ЮЗ, З и СЗ ветрах (суммарная повторяемость 60 % в

летний период). Качество вод в прибрежной зоне западного рекреационного побережья может существенно ухудшаться при СВ, В, ЮВ и З ветрах (суммарная повторяемость 51 % в летний период).

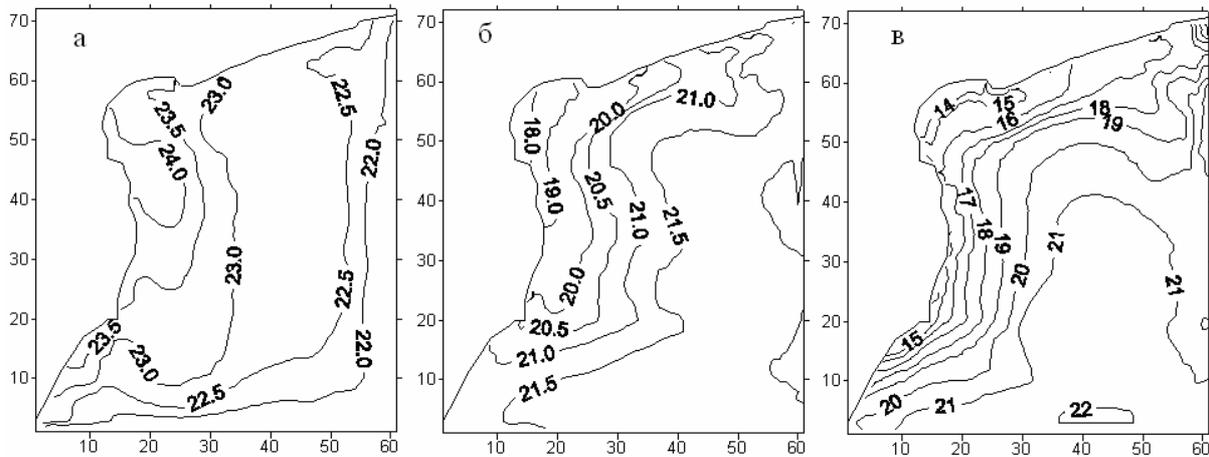


Рис. 6 – Распределение температуры морской воды (°С) в поверхностном слое для юго-восточного (а), юго-западного (б) и западного (в) ветров со скоростью 7 м/с.

Рассчитанные по модели поля концентраций загрязняющих веществ в поверхностном слое акватории Одесского района для проектируемого варианта сброса СБО «Северная», а также оценки изменения концентраций, которые произойдут при удалении выпуска сточных вод СБО «Северная» на 4 км от берега, по сравнению с современным вариантом сброса, представлены на рис. 8 – 10.

Из рис. 9 следует, что при реализации проекта, концентрации загрязняющих веществ в прибрежной зоне северного побережья Одесского района уменьшатся при ветрах большинства направлений, за исключением северного. Особенно значительное уменьшение уровня загрязнения вод следует ожидать вдоль северного побережья Одесского залива. Возможно незначительное увеличение загрязнения прибрежных вод в районе Новой Дофиновки при северо-западном ветре.

Вдоль рекреационного западного побережья Одесского района, на участке между мысами Ланжерон и Малый фонтан, уровень загрязнения прибрежных вод может возрасти при С и Ю ветрах, суммарная повторяемость которых в летний период составляет 26,5 %.

При расчете изменений концентрации загрязняющих веществ в относительных единицах использовалась формула вида

$$\eta_{i,j} = \left(C_{i,j}^M / C_{i,j}^n - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $\eta_{i,j}$ – изменение (в %) концентрации пассивной, консервативной примеси нейтральной плавучести – условного аналога загрязняющего вещества, в каждой расчетной точке акватории при введении в эксплуатацию удаленного морского выпуска сточных вод СБО «Северная» в сравнении существующим прибрежным вариантом сброса; $C_{i,j}^M$ – концентрация моделируемого загрязняющего вещества в узле (i, j) расчетной сетки при удаленном морском выпуске сточных вод; $C_{i,j}^n$ – концентрация

моделируемого загрязняющего вещества в том же узле сетки при существующем прибрежном варианте сброса.

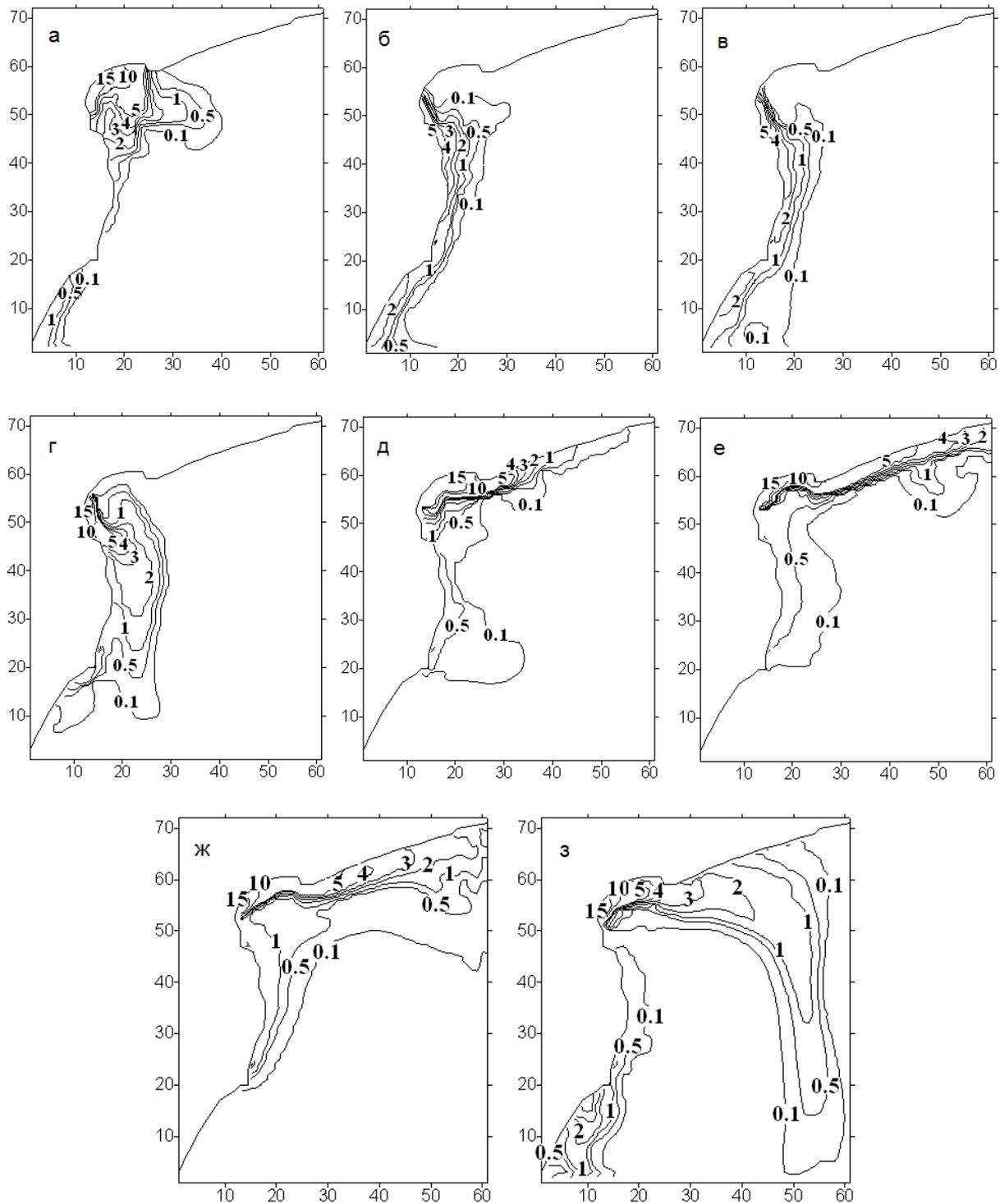


Рис. 7 – Концентрация консервативной примеси нейтральной плавучести в поверхностном слое при совместном функционировании СБО «Северная» (современный вариант сброса) и «Южная» при ветрах разных направлений со скоростью 7 м/с: а) северный; б) северо-восточный; в) восточный; г) юго-восточный; д) южный; е) юго-западный; ж) западный; з) северо-западный.

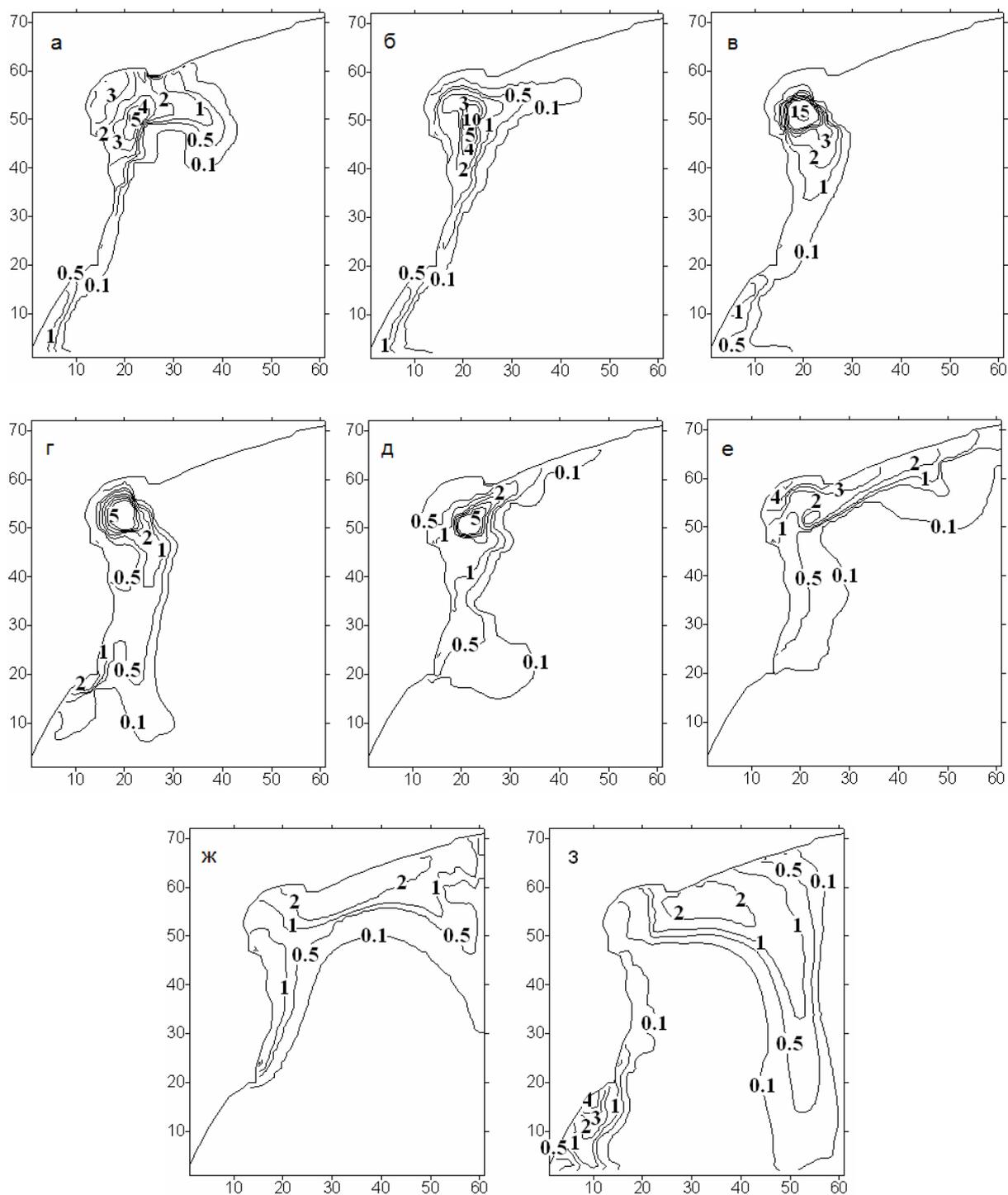


Рис. 8 – Концентрация консервативной примеси нейтральной плавучести в поверхностном слое при совместном функционировании СБО «Северная» (*проектируемый вариант сброса*) и «Южная» при ветрах разных направлений со скоростью 7 м/с: а) северный; б) северо-восточный; в) восточный; г) юго-восточный; д) южный; е) юго-западный; ж) западный; з) северо-западный.

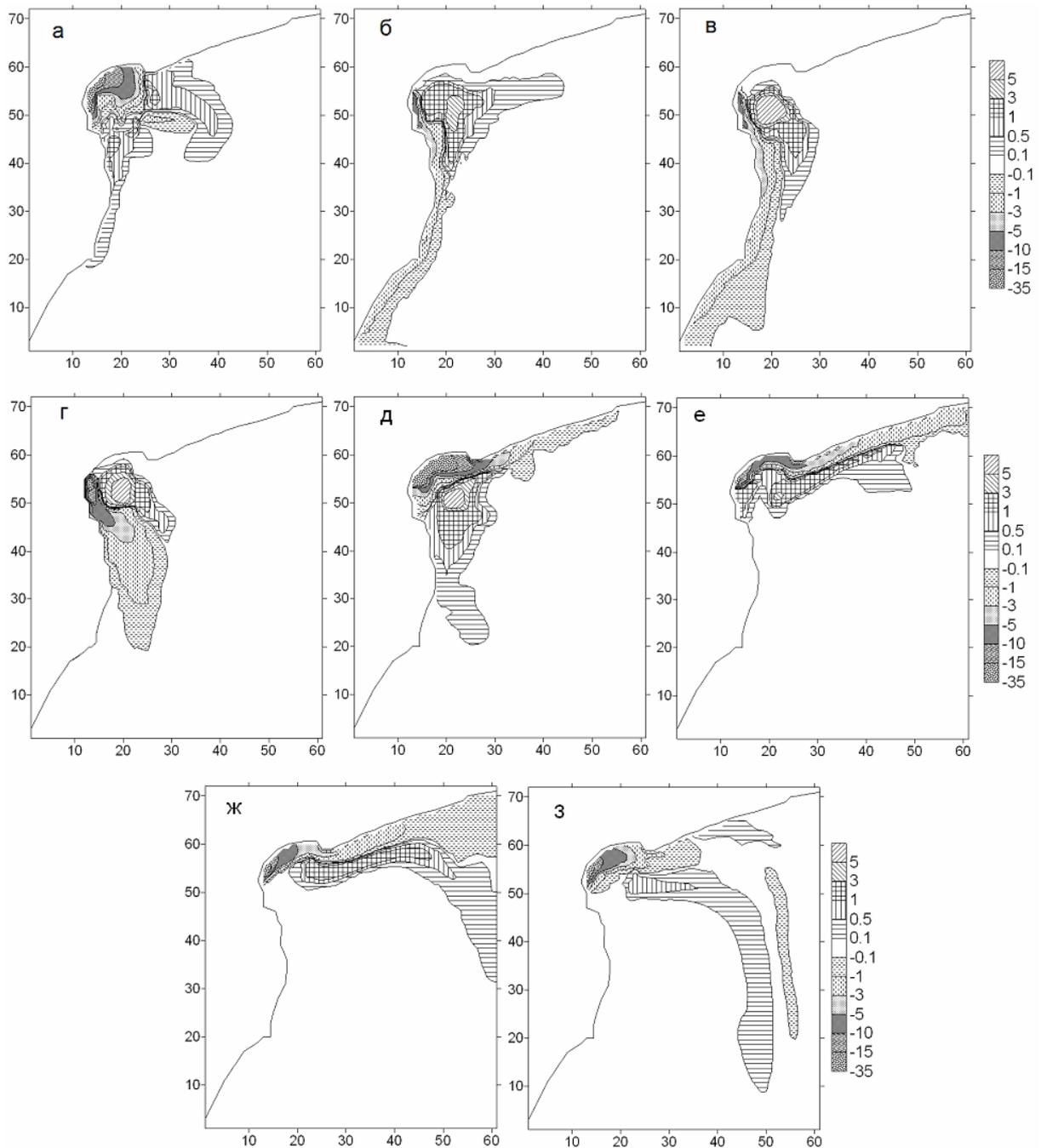


Рис. 9 – Изменение, в абсолютных единицах, концентраций консервативной примеси нейтральной плавучести в поверхностном слое при сравнении современного и проектируемого вариантов выпусков сточных вод СБО «Северная» (с учетом функционирования СБО «Южная») при ветрах разных направлений со скоростью 7 м/с: а) северный; б) северо-восточный; в) восточный; г) юго-восточный; д) южный; е) юго-западный; ж) западный; з) северо-западный.

При анализе оценок изменения концентраций загрязняющих веществ, получаемых с помощью формулы (1), приведенных на рис. 10, следует иметь ввиду, что рассчитанные значения η в разных шкалах отражают относительное изменение концентрации примеси в области положительных (увеличение концентрации) и отрицательных (уменьшение концентрации) значений η . В области положительных

значений $\eta=100\%$ соответствует увеличению концентрации примеси в 2 раза, $\eta=200\%$ – в 3 раза и т.д. В области отрицательных значений $\eta=-100\%$ соответствует уменьшению концентрации примеси до нуля, $\eta=-25\%$ – уменьшению концентрации примеси в 1,3 раза, $\eta=-50\%$ – в 2 раза, $\eta=-75\%$ – в 4 раза, $\eta=-90\%$ – в 10 раз.

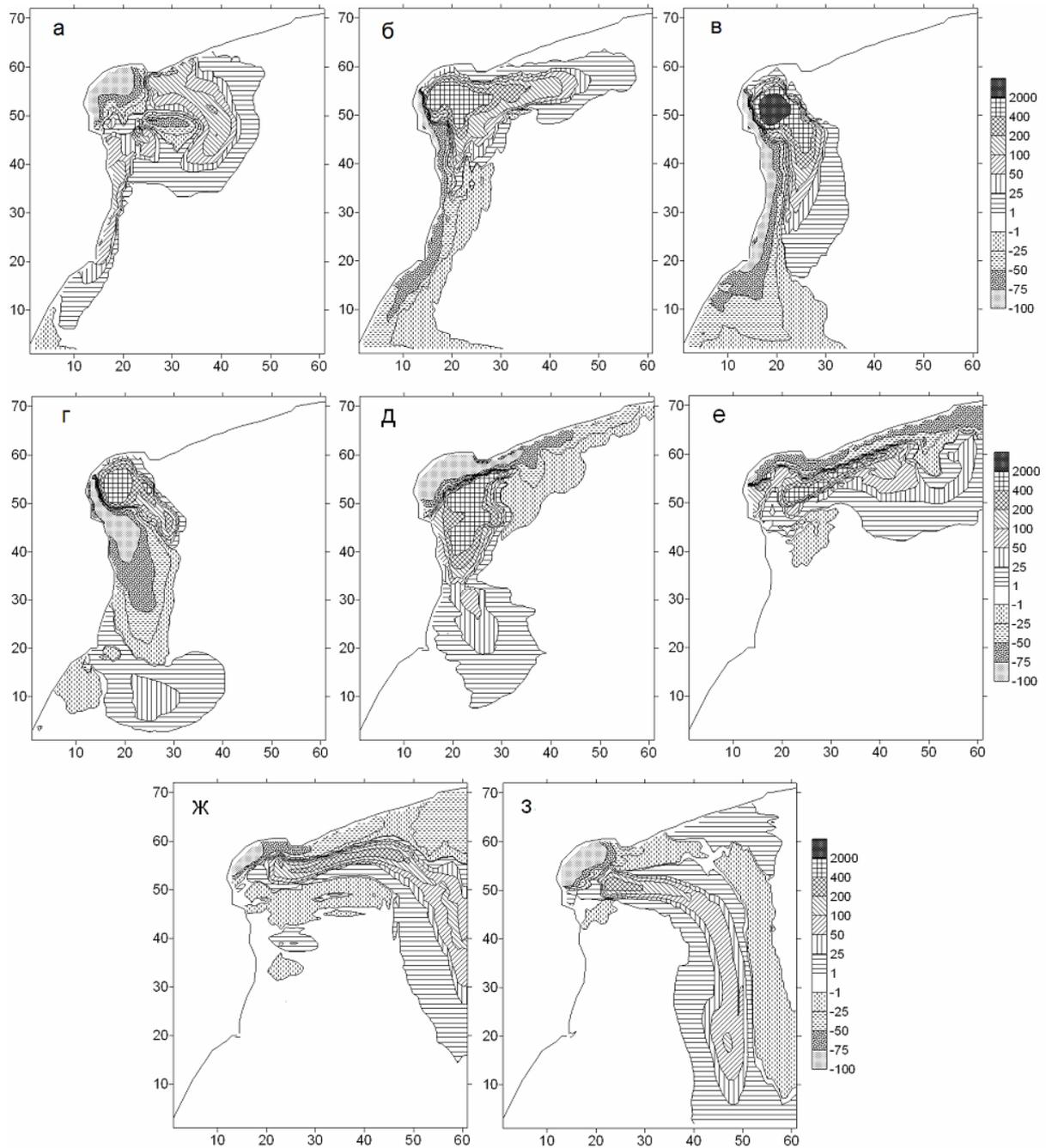


Рис. 10 – Изменение, в %, концентраций консервативной примеси нейтральной плавучести в поверхностном слое при сравнении современного и проектируемого вариантов выпусков сточных вод СБО «Северная» (с учетом функционирования СБО «Южная») при ветрах разных направлений со скоростью 7 м/с: а) северный; б) северо-восточный; в) восточный; г) юго-восточный; д) южный; е) северо-западный, ж) юго-западный; з) западный.

Из анализа рис. 10, с учетом изложенных выше комментариев, следует, что в прибрежной зоне западного рекреационного побережья Одесского района, в случае введения в эксплуатацию удаленного морского выпуска сточных вод СБО «Северная», возможно увеличение уровня загрязнения прибрежных вод на 25-100 %, по сравнению с современным вариантом сброса, при С и Ю ветрах. При ветрах с восточной составляющей (суммарная повторяемость 26,4 %), уровень загрязнения прибрежных вод на участке между мысами Ланжерон и Малый Фонтан уменьшится в 2-4, а возможно и более раз. При ветрах с западной составляющей (повторяемость 47,1 %) концентрация загрязняющих веществ не изменится.

У северного побережья Одесского района уровень загрязнения прибрежных вод существенно уменьшится при Ю, ЮЗ и З ветрах (суммарная повторяемость 42 %). Однако при С ветре возможно увеличение концентрации загрязняющих веществ восточнее м. Северный более чем в 2 раза. При ветрах с восточной составляющей качество прибрежных вод существенно не изменится, т.к. концентрации загрязняющих веществ у северного побережья малы.

Заметим, что полученные оценки уровня и масштабов загрязнения акватории Одесского района СЗЧМ сбросными водами СБО «Северная» и «Южная» представляют собой принятые при экологических расчетах оценки «сверху», т.е. это максимально возможные концентрации загрязняющих веществ при заданных условиях. В действительности многие виды загрязняющих веществ не являются консервативными и, помимо гидродинамического разбавления, их концентрации в воде убывают в воде за счет процессов химико-биологической трансформации и деструкции.

Выводы. В работе, на основе результатов численного математического моделирования, установлены особенности распространения загрязняющих веществ, поступающих от СБО г. Одесса, вдоль побережья Одесского района, определяемые ветровыми условиями. При совместном функционировании СБО «Северная» (современный вариант сброса) и «Южная» наиболее неблагоприятны для качества прибрежных вод западной границы района ветра СВ, В, ЮВ и З направлений, а для северной границы – Ю, ЮЗ, З и СЗ направлений. Доминирующая роль в формировании повышенного уровня загрязнения вод в прибрежной зоне Одесского района принадлежит СБО «Северная». Влияние СБО «Южная» на качество вод прибрежной зоны наиболее неблагоприятно при З и ЮЗ ветрах, при которых в весенне-летний период года развивается прибрежный апвеллинг.

При реализации проекта удаления выпуска сточных вод СБО «Северная» на 4 км от берега, концентрации загрязняющих веществ в прибрежной зоне Одесского района уменьшатся при ветрах большинства направлений, за исключением северного и южного. Особенно значительного уменьшения уровня загрязнения вод следует ожидать вдоль северного побережья Одесского залива. При С и Ю ветрах (суммарная повторяемость в летний период 26,5 %) возможно увеличение уровня загрязнения прибрежных вод на участке между мысами Ланжерон и Малый фонтан на 25 – 100 % по сравнению с современным вариантом сброса. С другой стороны, при ветрах с восточной составляющей (суммарная повторяемость 26,4 %), уровень загрязнения прибрежных вод на этом участке побережья уменьшится в 2 – 4, а возможно и более раз.

Список литературы

1. Тучковенко Ю.С., Сапко О.Ю. Оценка вклада антропогенных источников Одесского региона в загрязнение морской среды // Метеорологія, кліматологія та гідрологія.– 2003.– № 47. – С. 130-139.
2. Санитарные правила и нормы охраны прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения. СанПиН № 4631-88. – Москва, 1988. – 16 с.
3. Тучковенко Ю.С., Сапко О.Ю. Эвтрофирование вод Одесского региона северо-западной части Черного моря береговыми источниками загрязнения // Вісник Одеського державного екологічного університету. –2005.- Вип.1. – С. 195 - 205.
4. Иванов В.А., Тучковенко Ю.С. Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем. – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2006.- 368 с.
5. 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.
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. Казаков А.Л. Об использовании различной информации по ветру в прикладных исследованиях // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2005. – № 49. – С. 190–203.
8. Тучковенко Ю.С., Сапко О.Ю. Оценка влияния СБО «Северная» на загрязнение вод Одесского района северо-западной части Черного моря // Збірник докл. та статей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Екологія міст та рекреаційних зон» - Одеса: ІНВАЦ, 2-3 червня 2011.– С. 68 - 71.

Оцінка впливу СБО «Північна» і «Південна» на забруднення вод Одеського району північно-західної частини Чорного моря. Ю.С. Тучковенко, О.Ю. Сапко.

За допомогою чисельної гідродинамічної моделі одержані оцінки ступеня і масштабів забруднення акваторії Одеського району північно-західної частини Чорного моря при функціонуванні станцій біологічного очищення стічних вод м. Одеси «Північна» і «Південна» для вітрів різних напрямів. Особливу увагу надано оцінці змін, які відбудуться при введенні в експлуатацію віддаленого морського випуску стічних вод СБО «Північна»

Ключові слова: Одеський район Чорного моря, забруднення вод, стічні води, моделювання

Assessment the "Northern" and "South" stations for wastewater biological treatment on water pollution Odessa district northwestern Black sea. Tuchkovenko Y. S., Sapko O.Y.

With the help of a numerical hydrodynamic model the degree and the extent of water pollution in the Odessa region of the north-western part of Black Sea under operation of the "North" and "South" stations for wastewater biological treatment for the winds of various directions estimated. Particular attention is paid to the assessment of the changes that will occur in case of putting of the remote marine wastewater release into operation in the "North" station for wastewater biological treatment.

Keywords: Odessa region of the Black sea, water pollution, waste water, simulation