

ОТЗЫВ

на диссертацию Подрезовой Надежды Алексеевны на тему: «Моделирование морских плотностных потоков с учетом влияния придонного пампинга», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

25.00.28. – Океанология

Придонные плотностные потоки представляют собой распространяющиеся у наклонного дна объемы вод повышенной плотности. Чаще всего они возникают при водообмене между морями с различной плотностью вод. В качестве примера можно привести распространение баренцевоморской воды в Белом море, североморской воды в Балтийском море, средиземноморской в заливе Кадис и т.д. Процессы, связанные с придонными плотностными потоками могут протекать постоянно или эпизодически. В морях Мирового океана они широко распространены.

Придонные плотностные потоки играют важную роль в формировании различных особенностей в распределении гидрологических и гидрохимических характеристик морей, что определяет актуальность их исследования. Наиболее известное проявление влияния придонных плотностных потоков заключается в распространении в придонных слоях вод с высоким содержанием кислорода, что препятствует образованию придонных гипоксийных зон. В частности, в котловинах Балтийского моря отмечено присутствие обширных гипоксийных зон. Их исчезновение происходит лишь в редкие периоды интенсивных заток североморских вод, распространяющихся по типу придонных плотностных потоков. В Белом море под влиянием распространяющихся в виде придонных плотностных потоков баренцевоморских вод происходит интенсивная вентиляция глубинных вод, что препятствует образованию гипоксии в придонном слое.

Хотя первые данные натурных наблюдений, содержащих сведения о придонных плотностных потоках, а также результаты лабораторных исследований динамики вод повышенной плотности у наклонного дна были получены относительно давно, начало интенсивных исследований данных процессов можно отнести к 70-м годам прошлого столетия. В это время были проведены первые лабораторные исследования особенностей распространения вод повышенной плотности у наклонного дна на установках с использованием вращающихся бассейнов, что позволило учесть влияние ускорения Кориолиса (Mogu, Whitehead). В области теоретических исследований сформулированы

первых интегральные модели, описывающие движение плотностных линз у наклонного дна (Nof), которые позволили объяснить механизмы формирования некоторых ранее выделенных из наблюдений и лабораторных исследований особенностей. Позже интегральная модель придонной плотностной линзы была трансформирована к интегральной модели придонного плотностного потока (“tube model”). В рамках интегрального подхода были исследованы различные вопросы о влиянии внешней среды на плотностной поток. В частности, было показано, что движение плотностного потока происходит преимущественно вдоль изобат. Смещение потока вдоль наклона дна оказалось существенно меньшим. Получено соотношение, связывающее скорость перемещения плотностного потока с наклоном дна, превышением плотности потока над фоновой плотностью. Необходимость задания средних значений плотности потока и окружающей воды затрудняло их применение для описания реальных процессов. Следующим шагом было развитие трехмерных моделей придонных плотностных потоков. При этом на первом этапе такие модели строились в рамках гидростатического приближения. С целью учета эффектов негидростатичности при формировании возмущения давления в окрестности плотностного потока у наклонного дна в дальнейшем были разработаны негидростатические модели придонных плотностных потоков. Негидростатические модели оказались значительно более трудоемкими при их численной реализации по сравнению с гидростатическими. К настоящему времени сохраняется интерес к оценке важности учета эффектов негидростатичности в моделях придонных плотностных потоков. Кроме этого, в рамках развития трехмерных моделей придонных плотностных потоков сохраняется интерес к решению различных вопросов, связанных с различными особенностями механизма их распространения и взаимодействия с окружающей средой. К таким вопросам, в частности, относятся рассмотрение процессов формирования придонных экмановских потоков в области плотностных потоков, приводящих к образованию вертикальных течений (пампинг), а также вопросы влияния этих течений на плотностной поток, а также на баротропные процессы приспособления. Перечисленные вопросы рассматриваются в представленной работе.

В первой главе приводятся сведения о придонных плотностных потоках, полученные по данным натурных наблюдений, лабораторных исследований и численного моделирования.

Во второй главе дается оценка допустимости использования гидростатического приближения при расчете горизонтальной составляющей градиента давления для условий плотностной линзы у наклонного дна. При этом приводится ее сопоставление с

соответствующей величиной, полученной при использовании негидростатической модели. Показано, что при характерных величинах наклона дна в морях при использовании негидростатической и гидростатической моделей зависимость горизонтального градиента от наклона отличается несущественно. Это позволяет использовать более простую для численной реализации гидростатическую модель. Полученный результат является новым и содержит научный интерес, так как представляет способ оценки допустимости использования гидростатической модели для моделирования распространения придонных плотностных потоков.

В третьей главе в рамках гидростатического подхода представлена математическая модель придонных плотностных потоков в море. Отличительной особенностью представленной модели является учет влияния придонного пампинга, включение баротропных процессов приспособления, а также использование специальной сеточной области, позволяющей описать процессы, протекающие в окрестности придонного плотностного потока. Полученные автором соотношения, используемые для учета влияния придонного пампинга, позволяют избежать необходимости сгущения сеточной области в пределах относительно тонкого придонного экмановского слоя в окрестности плотностного потока. Включение баротропных процессов приспособления, связанных с придонным пампингом, дают возможность учесть взаимосвязь процессов распространения придонных плотностных потоков с баротропными процессами. В целом представленная в работе модель является оригинальной и соответствующей поставленной задачи исследования влияния придонного пампинга на придонные плотностные потоки в море.

Полученные автором результаты такого исследования представлены автором в четвертой главе. Исследование проводилось на примере распространения плотностного потока в симметричной котловине с рельефом дна в форме воронки, а также для случая котловины со смещенной точкой максимальных глубин. По результатам исследования автором сделаны выводы о структуре формирующихся в результате придонного пампинга вертикальных течений, а также о характере их влияния на форму потока. Кроме этого, представлена структура влияния придонного пампинга на распространение придонного плотностного потока. Автором показано, что влияние формирующихся за счет придонного пампинга вертикальных течений можно разбить на два типа. К первому относится непосредственное влияние, проявляющееся во влиянии на форму поперечного сечения потока, а также на его смещение по наклону дна. Второй тип влияния относится к опосредованному, проявляющемуся через баротропные процессы приспособления. Как оказалось, формирующиеся под влиянием придонного пампинга вертикальные течения через

баротропные процессы приспособления формируют возмущение уровня и баротропные горизонтальные течения, которые оказывают воздействие на скорость и траекторию распространения придонных плотностных потоков. Представленные результаты являются новыми и уточняют существующие представления о структуре влияния придонного пампига на поведение придонных плотностных потоков.

В последней пятой главе представлена попытка применения разработанной модели для исследования особенностей распространения в виде плотностных потоков баренцевоморских вод в Белое море. По результатам моделирования получены новые сведения о характере распространения и трансформации плотностного потока в центральной глубоководной части Белого моря. Представлены структура вертикальных течений, связанных с распространением баренцевоморских вод, а также связанные с ними возмущение уровня свободной поверхности и картина баротропных скоростей течений. Полученные результаты уточняют существующие представления о характере распространения баренцевоморских вод в центральной части Белого моря.

В качестве замечаний можно отметить следующее.

Во второй главе было показано, что для придонной плотностной линзы для характерных величин наклона дна величины горизонтального градиента давления, полученные по гидростатической и негидростатическим моделям, оказываются близкими. Было бы интересным также рассмотреть случай, когда плотностная линза располагается от дна до поверхности моря, что наблюдается на мелководье в период выхолаживания или в период конвекции в области заприпайных полыней. При таком расположении плотностной линзы величина горизонтального градиента давления в области линзы, рассчитываемая из гидростатической модели, получается равной нулю. В то же время при учете негидростатических эффектов у наклонного дна величина горизонтального градиента давления получается отличной от нуля.

При моделировании распространения плотностных потоков в Белом море принимается, что плотность поступающей воды повсеместно превышает первоначальную плотность воды в море. Такое условие выполняется лишь в зимний период. Летом из-за повышения температуры поступающей из Горла воды ее плотность оказывается меньшей, чем плотность глубинных вод. В этом случае вода может опускаться лишь до горизонта своей плотности.

Было бы целесообразно провести расчеты распространения придонных плотностных потоков для регионов, обеспеченных данными натурных наблюдений за плотностными потоками. К таким регионам, в частности можно отнести Борнхольмский бассейн Балтийского моря, для которого имеются данные наблюдений, полученные в период крупных затоков, позволяющие проанализировать связанные с плотностными потоками изменения полей температуры и солености и сопоставить их с результатами моделирования.

Диссертация Подрезовой Надежды Алексеевны на тему: «Моделирование морских плотностных потоков с учетом влияния придонного пампинга» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Подрезова Надежда Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.28. – Океанология.

Доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный сотрудник
отдела океанологии ААНИИ
08.06.2017 г.

Тимохов Л.А.

