

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Института водных проблем Севера  
Карельского научного центра Российской академии наук

(ИВПС КарНЦ РАН)

д.г.н.

Субетто Д.А.

« 22 » 09.06.2017 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук на диссертационную работу **Фомина Юрия Владимировича «Нелинейные эффекты волновой интрузии морских вод в береговые подземные горизонты приливного моря»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

### 1. Актуальность темы диссертационного исследования

В работе Фомина Ю.В. рассматривается двумерная задача о влияние приливов на свободную поверхность грунтовой воды в бесконечном и конечном водоносных слоях прибрежной зоны приливного моря в пренебрежении капиллярности. Задача о формировании уровня свободной поверхности грунтовой воды ставится следующим образом. Требуется найти функцию пьезометрического напора столба несжимаемой жидкости водоносного горизонта, удовлетворяющую уравнению Буссинеска, в случае бесконечного водоносного горизонта, граничным условиям на подвижной границе на урезе берега и условию затухания движения на бесконечности, а для случая конечного водоносного горизонта - условию отсутствия движения на дальней границе. При этом начальные условия для функции пьезометрического напора отсутствуют.

Существующие математические модели, описывающие поведение свободной поверхности грунтовой воды в прибрежной зоне моря в зависимости от приливных вариаций, основываются на рассмотрении уравнения Буссинеска при различных граничных условиях и, как правило, описывают случай отвесного (вертикального) берега и второй - плоского наклонного берега. Работа Фомина Ю.В. рассматривает общую постановку задачи, т.е. без зависимости от конкретного профиля берега, что делает диссертационную работу актуальной.

### 2. Оценка содержания диссертационной работы

Полный объем диссертации составляет 96 страниц, включая 18 рисунков и 5 таблиц и список источников, включающий в себя 80 источников из них 41 на иностранных языках.

**Во введении** описана актуальность выбранной темы и научна новизна, приводится подробный литературный обзор, цели работы и защищаемые положения. Описывается эффект подъёма среднего уровня грунтовой воды, которому посвящается исследование, изложенное в диссертации, кратко излагаются основные результаты работ.

**В первой главе** описывается натурный эксперимент, который проводился на о. Шпицберген (Норвегия). Приводится описание натурного эксперимента, устройство экспериментального полигона и некоторые параметры исследовательского полигона, необходимые для дальнейших рассуждений. Рассматриваются экспериментальные данные и методика их обработки. Даны результаты косвенных измерений, которые используются для установления фильтрационных свойств исследовательского полигона.

**Вторая глава** работы, которая состоит из десяти параграфов, посвящается изложению используемой математической модели для полубесконечного водоносного горизонта и. В ней приводится вывод уравнений, в частности, вывод одномерного нелинейного уравнения Буссинеска и представлены необходимые допущения модели. Для вывода используются уравнение Дарси, записанное через пьезометрический напор жидкости, и уравнение баланса массы для малого участка грунта. Выписываются граничные условия: условие затухания возмущения на бесконечности и условие на подвижной границе (урез воды движется по плоскому наклонному берегу). Приводится стандартное решение линейного уравнения типа теплопроводности в полубесконечном стержне, которое необходимо для дальнейшего исследования. Формулируется математическая постановка, полученная независимо от других работ для случая бесконечного водоносного горизонта с плоским наклонным берегом.

Основываясь на экспериментальных данных из предыдущей главы, приводится методика вычислений необходимого фильтрационного параметра грунта.

Формулируется постановка задачи для случая произвольного профиля дна для бесконечного водоносного слоя. В качестве метода решения получившегося уравнения приводится метод безразмерных величин.

В этой главе подробно описана методика решений уравнений. На ряде примеров демонстрируется вклад каждой из составляющих. Подробно описывается волновая часть решения. В завершении главы описываются условия применимости описанной модели и решений.

**В третьей главе** приводится математическая модель, которая описывает поведение свободной поверхности грунтовой воды прибрежной зоны в случае ограниченного водоносного слоя. Представлены необходимые преобразования координат, существенно отличающиеся от преобразований во второй главе. Действие преобразования на уравнение таково, что в рассмотрение вводится новая безразмерная величина. Рассматривается стационарная и волновая компоненты общего решения, и делается сравнение итогового эффекта подъёма среднего уровня для различных удалений дальней стенки ограниченного водоносного слоя.

**Четвёртая глава** состоит из двух параграфов, в которой представлены результаты лабораторного моделирования эффекта накачки. Описывается лабораторная установка и её основные характеристики. Кроме того, даны результаты эксперимента по определению пористости лабораторного материала, который моделировал грунт прибрежной зоны (в качестве модельного материала были выбраны полиэтиленовые гранулы). Приводятся для сравнения два способа оценки коэффициента проницаемости - на основе теории

фиктивных грунтов Козени-Кармана и через декремент затухания волны в грунте. Представлены экспериментальные данные для прямоугольного (отвесного) профиля берега и для наклонного берега, которые сравнивались с теоретическими выводами. Основной результат всей главы заключается в сравнении теоретических оценок из второй и третьей главы с результатами лабораторного моделирования.

Подводя итог рассмотрению диссертации Фомина Ю.В., следует отметить, что работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне с применением теоретических, лабораторных и экспериментальных методов исследования. Диссертация свидетельствует о том, что в ней самостоятельно решены важные научные задачи, связанные с взаимодействием приливных морей и грунтовых вод прибрежной зоны. Она свидетельствует о высокой квалификации автора в построении физико-математической модели нелинейного процесса фильтрации, методах анализа полученных решений и проведении лабораторных экспериментах. Диссертация написана понятным, научным языком, автореферат отличен оформлением и полностью отражает содержание диссертации, дает полное представление о работе диссертанта и полученных в ней результатах и выводах.

### **3. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Новизна полученных в диссертационной работе результатов обусловлена тем, что в ней впервые разработаны следующие положения:

1. Подъем среднего уровня грунтовой воды в изотропной среде прибрежной зоны приливного моря в пренебрежении капиллярностью, обусловлен двумя факторами: нелинейностью процесса фильтрации и профилем береговой зоны;
2. Показано, что пампинг-эффект в общем случае наклонного берега (нелинейная волновая накачка уровня грунтовых вод) складывается из базового и профильного пампинг-эффектов;
3. Уменьшение угла уклона берега приводит к увеличению относительного вклада профильного пампинг-эффекта в общую накачку уровня. Увеличение частоты колебания уровня моря также ведет к увеличению относительного вклада профильного пампинг-эффекта;
4. Волновые колебания уровня грунтовых вод практически затухают на расстоянии четырех длин волн, поэтому для случая ограниченного водоносного слоя при его протяженности более  $4L$  применима модель с бесконечным водоносным слоем;
5. Лабораторным моделированием экспериментально подтверждено существование пампинг-эффекта в динамике грунтовых вод. Кроме того, подтвержден основной результат развитой в диссертации теории – наличие профильного пампинг-эффекта.

### **4. Практическая значимость работы**

В настоящий момент существующие математические модели описывают отклик уровня грунтовой воды прибрежной зоны на приливные воздействия либо для вертикального отвесного берега, либо для наклонного плоского берега. В диссертации предлагается модель, которая применима для анализа поведения уровня грунтовой воды для произвольного профиля берега, что существенно расширяет область её применения.

Помимо ограниченного водоносного слоя в работе продемонстрировано исследование эффекта подъема среднего уровня для ограниченного слоя, что

соответствует случаю, когда непроницаемые породы на некотором удалении от берега выходят на поверхность.

Полученные результаты могут быть использованы на практике при отсутствии капиллярного эффекта для оценки величины поднятия среднего уровня грунтовой воды.

## **5. Достоверность и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе**

Научная обоснованность и достоверность положений, выносимых на защиту и выводов, подтверждается подробно изложенными выкладками, описанием лабораторного эксперимента и соответствием теоретической модели и лабораторного эксперимента. Приведённая в диссертации математическая модель даёт приемлемые результаты для конкретных видов грунтов, что на практике подтверждается в лабораторном эксперименте.

Помимо этого, результаты обсуждались на конференциях, специализированных семинарах, например, на Международной школе-семинаре «3-rd International seminar «Dynamics of the coastal zone in the non-tidal seas» 30 june - 4 july 2014» (Геленджик, Россия, 2014), на 57-й научной конференции МФТИ с международным участием, посвященной 120 - летию со дня рождения П.Л. Капицы, Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе» (Москва, 2014), на 58-й научной конференции МФТИ (Москва, 2015) и на 59-й научной конференции МФТИ с международным участием (Москва, 2016).

По теме диссертации опубликовано 6 работ, в том числе, 2 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, 4 тезисов докладов.

## **6. Замечания**

1. В диссертации на странице 29, рисунок 1.3 отсутствуют обозначения осей. Вероятно, автор приводит график зависимости давления от времени;
2. В первой главе диссертации, посвященной натурному эксперименту на о. Шпицберген, приводится некоторая выборка данных, но отсутствуют данные за весь период наблюдений, кроме того не указан и сам период с соответствующими климатическими особенностями;
3. На странице 37 диссертации приводится параметр, характеризующий фильтрационные свойства грунта, но не дана его размерность. Из выражения, которым определяется данный параметр понятно, что размерность соответствует скорости, однако при изложении все остальные фильтрационные параметры приводятся с размерностями, а указанный параметр без;
4. На странице 41 диссертации в формуле 18 дано выражение, которое представляет собой разложение по степеням функции профиля берега, но не указан смысл коэффициентов разложения, аналогичное замечание возникает на страницах 48 и 50;
5. В таблице 4.1 на странице 81 представлено только 5 измерений по определению пористости лабораторного материала, что является не достаточным количеством для определения данной величины;

6. В параграфе 4.2 главы 4 приводятся экспериментальные данные, однако сравнение с теоретическими дано всего на трех точках измерений, что подходит для качественной оценки, но не может считаться достаточным.

Все указанные замечания не носят принципиальный характер, и имеют скорее уточняющий характер, и не снижают научной значимости и выводов рассматриваемой работы.

## **7. Выводы, соответствие диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертационная работа Фомина Ю.В., представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия, является законченным научно-квалификационным исследованием, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития гидрологии, выполненное под руководством доктора физико-математических наук, профессора В.В.Жмура. В работе аргументировано приводится доказательство существование дополнительного пампинг-эффекта связанного с профилем берега приливного моря, приводится подробный анализ полученных решений и ряд убедительных примеров. Результаты работы имеют большое научное и практическое значение.

По объему исследований, научной новизне, научной и практической значимости диссертационная работа Фомина Ю. В. полностью соответствует всем требованиям п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **Фомин Юрий Владимирович** достоин присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.27 - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Главный научный сотрудник (Советник РАН), чл.-корр. РАН, д.г.н Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН  
Н.Н. Филатов  
E-mail: [nfilatov@rambler.ru](mailto:nfilatov@rambler.ru)  
тел. +7911-4072136

Отзыв чл.-корр. РАН, д.г.н., г.н.с., Института водных проблем Севера КарНЦ РАН Н.Н. Филатова на диссертацию Фомина Юрия Владимировича «Нелинейные эффекты волновой интрузии морских вод в береговые подземные горизонты приливного моря», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия, заслушан и одобрен на Заседании Ученого Совета ИВПС КарНЦ РАН (Протокол № 7 от 22.09.2017г.), где принято решение считать его официальным отзывом ведущей организации.

Ученый Секретарь  
ИВПС КарНЦ РАН, к.б.н.

22.09.2017 г.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ:

