

Шапатіна Ольга Олександрівна, аспірант, асистент, кафедра «Управління вантажною і комерційною роботою», Українська державна академія залізничного транспорту, площа Фейербаха, 7, м. Харків, Україна, 61050
E-mail: olga-paradigma@yandex.ru

УДК 339:623(470.26)

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.40920

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КОНВЕКЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ В РАЙОНЕ НОВОРОССИЙСКА

© М. Б. Капочкина, В. Ю. Зорин

Принудительная конвекция используется для снижения мутности придонных слоев при проведении поисковых работ в районе Багамской банки. В Черноморском регионе провоцирование конвекции связано с необходимостью снижения концентраций сероводорода и повышения Eh глубинных вод. Выполнено математическое моделирование принудительной конвекции в районе Новороссийска. Указано на негативные побочные эффекты в виде формирования Новороссийской боры

Ключевые слова: глубоководные поисково-спасательные работы; принудительная конвекция; сероводород; апвеллинг; Новороссийская бора

Forced convection is used to reduce turbidity of bottom layers during search operations in the area of Bahama Bank. Provoking convection in the Black Sea region associated with the need to reduce the concentration of hydrogen sulfide and improve Eh of deep waters. Mathematical simulation of forced convection near Novorossiysk is developed. It is indicated on the negative side effects such as the formation of Novorossiysk bora

Keywords: deep-emergency rescue work; forced convection; hydrogen sulfide; upwelling; Novorossiysk bora

1. Введение

Проведение морских поисково-спасательных работ в различных районах Мирового океана имеют свою специфику. Наиболее часто, препятствием для проведения глубоководных работ являются оптические характеристики морской воды. В качестве примера можно привести неблагоприятные оптические условия в придонном слое морей Карибского бассейна, особенно в районе Багамской банки, вызванные явлением «whiteing» – повышенной мутностью придонных слоев в связи с процессом растворения-осаждения карбонатов над коралловой отмелью. Для улучшения оптических характеристик придонного слоя в подводных водолазных работах используют специальные насосы, закачивающие в придонный слой прозрачные поверхностные воды.

В Черном море специфика проведения поисково-спасательных работ глубже 150 м обусловлена гидрохимическими особенностями – высокими концентрациями сероводорода и низкими значениями Eh глубинных вод. Восстановительные условия морской среды вызывают активизацию коррозионных и других негативных процессов, что ограничивает ресурс используемой глубоководной техники. Неблагоприятные геохимические условия на внешней бровке шельфа начинаются с глубины 150 м и с глубины 120–130 м в центральной части моря. На рис. 1 показана карта верхней границы слоя анаэробных вод в Черном море.

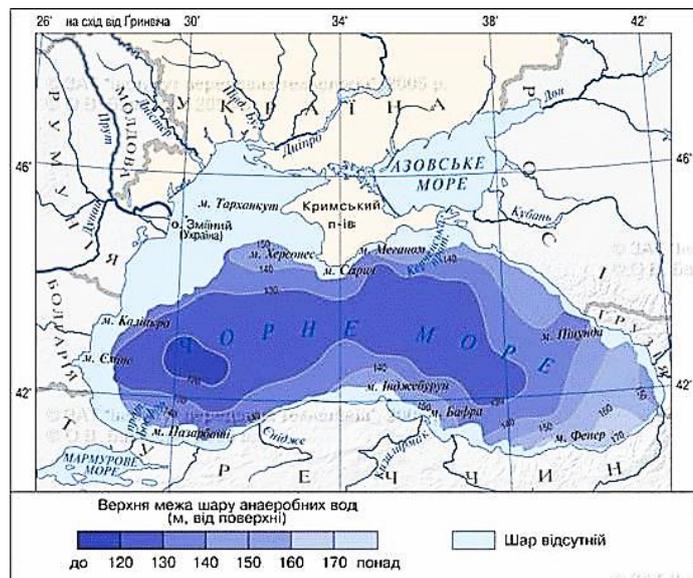


Рис. 1. Карта верхней границы слоя аэробных вод [1]

Актуальность выполнения глубоководных работ в сероводородной зоне Черного моря имеет обоснование. Приведем конкретный пример. Во время проведения учений вооруженных сил противовоздушной обороны России и Украины 4 октября 2001 года самолет рейса Тель-Авив – Новосибирск был сбит и упал в море. Корабли ВМС Украины были вытеснены из района катастрофы кораблями ВМФ РФ. В предполагаемом месте падения самолета с использованием глубоководной техники РФ был обследован квадрат 5 на 5 км [2], но корпус самолета так и не был найден [3]. Выполненный нами аналитиче-

ский обзор позволил сформулировать следующие положения:

– интерес Израильской стороны к дорогостоящему проекту по поднятию останков самолета гипотетически может быть связан, в том числе, с импортом из Израиля в РФ обработанных алмазов.

– за два дня до катастрофы самолета, перевозившего ценный груз из Израиля в РФ, РФ объявила о намерении изменения условий импорта обработанных алмазов в РФ, что разрушало монополию De Beers на приобретение российских алмазов [4];

– за день до катастрофы РФ обвинила De Beers в занижении цен на алмазы, приобретаемые у АЛРОСА [5];

– через неделю после катастрофы не состоялось запланированное подписание нового торгового соглашения между De Beers и АЛРОСОМ, а в дальнейшем Россия получила право продавать алмазы без ограничений. [6].

Приведенные факты свидетельствуют о необходимости развития Украиной технологий и технических средств по проведению глубоководных поисково-спасательных работ.

2. Постановка проблемы

Причины возникновения сероводородного заражения дискусионны, а проблема отсутствия методических решений прогнозирования динамики поднятия к поверхности анаэробной зоны стоит очень остро. В связи с этим зона сероводородного заражения Черного моря формирует комплекс рисков для стран Черноморского региона. Причины сероводородного заражения Черного моря широко дискутируются по многих научных публикациях. В одной из последних работ на эту тему [7], указано, что одной из главных причин формирования Черноморской сероводородной зоны, в отличие от Каспийского моря, где сероводород возникает эпизодически, является водообмен с Мраморным морем через Босфор. В результате непрерывного поступления в глубинные слои Черного моря Мрамороморских вод, содержащих более высокие концентрации сульфатов, в Черном море, формируется положительный баланс серы. Утилизация серы в донных отложениях биологическим путем, лимитируется низкой биопродуктивностью глубинных вод. Возникает система с положительной обратной связью: наличие сероводорода лимитирует биопродуктивность, а низкая биопродуктивность снижает эффективность выведения серы в донные отложения. В существующих условиях, исследования и проекты направленные на понижение уровня сероводородного заражения в Черном море должны приветствоваться. Такие проекты могут иметь не только региональный, но и локальный масштаб. Нами исследуется локальный масштаб возбуждения принудительной конвекции, позволяющий в нужном месте и в нужное время увеличить Eh морской среды. В связи с тем, что сероводород в глубинных водах Черного моря находится преимущественно в виде ионов HS^- , в условиях практического отсутствия течений, искусственно созданная зона с низкими концентрациями HS^- может существовать

достаточно длительное время, достаточное для выполнения глубоководных поисково-спасательных и подъёмных работ. В этой ситуации появляется возможность снижения негативного геохимического воздействия на глубоководную технику и создаст условия многократного использования глубоководного оборудования, не в полной мере защищенного от неблагоприятных гидрохимических условий сероводородной зоны Черного моря.

Нами предлагается техническое решение рассматриваемой проблемы путем формирования принудительной конвекции. Для достижения поставленной цели необходимо изучить эффективность природных процессов перемешивания глубинных слоев в Черном море, приводящих апвеллингам и выполнить математическое моделирование принудительной конвекции.

В связи с тем, что самый узкий шельф в Черном море в районе Новороссийска и именно здесь сероводородная зона максимально приближена к берегу, исследования были выполнены в этом районе.

3. Литературный обзор

В работе [8] были изучены материалы многосуточной глубоководной станции выполненной 13–20 августа 1975 г. с использованием комплекса «Гидрозонд» в точке с координатами $\varphi=44,02^\circ$ с.ш., $\lambda=33,02^\circ$ в.д. и глубиной 1800 м. Измерения выполнялись до глубины 1500 м. По данным измерения температуры было установлено, что в начале наблюдений более теплые глубинные воды с температурой 9°C находились на глубине более 900 м. О существовании конвективных движений свидетельствовали инверсии температуры зафиксированные на глубинах 300–700 м. В результате анализа временной изменчивости вертикального изменения температуры установлено, что 15 августа изотерма $8,9^\circ\text{C}$ поднялась с глубины 800 м до глубины 400 м. По данным измерения солёности было установлено, что в изогалина $22,3\%$ поднялась с глубины 1000 м до 650 м.

В приповерхностном слое изогалина $18,5\%$ поднялась с глубины 35 м до глубины 15 м. Подъем теплых и соленых глубинных вод от дна до поверхности фиксировался на протяжении 12 часов. Скорость вертикального подъема глубинных вод была оценена в 3 м/сек. Важно отметить, что в зоне пикноклина скорость вертикальных движений практически на два порядка ниже. В этой же работе [8] приведены данные измерений подъёма к поверхности глубинных вод на мелководье (глубина 22 м). Измерения температуры и солёности были выполнены через 1 м по вертикали с дискретностью 2 часа во времени. По этим данным были рассчитаны характеристики конвективных движений (частота Вьяйсяля-Брента). Вертикальное распределение температуры было практически однородно от поверхности до дна. Температура водной толщи была около 8°C , что соответствует условиям зимнего сезона в районе Новороссийска. В результате инъекции в придонный слой более теплой воды с температурой около 9°C сформировался сравнительно теплый придонный слой от дна до горизонта 15 м. Область неустойчивой стратификации

(активного конвективного перемешивания) охватила придонный слой от дна до глубины 18 м. Этот слой устойчиво существовал на протяжении 4–5 часов. Через 3–4 часа произошла инъекция сравнительно холодных, но менее соленых вод. Этот процесс длился около суток. Весь этот период в придонном слое происходили конвективные процессы. Толщина придонного слоя, охваченного конвекцией достигала

10 м. На рис. 2 показаны и другие, менее выраженные эпизоды развития конвективных процессов в шельфовой зоне. В начале измерений, пикноклин располагался на глубине 14 м. По мере развития конвективных процессов он был вытеснен практически к поверхности и находился на глубине 5 м. Это можно назвать подповерхностным апвеллингом. В конце измерений пикноклин был разрушен.

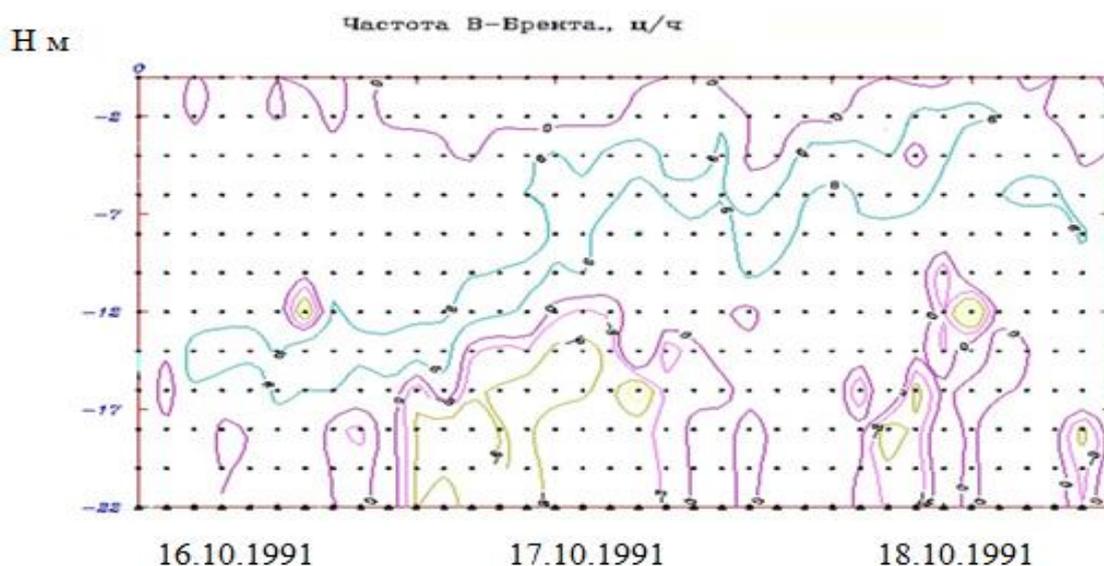


Рис. 2. Изменение во времени частоты Вэйсёля-Брента, по данным рейдовой станции [9]

В работе [9] проанализированы данные глубоководных измерений на океанологическом разрезе в районе Геленджика, выполненном 13.02.1961 года. Глубоководные измерения выполнены от поверхности до дна на станциях, удаленных от берега на 0,5; 6; 11; 15; 20; 30 км. Результаты измерений сравнивались с аналогичными измерениями, выполненными 29.01.1961 г. Установлено, что 13.02.1961 г., по сравнению с предыдущим периодом, глубинные воды поднялись к поверхности с глубины 80 м до глубины 40 м. В работе [9] была изучена конвекция – распределение с глубиной частоты Вэйсёля-Брента на океанологических разрезах 29 января и 13 февраля 1961 г.

13 февраля слой воды с максимальными значениями частоты Вэйсёля-Брента был расположен на глубине 60 м, он отделял поверхностные воды от более соленых и соответственно более плотных глубинных вод. Максимальные значения частоты Вэйсёля-Брента наблюдались на удалении 30 миль от берега и достигали 14 циклов/час. В прибрежной зоне шириной 10 км верхний двадцатиметровый слой оказался более пресным. В этой же зоне в слое 60–80 м конвекцией был разрушен пикноклин. Важно отметить, что в данном случае в результате природной конвекции, вышедшие на поверхность теплые воды спровоцировали Новороссийскую бору [9]. Таким образом, необходимо отметить, что конвективные процессы в зимний сезон в районе Новороссийска могут иметь негативные побочные эффекты в виде резкого усиления местных ветров.

Было выполнено математическое гидродинамическое моделирование трехмерного распределения температуры в прибрежной гоне с зимним типом температурной стратификации, характерным для Новороссийской бухты (температура у дна 6,5 °С, на поверхности 8,5 °С, вертикальный градиент 0,1 °С на 1 м). Расчетная область выбрана 100 м*100 м*20 м. Граничные условия – на боковых границах свободное протекание. Расчетная сетка x-y-z выбрана 1×1×0,5 м, что соответствует 400 тыс. расчетных точек. Выполнено 5 тыс. итераций с шагом по времени 0,5 с. Моделировалась технически осуществимая инъекция в придонный слой сравнительно теплых морских вод (10 °С) с расходом 10 м³/с. В ходе выполнения расчета установлено, что при формировании плавучей струи сначала проявляются отдельные всплывающие объемы и только в последующем формируется плавучая струя рис 3. В результате гидродинамического моделирования установлено, что принудительная конвекция охватывает всю водную толщу и выходит на поверхность через 15 минут, что искусственно создает определенную зону от поверхности до дна с более благоприятными для поисково-спасательных работ оптическими и гидрохимическими характеристиками. В данном случае в качестве аналога можно принять метод закачивания прозрачных поверхностных вод в мутные придонные слои, применяемый при проведении подводных работ в районе Багамской банки. Для возбуждения принудительной конвекции необходима закачка на дно не более 10 тыс. тонн сравнительно менее плотной воды.

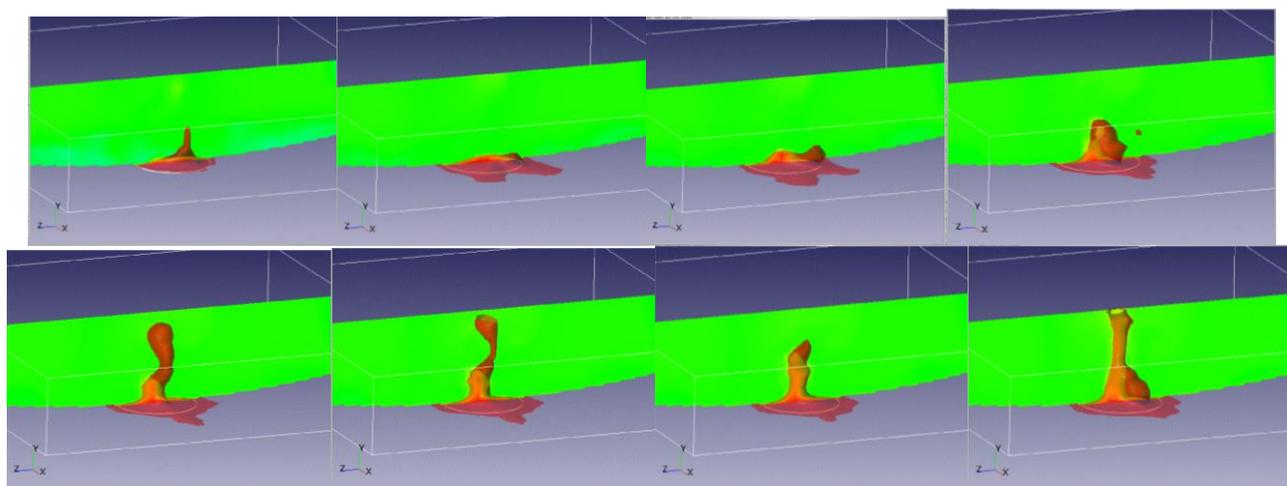


Рис. 3. Результаты гидродинамического моделирования последовательных стадий принудительной конвекции (интервал 2 минуты)

5. Апробация результатов исследования

Наиболее эффективно формировать принудительную конвекцию на фоне уже начавшегося апвеллинга природного характера. Нами выполнены исследования по формированию принудительной конвекции локального масштаба без учета благоприятных для решения этой задачи природных факторов. Обычно Черноморские апвеллинги изучают как неблагоприятный фактор резкого понижения температуры прибрежных вод в курортный сезон. В зимний сезон, при апвеллинг в Черном море проявляется в виде подъема к поверхности сравнительно теплых вод. Обычно апвеллинги связывают со сгонными ветрами. Однако оказалось, что более 70 % апвеллингов не формируются ветровыми условиями. Впервые это было выявлено сотрудниками кафедры военной метеорологии и кафедры океанологии ОГЕКУ [10], а в дальнейшем подтверждено исследованиями МГИ НАНУ [11]. Установлено, что апвеллинги, не связанные со сгонными процессами, могут происходить синхронно в различных районах Черного моря [9]. Приведены данные о том, что даты формирования апвеллингов совпадают с датами активизации геотермических процессов, которые могут быть измерены на суше [9]. Кроме этого, часто формируются подповерхностные апвеллинги, которым для выхода на поверхность не хватает несколько метров. Такие условия также можно считать благоприятными для провоцирования принудительной конвекции. Для принятия решения применения принудительной конвекции во время проведения поисково-спасательных работ важно иметь карты с районированием зон естественной разгрузки подземных вод, где инъекции более теплых вод в значительных объемах происходят естественным путем. Для района Новороссийска такое районирование уже выполнено и районы природной конвекции (апвеллин

га) закартированы [8]. Зоны наиболее активного апвеллинга характеризуются как аномалии со значением 3σ . Важно отметить, что место гибели теплохода «Адмирал Нахимов» совпало с выявленной зоной наиболее эффективного применения принудительной конвекции.

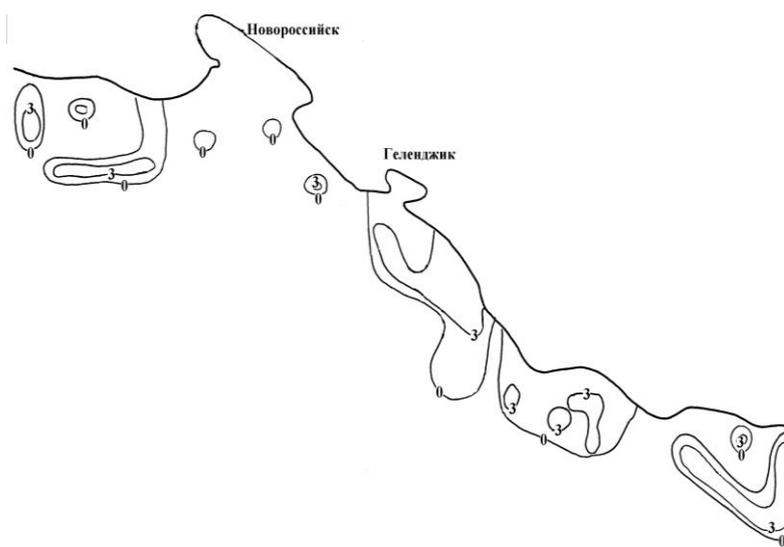


Рис. 4. Карта–схема разгрузки подземных вод на Кавказском шельфе Черного моря (в стандартных отклонениях) [8]

6. Выводы

В результате разработки технологии, направленной на снижение негативного воздействия восстановительных условий в сероводородных водах Черного моря на глубоководную технику показано, что принудительная конвекция технически может быть осуществлена. Приведены данные о проявлениях конвекции природного характера. Выполнено математическое моделирование принудительной конвекции в Новороссийской бухте. Обращено внимание на негативный побочный эффект принудительной конвекции в районе от Анапы до Туапсе в виде провоцирования шквальных ветров типа Новороссийской боры.

Литература

1. Укрмап українские учебники [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ukrmap.su/ru-g8/890.html>
2. Newsru Надежды на "Тритона" практически нет [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.com/russia/06oct2001/hope_triton.html
3. Petrimazepa 2001 г. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://petrimazepa.com/ua/not-us.html/>
4. Newsru Россия может изменить систему экспорта алмазов [Электронный ресурс] / доступно по адресу: [http://www.newsru.com/finance/02oct2001/gohran.html /](http://www.newsru.com/finance/02oct2001/gohran.html/)
5. Newsru Якутия обвиняет De Beers в занижении цен на алмазы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://palm.newsru.com/finance/03Oct2001/debeers.html/>
6. Newsru De Beers и "АЛРОСА" подписали новое торговое соглашение [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.newsru.com/finance/17Dec2001/almazy.html/>
7. Михайлов, В. И. Причины сероводородного загрязнения водных объектов и опасность отравления этим газом [Текст] / В. И. Михайлов, А. Б. Капочкина, Б. Б. Капочкин // Морской гидрофизический институт НАН Украины, сборник научных трудов Системы контроля окружающей среды. – 2011. – Вып. 15. – С. 323–327.
8. Михайлов, В. И. Взаимодействие в системе Литосфера – Гидросфера [Текст] / В. И. Михайлов, А. Б. Капочкина, Б. Б. Капочкин. – Астропринт. Одесса, 2010. – 153 с.
9. Гладких, І. І. Формування погодних умов в морських та прибережних районах [Текст]: монографія / І. І. Гладких, Б. Б. Капочкін, Н. В. Кучеренко, В. В. Лисоводський. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2007. – 142 с.
10. Конкин, В. В. Классификация апвеллингов по признаку влияющих факторов [Текст]: междунар. науч. конф./ В. В. Конкин, Б. Б. Капочкин, Н. В. Кучеренко, В. В. Лисоводский // Фундаментальные исследования важнейших проблем естественных наук на основе интеграционных процессов в образовании и науке. – Севастополь, 2006 – С. 26.
11. Ловенкова, Е. А. Климатические характеристики апвеллинга у побережья Крыма и их изменчивость [Текст] /

Е. А. Ловенкова, А. Б. Полонский // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 5. – С. 44–52.

References

1. Ukrmap Ukrainian textbooks. Available at: <http://ukrmap.su/ru-g8/890.html/>
2. Newsru Hopes for a "Triton" virtually none. Available at: http://www.com/russia/06oct2001/hope_triton.html/
3. Petrimazepa 2001. Available at: <http://petrimazepa.com/ua/not-us.html/>
4. Newsru Russia can change the system of diamond exports. Available at: <http://www.newsru.com/finance/02oct2001/gohran.html/>
5. Newsru Yakutia accuses De Beers in depressed prices for diamonds. Available at: <http://palm.newsru.com/finance/03Oct2001/debeers.html/>
6. Newsru De Beers and "ALROSA" signed a new trade agreement. Available at: <http://www.newsru.com/finance/17Dec2001/almazy.html/>
7. Mikhaylov, V., Kapochkina, A., Kapochkin, B. (2011). Causes of hydrogen sulphide contamination water objects and toxic hazard by this gas. Marine hydrophysical institute of NAS of Ukraine, collection of scientific papers Environmental Management Systems, 15, 323–327.
8. Mikhaylov, V., Kapochkina, A., Kapochkin, B. (2010). Interaction in the lithosphere – hydrosphere. Astroprint. Odessa, 153.
9. Gladkikh, I., Kapochkin, B., Kucherenko, N., Lisovodskyy, V. (2007). Formation weather conditions in marine and coastal areas Monograph. Odessa: Zovnishreklam-servis, 142.
10. Konkin, V., Kapochkin, B., Kucherenko, N., Lisovodsky, V. (2006). Classification of upwelling on the basis of the influencing factors. Fundamental research on crucial problems of the natural sciences on the basis of integration processes education and Science: int. scientific. Sevastopol, 26.
11. Lovenkova, E., Polonsky, A. (2005). Climatic characteristics of upwelling off the coast of the Crimea and their variability. Meteorology and Hydrology, 5, 44–52.

Дата надходження рукопису 16.03.2015

Капочкина Маргарита Борисовна, научный сотрудник, научно-исследовательский центр, воинская часть А1113 МО Украины, ул. Фонтанская дорога, 4, г. Одесса, Украина, 65009
E-mail: margo-92@ukr.net

Зорин Вячеслав Юрьевич, начальник управления научно-исследовательского центра, Воинская часть А1113 МО Украины, ул. Фонтанская дорога, 4, г. Одесса, Украина, 65009

УДК 532.73-3

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.40619

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗЧИНЕННЯ ПОЛІСАХАРИДІВ

© Л. І. Ружинська, Н. М. Булах

Отримані експериментальні дані залежностей густини та в'язкості розчинів мальтодекстрину від температури, необхідні для розрахунку апаратів для концентрування розчинів при проектуванні нового та модернізації існуючого промислового устаткування. Визначена рівноважна концентрація розчинів мальтодекстрину.

Побудована та розв'язана математична модель розчинення полісахаридів в роторно-дисковому плівковому випарному апараті. Отримана схема, яка відображає градієнт концентрацій в пристінному до диску шарі розчиненої речовини

Ключові слова: роторно-дисковий плівковий випарний апарат, полісахариди, мальтодекстрин, розчин, концентрація, густина, в'язкість