

**Ю.С. Тучковенко**, д.геогр.н., **Аль-Субари Али Ахмед Салех**  
Одесский государственный экологический университет

## **ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД В ОЗЕРАХ ЯЛПУГ-КУГУРЛУЙ ПРИДУНАЙСКОЙ СИСТЕМЫ**

Приведены результаты численного математического моделирования ветровой циркуляции вод в озерах Ялпуг-Кугурлуй. Показано как особенности циркуляции вод влияют на распространение примеси нейтральной плавучести, поступающей в водоем с дунайскими водами через соединительные каналы.

**Введение.** Система двух взаимосвязанных озер Ялпуг-Кугурлуй образует самый крупный водоем Придунайской озерной группы. При этом озеро Ялпуг является самым глубоким водоемом этой группы, а озеро Кугурлуй фактически представляет собой южную мелководную часть озера Ялпуг, связанную с ним относительно широкой протокой (рис. 1). Озеро Кугурлуй связано с р.Дунай системой соединительных каналов (Скунда, 105 км, Репинда), через которые осуществляется наполнение озер дунайской водой в период паводков. В северную часть озера Ялпуг впадает малая река с аналогичным названием, годовой сток которой 50 % обеспеченности составляет 403 млн.м<sup>3</sup>. Площадь водной поверхности оз. Ялпуг равна 142 км<sup>2</sup>, а оз. Кугурлуй – 84 км<sup>2</sup>.

Водоем используется для питьевого водоснабжения прилегающих населенных пунктов и в летние месяцы осуществляется забор воды в ирригационных целях. Учитывая, что речные воды – потенциальный источник загрязнения водоема, поступление речных вод и водозабор озерных осуществляются в разных частях водоема, что воды р.Дунай являются слабоминерализованными, а р.Ялпуг – относительно высокоминерализованными, актуальной представляется задача исследования особенностей циркуляции вод в водоеме, которая определяет водо- и массообмен примесью между различными его частями.

Цель представляемой работы заключается в изучении особенностей циркуляции вод в оз.Ялпуг-Кугурлуй, обусловленной его морфологическими характеристиками и ветровым воздействием, а также их влияния на распространение примеси, поступающей в водоем с речными водами. Результаты гидродинамического моделирования баротропной циркуляции вод в озере Ялпуг рассматривались ранее в работе [1]. В данной работе рассматривается не только баротропная (средняя по глубине) циркуляция вод, но и структура течений в поверхностном и придонном слоях водоема.

**Материалы и методы исследования.** Для установления особенностей циркуляции вод в оз.Ялпуг-Кугурлуй использовалась нестационарная гидродинамическая модель [2], основанная на численном решении полных

уравнений движения. При расчетах акватория водоема покрывалась горизонтальной расчетной сеткой 29×96 узлов с шагом 500 м. Использовались 4 расчетных уровня по вертикали в  $\sigma$  - системе координат. Глубины в лимане задавались соответствующими отметке уровня воды в водоеме 2.46 м БС (рис. 1).

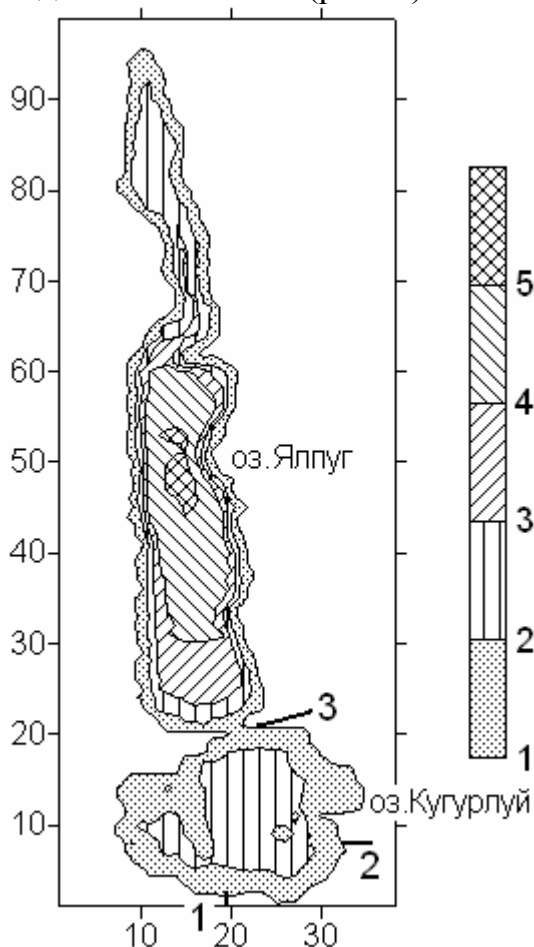


Рис. 1 - Батиметрическая карта озер Ялпуг-Кугурлуй, м, при отметке уровня воды 2,46 м БС. Оси размечены в номерах узлов расчетной сетки.

Пространственный шаг  $\Delta x = \Delta y = 500$  м. Обозначения соединительных каналов с р. Дунай: 1- Скунда; 2 – 105 км; 3 – Репинда.

Модельные расчеты проводились для ветров восьми основных румбов силой 7 м/с. Установление полей ветровых течений при неизменной силе ветра происходило в течение нескольких суток. Отдельные результаты расчетов при продольных и поперечных по отношению к оси водоема ветрах приведены на рис. 2 - 3.

**Обсуждение результатов моделирования.** Модельные расчеты показали, что структура течений на большей, как правило, глубокой части

акватории водоема имеет двухслойный характер. В поверхностном слое горизонтальные вектора течений направлены по ветру, а в придонном слое – в обратном направлении. Исключение составляет прибрежное мелководье, где формируется однонаправленный по вертикали поток. Этот поток интенсифицируется при ветрах с продольной составляющей (рис. 2). При северных и южных ветрах скорости вдольбереговых течений составляют 5-10 см/с. Вдоль продольной оси водоема в глубокой его части поверхностные дрейфовые течения (направленные по ветру) ослабевают (до 2-3 см/с) противоположно направленным баротропным потоком, который доминирует в толще воды за исключением поверхностного слоя. В придонном слое, наоборот, наблюдается интенсификация потока вдоль продольной оси водоема, структура поля течений близка к баротропной.

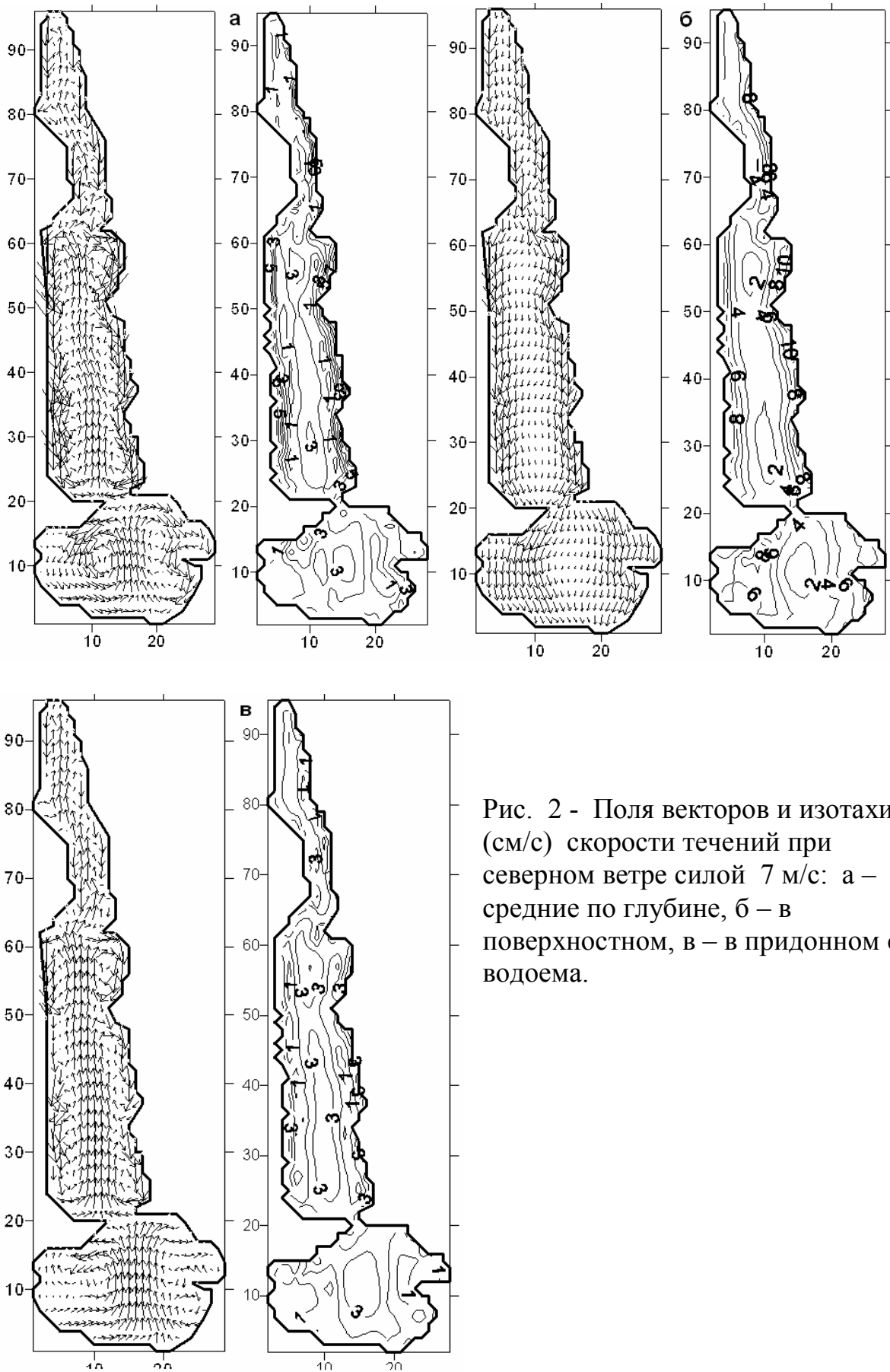


Рис. 2 - Поля векторов и изотихи (см/с) скорости течений при северном ветре силой 7 м/с: а – средние по глубине, б – в поверхностном, в – в придонном слое водоема.

Скорости придонных течений меньше баротропных на мелководье, в результате действия придонного трения, и несколько превышают их в

глубокой части водоема, где меньше сказывается компенсирующее влияние противоположно направленных дрейфовых течений.

Интегральная по глубине циркуляция вод при продольных ветрах характеризуется наличием вихревых структур, образуемых компенсационным потоком, направленным вдоль продольной оси водоема противоположно проекции вектора скорости ветра на эту ось, и вдольбереговыми потоками, направленными в соответствии с проекцией ветра. Водоем можно разбить на три части: оз.Кагул, широкая основная часть оз.Ялпуг, узкая северная часть оз.Ялпуг, – на границах между которыми компенсационный поток прерывается.

При поперечных ветрах трехмерная циркуляция вод представляет собой большую конвективную ячейку с осью вытянутой вдоль водоема (рис 3). Наблюдается интенсификация баротропных и придонных течений на участках мелководья ориентированных в поперечном к оси водоема направлении, в частности, в оз.Кугурлуй, на северной и южной границах основной части оз. Ялпуг. Там же, в поле средних по глубине течений, образуются локальные вихревые структуры.

Для оценки влияния особенностей ветровой циркуляции вод на характер распространения примеси, поступающей в водоем с речными водами, были выполнены модельные расчеты при стационарных ветрах различных направлений силой 7 м/с, в которых задавались расходы воды по каналам Скунда, 105 км, Репинда равными, соответственно, 37.2, 25.1, 30.7 м<sup>3</sup>/с, а в р.Ялпуг – 1.51 м<sup>3</sup>/с (условия апреля). Концентрация примеси нейтральной плавучести в речных водах полагалась равной 100 усл.ед. Результаты расчетов пространственного распределения примеси на акватории водоема на 10 сутки модельного времени приведены на рис. 4. Видно, что в зависимости от направления ветра, концентрация примеси в некоторых точках южной части водоема может изменяться в 5 раз.

**Выводы.** На основе анализа результатов гидродинамического моделирования установлено, что ветровая циркуляция вод в водоеме имеет двухслойный характер, который наиболее ярко выражен при поперечных к оси водоема ветрах. При ветрах с продольной составляющей формируются интенсивные однонаправленные вдольбереговые потоки на прибрежном мелководье и компенсационный баротропный поток вдоль продольной оси водоема, который ослабляет поверхностные дрейфовые течения. Из-за морфологических особенностей водоема компенсационный поток разрывается на три части и не является транзитным вдоль всей его длины. Указанные особенности ветровой циркуляции вод определяют пространственную изменчивость концентрации примеси, поступающей в водоем с водами р.Дунай, на временных масштабах естественно-синоптического периода.

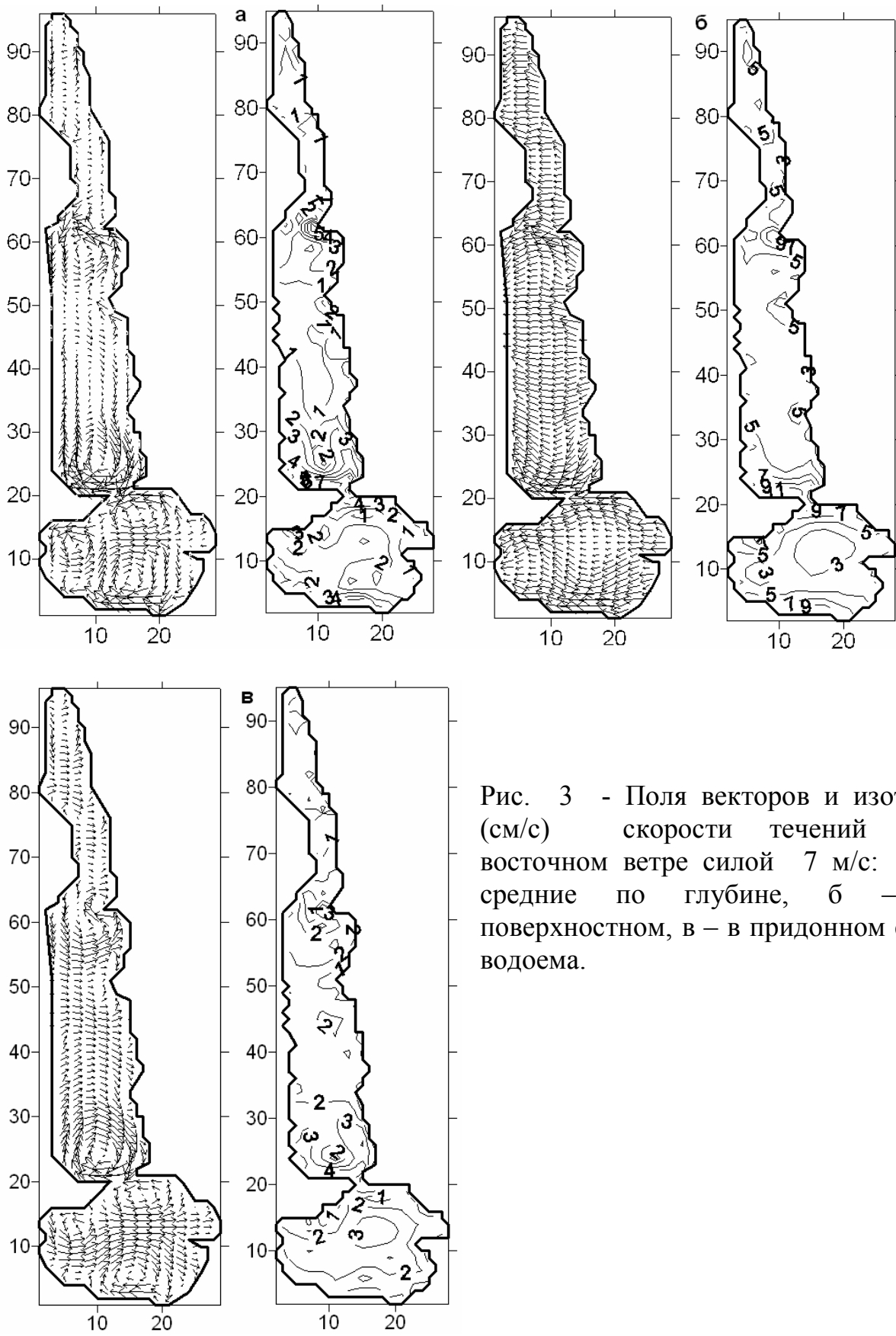


Рис. 3 - Поля векторов и изотихи (см/с) скорости течений при восточном ветре силой 7 м/с: а – средние по глубине, б – в поверхностном, в – в придонном слое водоема.

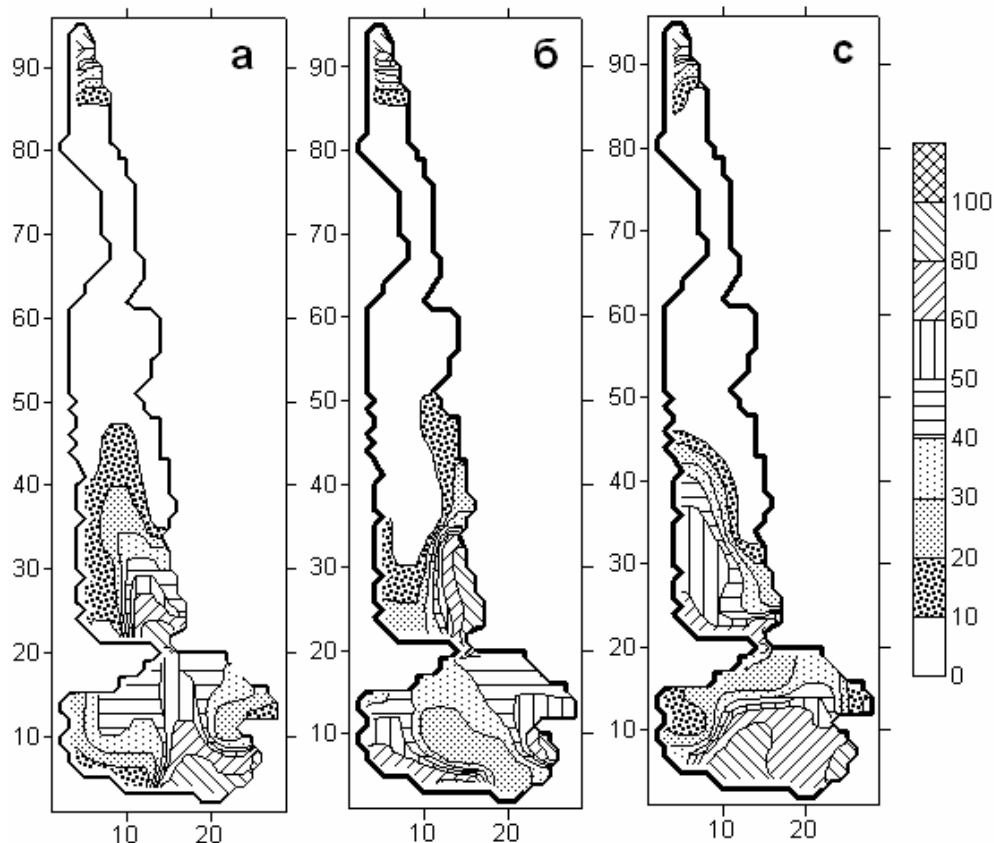


Рис. 4 - Рассчитанные по модели поля концентрации в водоеме условной примеси, поступающей в озеро с водами р. Дунай (по каналам) и р. Ялпуг (в северной части водоема), через 10 суток модельного времени при циркуляции вод, обусловленной ветрами С (а), Ю (б) и В направлений силой 7 м/с. Концентрация примеси в источниках соответствует 100 усл.ед.

#### Список литературы

1. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоемов Украины. – К.: Наукова думка. –2006. –С.257-262.
2. 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.

#### SUMMARY

**Y.S. Tuchkovenko, Al-Subary Ali Ahmed Saleh**

#### FEATURES OF WATER CIRCULATION IN YALPUG-KUGURLUY LAKES OF NEAR-DUNAY SYSTEM

The results of numeral mathematical modelling of wind circulation of waters in the Yalpug-Kugurluy lakes are presented. It is shown as features of water circulation affect distribution of neutral buoyancy admixture which enters a reservoir through connecting channels together with waters of the river Danube.