

Зайцев

На правах рукописи

**ЗАЙЦЕВ АНДРЕЙ ИВАНОВИЧ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦУНАМИ В ЧЕРНОМ МОРЕ  
И КАТАСТРОФИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ 2004 г.  
В ИНДИЙСКОМ ОКЕАНЕ**

**25.00.28 – Океанология**

**А в т о р е ф е р а т**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

**Нижний Новгород – 2005**

Работа выполнена на кафедре «Прикладная математика» Нижегородского государственного технического университета

**Научный руководитель:**

кандидат физико-математических наук, доцент, А.А. Куркин

**Официальные оппоненты:**

Доктор физико-математических наук, Е.А. Куликов  
(Институт Океанологии РАН, Москва)

Доктор физико-математических наук, профессор, Л.Б. Чубаров  
(Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск)

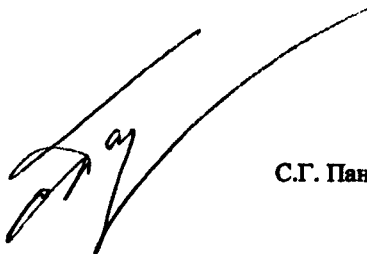
**Ведущая организация** – Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,  
Южно-Сахалинск

Защита состоится «28» сентября 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета К 002.239.01 при институте Океанологии им. П.П. Ширшова РАН по адресу:  
117997, г. Москва, Нахимовский пр., 36

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Автореферат разослан «25» сентября 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат географических наук



С.Г. Панфилова

2006А  
2443

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы и цели исследования

Под волнами цунами принято понимать поверхностные гравитационные волны, возникающие в море вследствие крупномасштабных непродолжительных явлений (подводные землетрясения, извержения подводных вулканов, подводные оползни, падение в воду обломков скал, взрывы в воде, резкое изменение метеорологических условий и т.п.). Цунами – японское слово, означающее большую волну в гавани. Характерная их длительность составляет 5 – 100 мин, длина 1 – 1000 км, скорость распространения 1 – 200 м/с, их высота может достигать десятков метров.

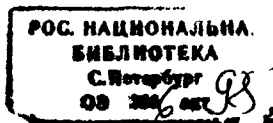
Возникнув в акватории Мирового океана, волны цунами способны распространяться на большие расстояния, сохраняя разрушительную силу. Подводный рельеф дна океана оказывает существенное влияние на распределение амплитуд вдоль фронта. Кроме того, возможна локализация энергии волны вдоль некоторых направлений (например, вдоль подводных гор). Когда волны цунами доходят до мелководья, их скорость распространения резко уменьшается. Одновременно возрастают амплитуды, достигая своих максимальных значений вблизи уреза воды. Ограничение свободного пространства по бокам, например, при входе цунами в узкие заливы или устья рек, приводит к еще большему возрастанию высот волн. Вследствие рефракции опасными являются также выступающие в море мысы. Все эти причины вызывают крайне неравномерное распределение высот волн вдоль побережья.

Случившее 26 декабря 2004 г. цунами в Индийском океане оказалось наиболее разрушительным за всю историю человечества: погибло более 200 тыс. человек, причинен ущерб на миллиарды долларов. Оно привело к катастрофическим последствиям в Индонезии, Таиланде, Индии, Шри-Ланке, Мальдивии, Кении, Сомали, Южной Африке; волны цунами оказались зарегистрированными мареографами в Индийском, Атлантическом и Тихом океанах, включая российский мареограф на Дальнем Востоке (высота волн цунами в Северо-Курильске составила 30 см) и наблюдались со спутников. Данное событие вызвало огромный интерес в мире к проблеме цунами, методам прогноза их характеристик и дало новый виток развития методов математического моделирования цунами.

Волны цунами неоднократно регистрировались на побережье России, главным образом, на его Тихоокеанском побережье, а также в Японском и Охотском морях. Имеются наблюдения цунами также в Черном и Каспийском морях, озере Байкал, и даже в реке Волга вблизи города Нижнего Новгорода (в его интерпретации и моделировании автор диссертации принимал самое непосредственное участие).

Настоящая диссертация посвящена изучению проблемы цунами для Черного моря и моделированию катастрофического цунами 2004 г. в Индийском океане.

В последние годы существенно возросло число хозяйственных объектов, располагающихся у побережья морей и океанов, подверженных катастрофиче-



скому воздействию волн. Значительная их часть характеризуется высокой степенью риска как в период их возведения так и, главным образом в период эксплуатации. Сюда можно отнести водозаборные устройства прибрежных атомных электростанций (АЭС), платформы шельфовой нефте- и газодобычи, порты и гавани, а так же расположенные в прибрежной зоне промышленные предприятия. Оценка рисков, связанных с цунами, для этих объектов является крайне необходимой и предусмотрена нормативными документами.

Такая ситуация характерна и для Черного моря. Так, недавно возведенный газопровод Россия–Турция частично проходит по дну, а его терминалы находятся на побережье Черного моря. В настоящее время планируется строительство некоторых портов на российском побережье Черного моря. Поэтому изучение цунамиопасности Черного моря представляется крайне актуальной задачей, имеющей важное практическое значение. В исследованиях цунами риска при малочисленности натурных данных сейчас активно используются численные методы. При этом необходимо иметь надежные математические модели, проверенные на наблюдаемых данных. Именно поэтому моделирование катастрофического цунами 2004 г. в Индонезийском океане, очень хорошо обеспеченного данными наблюдений, представляет собой уникальную возможность тестировать численные методы, используемые при оценке цунами риска. Анализ и моделирование цунами 2004 г. в Индийском океане является также весьма актуальным.

Исходя из всего выше сказанного, *целями диссертации* выбраны

1. изучение проблемы цунами в Черном море, включая анализ исторических событий и оценку опасности цунами для прибрежных пунктов;
2. моделирование катастрофического цунами 2004 г. в Индийском океане и сопоставление его результатов с данными наблюдений, включая специально собранными в ходе полевых обследований;
3. модификация вычислительного кода, основанного на нелинейной теории мелкой воды.

#### **Научная новизна и основные положения, выносимые на защиту**

Научная новизна диссертационной работы определяется полученными оригинальными результатами:

1. Проведено численное моделирование исторических цунами 1939 и 1966 годов в Черном море, хорошо обеспеченных данными наблюдений. В отличие от предыдущих работ, использовавших лучевую теорию, в наших расчетах использована теория мелкой воды, позволяющая рассчитывать все характеристики волн цунами. Рассчитанные характеристики головной волны (время прихода, полярность и продолжительность, а зачастую и амплитуда) практически всюду хорошо совпадают с измеренными значениями.
2. Выполнено моделирование волн цунами, вызванных движением подводных оползней, примененное для интерпретации Сочинского цунами 1970 г., случившегося при отсутствии землетрясений в этом регионе в это время. Результаты расчетов свидетельствуют, что оползневой характер цунами 1970 г. весьма вероятен.

3. Впервые сделаны оценки опасности цунами для побережья Черного моря. Методами численного моделирования исследована сравнительная защищенность различных участков черноморского побережья от возможных цунами, возникающих в открытом море. Показано в частности, что к зонам слабого риска цунами можно отнести район г. Сочи на российском побережье.
4. В ходе экспедиционного обследования получены уникальные данные о распределении высот волн цунами на о. Сimalур, ближайшем к очагу катастрофического цунами 26 декабря 2004 г. в Индийском океане. Собранные свидетельские показания позволили оценить также времена прихода и характерные периоды волн цунами.
5. В рамках теории мелкой воды рассчитано распределение высот волн цунами 2004 г. вдоль побережья Индийского океана. Эти данные оказались одними из первых в открытом доступе и использовались специалистами при планировании и проведении полевых обследований. Сопоставление рассчитанных и измеренных записей цунами в ряде пунктов Индонезии (Сиболга), Индии (Шеннай, Кочи) и Шри-Ланки (Коломбо) показало хорошее сопоставление по временам вступления и периодам волн, фазам первой и максимальной волн, а зачастую и по амплитудам волн.
6. Результаты численного моделирования цунами 28 марта 2005 г., случившегося практически в том же месте в Индийском океане, находятся в хорошем согласии с наблюдениями цунами в Индонезийских пунктах (Сиболга, Паданг, Палабухан Руту). Для пункта Паданг рассчитанные первые три волны практически совпали с данными измерений.

#### **Практическая значимость результатов работы**

Результаты диссертационной работы использовались в следующих исследовательских проектах, выполненных автором диссертации:

- Грант РФФИ для поддержки научно-исследовательской работы молодых ученых (МАС 02-05-06107), 2002 г.
- Грант РФФИ для поддержки научно-исследовательской работы молодых ученых (МАС 03-05-06115), 2003 г.
- Грант для поддержки научно-исследовательской работы аспирантов высших учебных заведений Минобразования России (А03-2.13-401), 2003 г., а также в ряде других проектов, где автор диссертации являлся исполнителем.

Их практическая значимость заключается в следующем:

- разработанный модифицированный вычислительный комплекс «ЦУНАМИ» на основе известного международного кода «TUNAMI» позволяет уменьшить время счета и упростить процесс обработки данных расчета. Он уже начал применяться для расчетов волн цунами в ряде организаций;
- сделанные оценки сравнительной защищенности побережья Черного моря от волн цунами могут быть использованы в экспертной системе оценки рисков, связанных с цунами для этого региона.

#### **Апробация работы**

Основные результаты диссертации опубликованы в работах [1 – 21] и докладывались на следующих конференциях: Международной летней школе

«Современные проблемы механики» (Санкт Петербург, Россия, 2002); Пятом Севастопольском международном семинаре «Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза природных, техногенных и социальных катастроф» (Севастополь, Россия, 2002); Девятом международном симпозиуме по природным и техногенным катастрофам (Анталья, Турция, 2002); Второй международной конференции по океанографии восточного средиземноморья и Черного моря (Анкара, Турция, 2002); Международном семинаре «Предупреждение и смягчение локальных цунами» (Петропавловск-Камчатский, Россия, 2002); Международной конференции «Потоки и структуры в жидкости» (Санкт Петербург, Россия, 2003); Генеральной Ассамблеи Европейского геофизического общества (Ницца, Франция, 2004; Вена, Австрия, 2005); Второй межведомственной конференции «Проявление глубинных процессов на морской поверхности» (Нижний Новгород, Россия, 2005); Международном научном симпозиуме «Проблемные вопросы островной и прибрежной сейсмологии (ОПС-2005)» (Южно-Сахалинск, Россия, 2005); VIII Всероссийской конференции «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф» (Кемерово, Россия, 2005).

Результаты диссертации неоднократно докладывались на семинарах Института прикладной физики РАН, Нижегородского государственного технического университета, Института океанологии РАН, научных школ академика РАН В.И. Таланова и член-корреспондента РАН Б.В. Левина.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, содержащего 127 наименований. Общий объем диссертации составляет 132 страницы.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **Введении** представлено современное состояние исследований по теме диссертации и обоснована ее актуальность, сформулированы цели работы и основные положения, выносимые на защиту, отмечена новизна полученных результатов.

В **первой главе** обсуждаются основные данные о волнах цунами в Мировом океане и существующие подходы к оценке риска цунами для различных участков побережья, основываясь на литературных источниках. Также описана математическая и численная модель распространения цунами, основанная на теории мелкой воды. Авторской разработкой здесь является модификация международного вычислительного комплекса «ЦУНАМИ», включающая распараллеливание вычислений и создание удобного интерфейса.

В параграфе 1.1 описаны причины возникновения цунами. Краткий обзор существующих методов долгосрочного прогноза цунами дан в параграфе 1.2. Математические модели для расчета волн цунами, основанные на уравнениях мелкой воды описаны в параграфе 1.3. Основные уравнения мелкой воды, используемые для расчета волн цунами на относительно небольших акваториях имеют вид

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gm^2}{2D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gm^2}{2D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

где  $\eta$  – смещение водной поверхности;  $t$  – время;  $x$  и  $y$  – горизонтальные координаты;  $M$  и  $N$  – компоненты расхода воды вдоль осей  $x$  и  $y$ ;  $D = h(x, y) + \eta$  – полная глубина и  $h(x, y)$  – невозмущенная глубина воды;  $g$  – гравитационная постоянная;  $m$  – коэффициент шероховатости дна (используется формула Маннинга для параметризации донного трения).

Для расчета волн цунами на больших акваториях учитывалась как сферичность Земли, так и сила Кориолиса. Так как глубина океана велика, нет необходимости удерживать нелинейные члены. В этом случае система уравнений мелкой воды принимает вид

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \theta} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} = fN, \quad (4)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \theta} = -fM, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \theta} \left[ \frac{\partial M}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial \theta} (N \cos \theta) \right] = 0, \quad (6)$$

где  $\theta$  и  $\lambda$  – широта и долгота, соответственно;  $R$  – радиус Земли;  $f$  – параметр Кориолиса ( $f = 2\omega \sin \theta$ ) и  $\omega$ , – частота вращения Земли.

При расчете волн цунами в Индийском океане (третья глава) использовалась сшивка «плоской» (1) – (3) и «сферической» (4) – (6) систем с изменением пространственного шага в прибрежной зоне, что позволило сократить время счета и увеличить точность расчетов. В расчетах волн цунами в Черном море (вторая глава) использовалась модель (1) – (3) с фиксированным пространственным шагом.

В параграфе 1.3 также описана «two-layer» модель [Imamura and Imteaz, 1995] используемая для расчета цунами вызванных подводным оползнем. В ее рамках оползень предполагается вязко-жидким. Эта модель используется в наших вычислениях волн цунами от оползневых источников.

Модифицированный вычислительный комплекс «ЦУНАМИ», являющийся авторской разработкой (рис. 1) представлен в параграфе 1.4. Он позволяет учесть гидродинамический или сейсмический [Okada, 1985] очаг цунами, рассчитать волны цунами, получить распределения высот и мареограммы, построить 3D анимацию. Оригинальный численный код [Goto et al., 1997] распараллелен, что привело к сокращению времени вычислений.

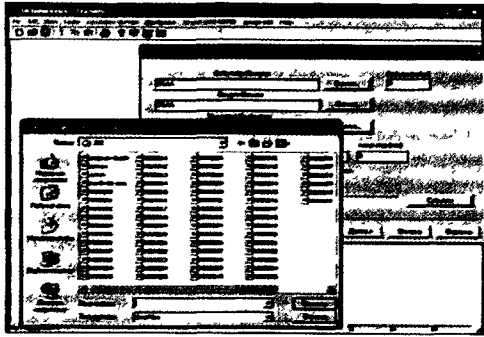


Рис. 1. Интерфейс программы «ЦУНАМИ»

Основные результаты первой главы суммированы в параграфе 1.5.

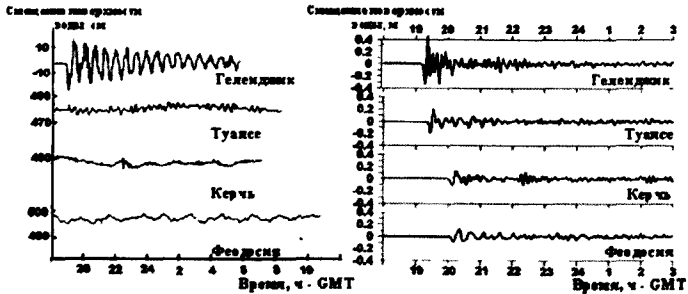
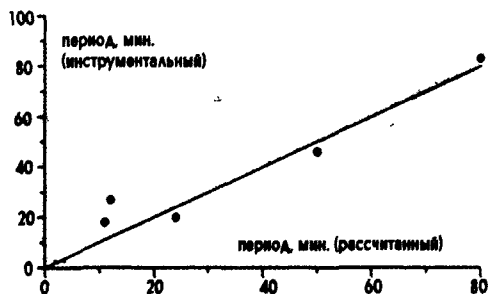


Рис. 2. Сравнение инструментальных [Григораш и Корнева, 1969] (слева) и рассчитанных (справа) записей Анапского цунами 1966 г. в различных пунктах

Во второй главе основное внимание уделяется проблеме цунами для Черного моря. В параграфе 2.1 дана краткая сводка имеющейся информации о цунами в Черном море, основанная на работах [Григораш, 1959, 1972; Григораш и Корнева, 1969, 1970, 1972; Доценко, 1995; Доценко и Коновалов, 1996; Никонов, 1997, 2001; Соловьева и др., 2004]. Результаты численного моделирования Анапского цунами 1966 г. в Черном море приведены в параграфе 2.2. Выполненный расчет показал, что имеется удовлетворительное согласие с наблюдаемой головной волной в г. Геленджике по времени прихода, амплитуде и периоду (рис. 2). Численная модель также подтвердила слабость волн цунами в пунктах Туапсе, Керчь и Феодосия (амплитуды волн менее 20 см), которые трудно выделить из инструментальных записей на фоне шума.

В параграфе 2.3 приведены результаты численного моделирования Эрзинджанского цунами 1969 г. И в данном случае расчеты достаточно хорошо описывают историческое событие. Начальные фазы во всех точках практически совпали. Период волн тоже показал хорошее совпадение (рис. 3).



**Рис. 3. Сопоставление рассчитанных и измеренных значений периодов волн**

Моделирование цунами 1970 г. в районе г. Сочи описано в параграфе 2.4. Согласно имеющимся данным [Никонов, 1997], не было зарегистрировано ни одного сейсмического толчка в данном районе, однако 4 декабря 1970 г. наблюдались колебания моря с высотой 80 см и периодом 5 мин около г. Сочи. Мы предположили, что причиной маломощного цунами мог послужить сход подводного оползня. Моделирование проводилось в рамках нелинейной двухслойной модели мелкой воды [Imamura and Imteaz, 1995]. Результаты данного моделирования подтверждают возможность того, что источником цунами 1970 г. мог послужить подводный оползень.

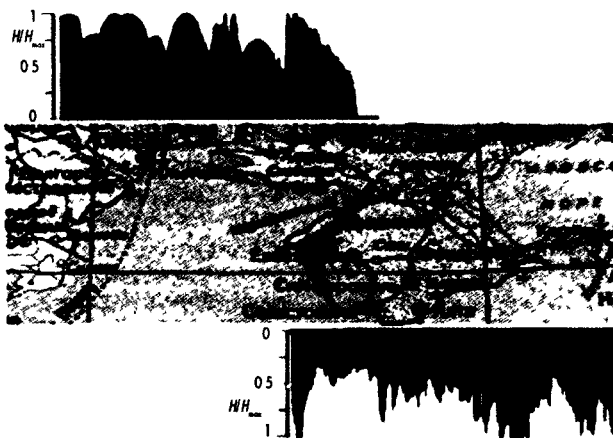
Оценка цунамиопасности для побережья Черного моря на основе численного моделирования сделана в параграфе 2.5. В расчетах использовался гидродинамический очаг, представляющий собой в сечении окружность диаметром 65 км. Высота смещения уровня воды в очаге 4 м (3 м выше уровня моря и 1 м ниже). Вся акватория Черного моря равномерно покрывалась гидродинамическими источниками с шагом по долготе  $0,8652^\circ$  и по широте  $0,6504^\circ$ .



**Рис. 4. Распределение заплесков от всех очагов на российском побережье**

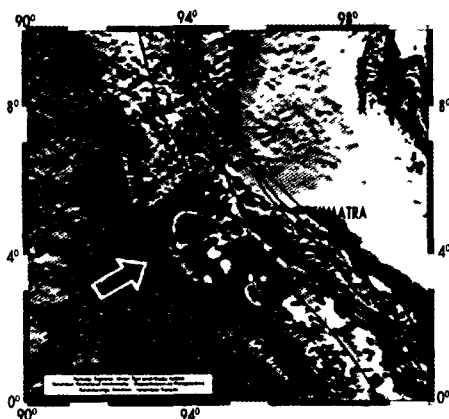
Расчитывалось распределение заплесков на стенку, расположенную на глубине 20 м, для каждого очага. Чтобы сравнить между собой высоты волн от разных источников и исключить влияние удаленности источников от побережья, высоты волн от каждого источника нормировались на максимальные значения. Показано, что к зонам слабого риска цунами можно отнести следующие районы: на российском побережье – район г. Сочи (рис. 4); на украинском побережье – восточную часть Крымского п-ова от Феодосии до Ялты (рис. 5); на турецком побережье – окрестности городов Гиресун, Трабзон, Унье, Чайбаши; на болгарском побережье – район г. Мичурин.

Основные результаты данной главы суммированы в параграфе 2.6.



**Рис. 5.** Распределение заплесков от всех очагов на украинском побережье (нормированные на  $H_{max}$ )

Третья глава посвящена изучению крупнейшего в современной истории цунами, случившегося 26 декабря 2004 г. в Индийском океане (рис. 6). Автор диссертации принимал участие, как в полевых обследованиях следов цунами в Индонезии, так и в численном моделировании этого события. Так же было



**Рис. 6.** Зона эпицентра землетрясения 26 декабря 2004 г. и афтершоки

промоделировано второе цунами, к которому привело сильное землетрясение с магнитудой 8,7, произошедшее 28 марта 2005 г. примерно в этом же районе.

Общие сведения о катастрофическом цунами в Индийском океане приведены в параграфе 3.1. Цунами оказалось наиболее разрушительным за всю историю человечества: погибло более 200 тыс. человек, причинен ущерб на миллиарды долларов. После землетрясения 26 декабря 2004 г. на протяжении полугода в данной зоне регистрировались много-

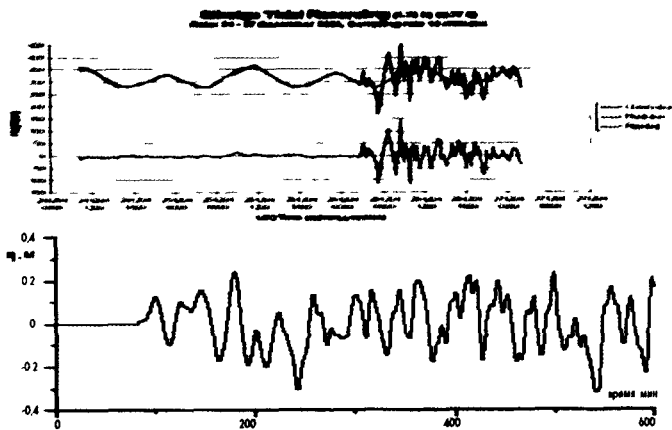
Результаты полевого обследования северо-восточной части о. Суматра и о. Сimalур, в которых принимал участие автор, приведены в параграфе 3.2. Экспедиция проводилась с 21 по 31 января 2005 г. международной группой специалистов из России, Индонезии, Японии, США и Турции. Данные о высотах волн (рис. 7), измеренные в нашей экспедиции, вошли в сводные таблицы высот волн индонезийского цунами [<http://tsun.sccc.ru/tsulab/20041226.htm>].



**Рис. 7. Карта острова с нанесенными на ней точками съемки (красные точки) и измеренными высотами заплесков**

Индии (Шеннай, Кочи) и Шри-Ланки (Коломбо), показавшее хорошее совпадение по временам вступления и периодам волн, фазам первой и максимальной волн, а зачастую и по амплитудам волн.

В параграфе 3.3 приведены результаты моделирования катастрофического цунами (26 декабря 2004 г.) в Индийском океане. Выполнено сопоставление рассчитанных и измеренных записей цунами в ряде пунктов Индонезии (Сиболга) (рис. 8),



**Рис. 8. Мареограмма цунами в районе Сиболги (сверху) и рассчитанная запись в данной точке (снизу)**

Моделирование цунами 28 марта 2005 г. в Индийском океане приведено в параграфе 3.4. Результат моделирования находится в хорошем согласии с на-

блюдениями цунами в Индонезийских пунктах (Сиболга, Паданг, Палабухан Руту). Для пункта Паданг рассчитанные первые три волны практически совпали с данными измерений (рис. 9).

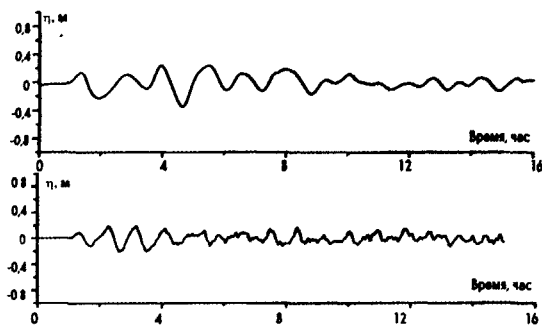


Рис. 9. Измеренная (сверху) и рассчитанная (снизу) запись цунами в районе г. Паданг

Результаты исследований, представленные в этой главе суммированы в параграфе 3.6.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

1. Выполнено численное моделирование цунами 12 июля 1966 г., возникшего в окрестности г. Анапа, и его результаты сопоставлены с имеющимися мареографными данными. Вычисленное время прихода, форма, полярность и период головной волны в г. Геленджике хорошо согласуется с измерениями. Различия связаны с описанием сейшевых колебаний, вызванных цунами; в расчетах продолжительность цуга существенно короче, чем в измерениях. В других пунктах (Туапсе, Керчь и Феодосия) волны цунами на мареограммах по существу не выделяются на уровне шума; расчеты подтверждают, что в этих пунктах цунами было существенно более слабое, чем в г. Геленджике.
2. В рамках теории мелкой воды рассчитаны параметры волн цунами, возникших при Эрзинджанском землетрясении 1939 г., и результаты расчетов сопоставлены с мареографными записями. Рассчитанные время прихода, полярность и период головной волны практически всюду хорошо совпадают с измеренными значениями.
3. Выполнено моделирование волн цунами, вызванных сходом подводного оползня, в рамках двухслойной модели мелкой воды в предположении, что оползень является вязко-жидким. Его результаты применены для интерпретации Сочинского цунами 1970 г., случившегося при отсутствии землетрясений в это время в Черном море. Учитывая большую вероятность схода оползней в данном районе, оползневой характер цунами 1970 г. представляется весьма вероятным.

4. Исследована сравнительная защищенность различных участков черноморского побережья от возможных цунами, возникающих в открытом море. Показано, что к зонам слабого риска цунами можно отнести следующие районы: на российском побережье – район г. Сочи; на украинском побережье – восточную часть Крымского п-ова от Феодосии до Ялты; на турецком побережье – окрестности городов Гиресун, Трабзон, Унье, Чайбаши; на болгарском побережье – район г. Мичурин.
5. Получены уникальные данные о распределении высот волн цунами на о. Сималур, ближайшем к очагу цунами 26 декабря 2004 г., в ходе экспедиционного обследования следов цунами, проведенного в январе-феврале 2005 г. Собранные свидетельские показания позволили оценить времена прихода и характерные периоды волн цунами.
6. Численные расчеты распространения волн цунами 26 декабря 2004 г., выполненные почти сразу после события, позволили определить распределение высот цунами вдоль побережья. Эти данные оказались одними из первых в открытом доступе и использовались специалистами при планировании и проведении полевых обследований. Выполнено также сопоставление рассчитанных и измеренных записей цунами в ряде пунктов Индонезии (Сиболга), Индии (Шеннай, Кочи) и Шри-Ланки (Коломбо), показавшее хорошее сопоставление по временам вступления и периодам волн, фазам первой и максимальной волн, а зачастую и по амплитудам волн.
7. Показано, что результаты численного моделирования цунами 28 марта 2005 г. находятся в хорошем согласии с наблюдениями цунами в Индонезийских пунктах (Сиболга, Паданг, Палабухан Руту). Для пункта Паданг рассчитанные первые три волны практически совпали с данными измерений.
8. Выполнена модификация вычислительного комплекса TUNAMI, широко используемого в практике расчетов волн цунами; в частности, проведено распараллеливание операций и разработан новый интерфейс для обработки данных расчетов.

#### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Зайцев А.И., Куркин А.А., Козелков А.С., Пелиновский Е.Н., Талипова Т.Г., Ялчинер А.С. Моделирование цунами в Черном море // Известия Академии инженерных наук РФ. Прикладная математика и механика. 2002. Т.3. С.27–45.
2. Pelinovsky E., Talipova T., Yalciner A., Kozelkov A., Kurkin A., Zaytsev A. Tsunamis in the Black Sea: A Review // In Chapter 3 in the book Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea, Similarities and Differences of Two Interconnected Basins. – Ankara: TUBITAK Publishers, 2003.
3. Зайцев А.И., Куркин А.А., Козелков А.С., Пелиновский Е.Н., Ялчинер А. Сравнительные оценки цунамиопасности черноморского побережья России // Известия Академии инженерных наук РФ. Прикладная математика и механика. 2003. Т. 4. С. 62 – 70.
4. Зайцев А.И., Куркин А.А., Полухина О.Е., Самарина Н.М., Ялчинер А.С. Численное моделирование возможных оползневых цунами в Черном море //

- Известия Академии инженерных наук РФ. Прикладная математика и механика. 2003. Т. 4. С. 150 – 154.
5. Pelinovsky E., Talipova T., Yalciner A., Kozelkov A., Kurkin A., Zaytsev A. Tsunamis in the Black Sea; Comparison of the Historical, Instrumental and Numerical Data // *J. Geophysical Research*. 2004. V. 109. № C12. C1202310.1029/2003JC002113.
  6. Куркин А.А., Зайцев А.И., Ялчинер А., Пелиновский Е.Н. Модифицированный вычислительный комплекс «ЦУНАМИ» для оценки рисков, связанных с цунами // *Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика*. 2004. Т. 9. С. 88 – 100.
  7. Зайцев А.И., Куркин А.А., Левин Б.В., Пелиновский Е.Н., Ялчинер А., Троицкая Ю.И., Ермаков С.А. Моделирование распространения катастрофического цунами (26 декабря 2004 г.) в Индийском океане // *Доклады Академии Наук*. 2005. Т. 402. № 3. С. 388 – 392.
  8. Пелиновский Е.Н., Полухин Н.В., Зайцев А.И., Куркин А.А., Кайстренко В.М., Королев Ю.П., Разжигаева Н.Г., Прасетья Г.С., Хидаят Р. Катастрофическое цунами 26 декабря 2004 г. (данные полевых обследований северо-восточной части о. Суматра и о. Сималур) // *Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика*. 2005. Т. 13. С. 63 – 75.
  9. Choi B.H., Hong S., Hwang D., Hidayat R., Kaistrenko V., Korolev Yu., Kurkin A., Pelinovsky E., Polukhin N., Prasetya G., Razzhigaeva N., Subandono D., Yalciner A., Yoon S., Zaytsev A. Catastrophic tsunami in the Indian Ocean (December 26, 2004): data of two field surveys and numerical simulation // *Sumatra Tsunami on 26 December 2004* (Eds. Choi B.H. and Imamura F.). Hanrimwon Publishing Co., Korea. 2005. P. 159 – 187.
  10. Зайцев А.И., Куркин А.А., Ялчинер А.С. Моделирование распространения цунами 28 марта 2005 г. в Индийском океане // *Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. Юбилейный том*. 2005. Т. 14. С. 106 – 112.
  11. Зайцев А.И., Пелиновский Е.Н., Полухин Н.В., Куркин А.А., Кайстренко В.М., Королев Ю.П., Разжигаева Н.Г., Прасетья Г.С., Хидаят Р., Ялчинер А. Катастрофическое цунами 26 декабря 2004 года в Индийском океане: данные полевых наблюдений и моделирование // *Препринт ИПФ РАН № 672*. Н. Новгород, 2005. 27 с.
  12. Зайцев А.И., Куркин А.А. Оценка зон цунами риска на Черноморском побережье России по данным синтетического каталога // *В сб. Молодые ученые – 2003 // Материалы международной научно-технической конференции «Молодые ученые – науке, технологиям и профессиональному образованию»*. 1-4 октября 2003 г., г. Москва. – М.: МИРЭА, 2003. С. 267 – 270.
  13. Kaistrenko V., Korolev Yu., Razjigaeva N., Polukhin N., Zaytsev A., Yalciner A., Ersoy S., Perincek D., Prasetya G., Hidayat R. Manifestation of the Indian tsunami of December 26, 2004 in the near source zone and its numerical modeling // *Proceedings of Ocean Waves Measurement and Analysis Fifth International Symposium. WAVES 2005*. P. 1 – 7.

14. Зайцев А.И., Куркин А.А., Козелков А.С., Пелиновский Е.Н. Волны цунами, сопровождавшие черноморские землетрясения в Крыму // Материалы Пятого Севастопольского Международного семинара «Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза природных, техногенных и социальных катастроф». «Стихия 2002». Севастополь. 14-22 сентября. 2002 г. С. 115.
15. Talipova T., Pelinovsky E., Yalciner A., Kozelkov A., Kurkin A., Zaytsev A. Modeling of local tsunamis in the Black Sea // International Workshop «Local Tsunami Warning and Mitigation» Book of Abstracts. Petropavlovsk-Kamchatsky. Russia. September 10 – 15. 2002. P. 62.
16. Pelinovsky E., Yalciner A., Kozelkov A., Kurkin A., Zaytsev A. Numerical simulation of the historical tsunamis in the Black sea // International Conference on Fluxes and Structures in Fluids. Abstracts. St. Petersburg. 2003. P. 94 – 96.
17. Kozelkov A., Kurkin A., Pelinovsky E., Yalciner A., Zaytsev A. Tsunami in the Black sea: observations and modeling // Geophysical research abstracts. 2004. V. 6. P. 2501.
18. Kozelkov A., Pelinovsky E., Kurkin A., Yalciner A., Zaytsev A. Tsunami Risk Estimations for Black Sea Coast Using Method of Synthetic Catalogus // Eos. Trans. AGU, 85 (17), Joint Assembly Suppl., Abstract OS33B-08, 2004.
19. Зайцев А.И., Полухин Н.В., Куркин А.А., Кайстренко В.М., Пелиновский Е.Н., Королев Ю.П., Разжигаева Н.Г. Катастрофическое цунами (26 декабря 2004 г.) в Индийском океане: оперативные данные и результаты полевого обследования // Тезисы докладов второй межведомственной конференции «Проявление глубинных процессов на морской поверхности». Н. Новгород: ИПФ РАН, 2005. С. 10.
20. Yalciner A.C., Perincek D., Ersoy S., Prasetya G.S., Hidayat R., Mc Adoo B., Pelinovsky E., Zaytsev A. Simulation and Near Field Impact of Dec., 26, 2004 Tsunami // Geophysical research abstracts. 2005. V. 7. P. 11120.
21. Zaytsev A.I., Kurkin A.A., Levin B.V., Pelinovsky E.N., Yalciner A., Troitskaya Yu.I., Ermakov S.A. Numerical simulation of propagation of the catastrophic tsunami in the Indian ocean (December 26, 2004) // Проблемные вопросы островной и прибрежной сейсмологии (ОПС-2005): тезисы докладов международного научного симпозиума. Южно-Сахалинск, 5 – 8 июня 2005 г. / отв. ред. А.И. Иващенко. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2005. С. 144.

#### **ЦИТИРУЕМАЯ В АВТОРЕФЕРАТЕ ЛИТЕРАТУРА**

- Григораш З.К. Черноморские цунами 1927 г. по мареографным данным // Труды Морского гидрофизического института. М.: Изд-во АН СССР, 1959. Вып. 17. С. 59 – 67.
- Григораш З.К. Распространение цунами 1927 г. в Черном море // Труды Морского гидрофизического института. М.: Изд-во АН СССР, 1959. Вып. 18. С. 113 – 116.
- Григораш З.К. Обзор удаленных мареограмм некоторых цунами в Черном море // Труды СахКНИИ. Южно-Сахалинск: СахКНИИ, 1972. Вып. 29. С. 271 – 278.

- Григораш З.К., Корнева Л.А. Волны цунами, сопровождавшие Анапское землетрясение 12 июля 1966 г. // *Океанология*. 1969. Т. 9. Вып. 6. С. 988 – 995.
- Григораш З.К., Корнева Л.А. Оценка энергии цунами, вызванного Анапским землетрясением 12 июля 1966 г. // *Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана*. 1970. Т. 8. С. 1196 – 1205.
- Григораш З.К., Корнева Л.А. Мареографные данные о цунами в Черном море, вызванном турецким землетрясением в декабре 1939 г. // *Океанология*. 1972. Т. 12. С. 417 – 422.
- Доценко С.Ф. Цунами в Черном море // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 1995. Т. 30. С. 513 – 519.
- Доценко С.Ф., Коновалов А.В. Численное моделирование распространения цунами в Черном море // *Морской гидрофизический журнал*. 1996. С. 65 – 77.
- Никонов А.А. Цунами на берегах Черного и Азовского морей // *Физика Земли*. 1997. № 1. С. 86 – 96.
- Никонов А.А. Повторяемость цунами на берегах Черного и Азовского морей // *Физика Земли*. 1997. Т. 33. С. 72 – 87.
- Никонов А.А. Черномор выходит на берег // *Знание-сила*. 2001. № 9. С. 78 – 84.
- Никонов А.А. Слабые цунами в Керченско-Таманской области во второй половине XX века // *Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза стихийных бедствий: Материалы 4-го Севастопольского международного семинара*. Севастополь, 2001. С. 33 – 37.
- Соловьева О.Н., Доценко С.Ф., Кузин И.П., Левин Б.В. Цунами в Черном море: исторические события, сейсмические источники и закономерности распространения // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 5. С. 679 – 685.
- Goto C., Ogawa Y., Shuto N., Imamura N. Numerical method of tsunami simulation with the leap-frog scheme (IUGG/IOC Time Project). *IOC Manual*. UNESCO. № 35. 1997. 96 p.
- Imamura F., Imteaz M.A. Long waves in two layer: governing equations and numerical model // *Journal of Science of Tsunami Hazards*. 1995. V. 13. № 1. P. 3 – 24.
- Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // *Bull. Seism. Soc. America*. 1985. V. 75. P. 1135 – 1154.

**Андрей Иванович Зайцев**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦУНАМИ В ЧЕРНОМ МОРЕ  
И КАТАСТРОФИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ 2004 г.  
В ИНДИЙСКОМ ОКЕАНЕ**

**А в т о р е ф е р а т**

---

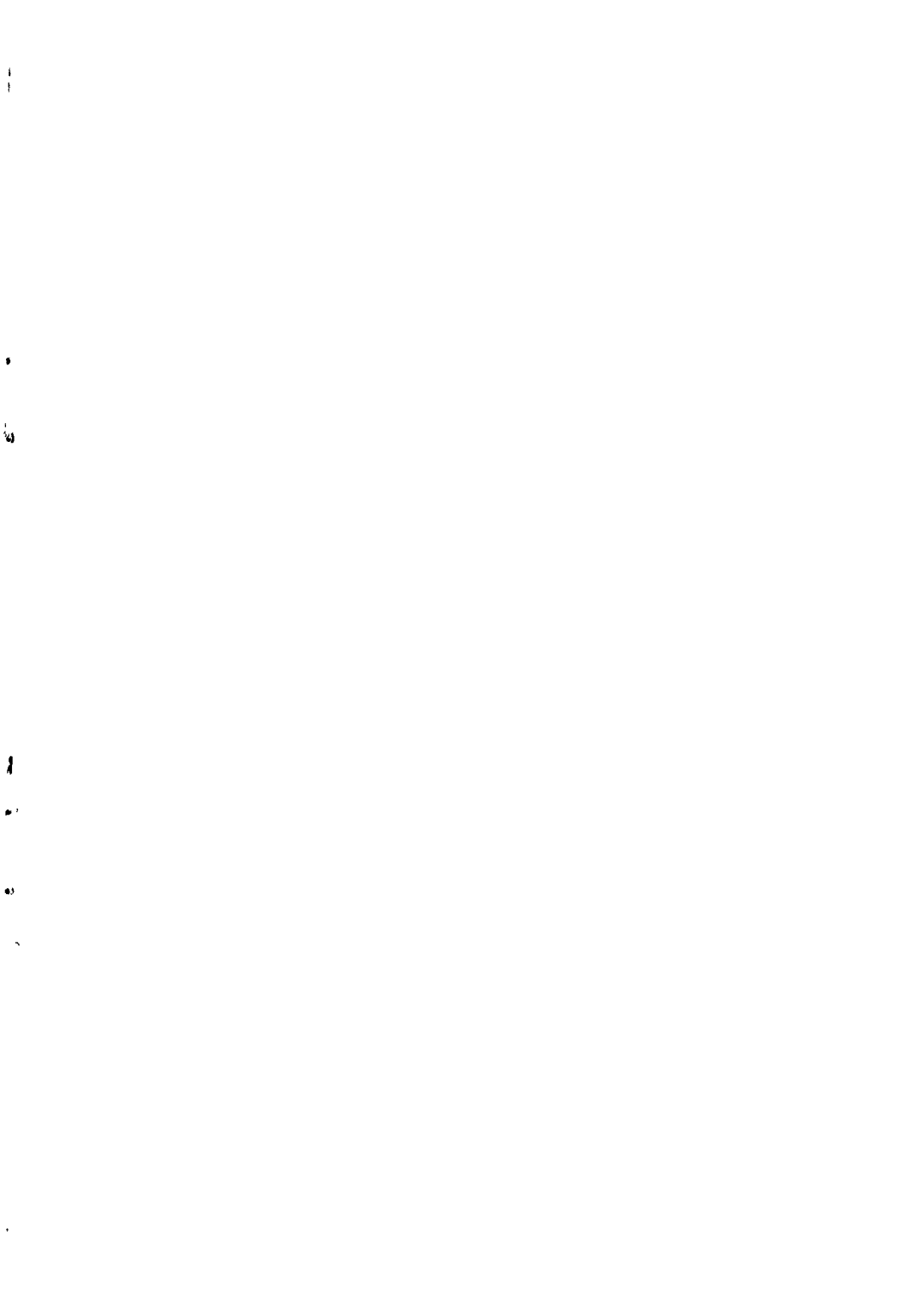
Подписано в печать 11.01.2006. Формат 60×84 1/16

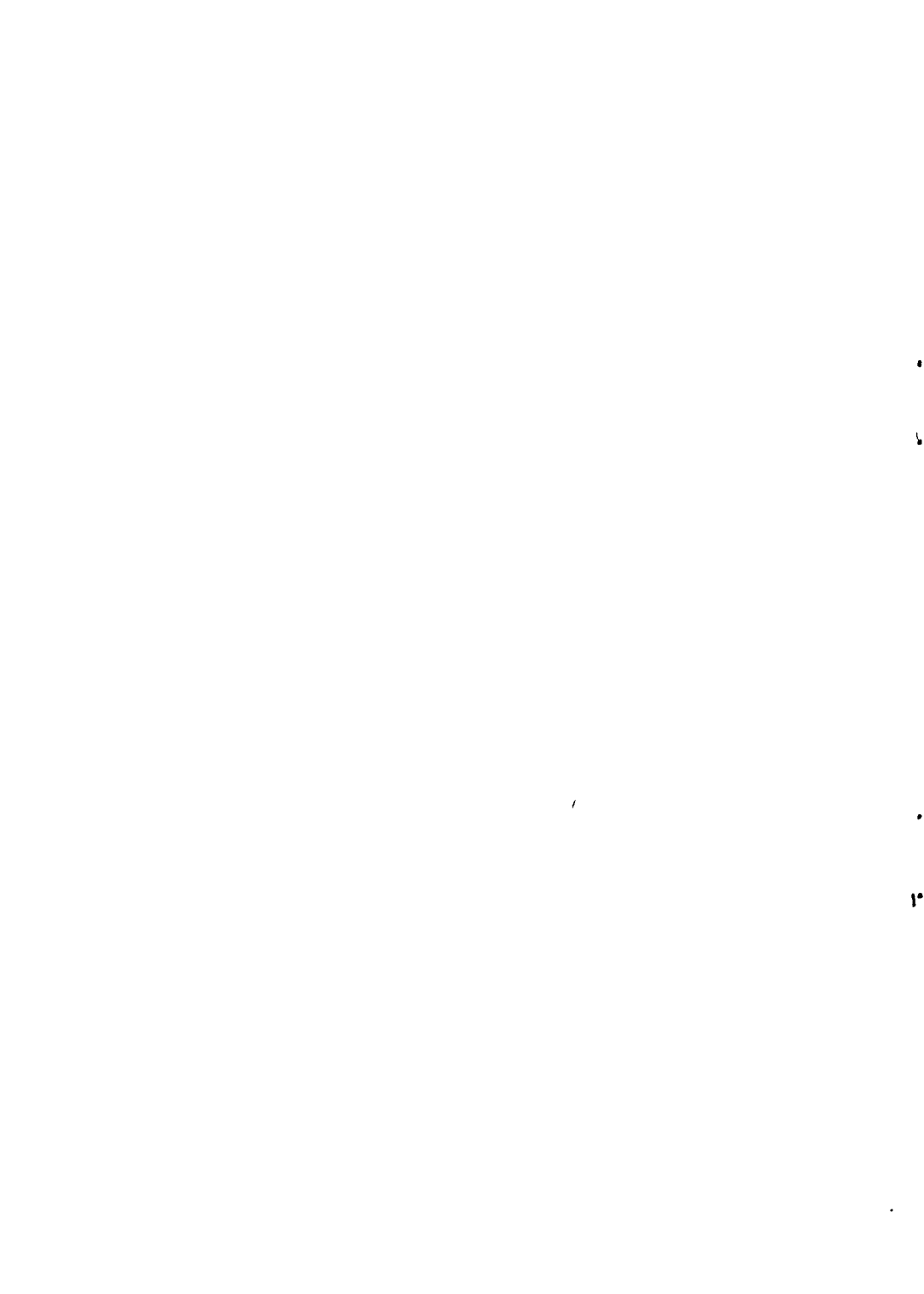
Бумага офсетная № 1. Усл. печ. л. 1.

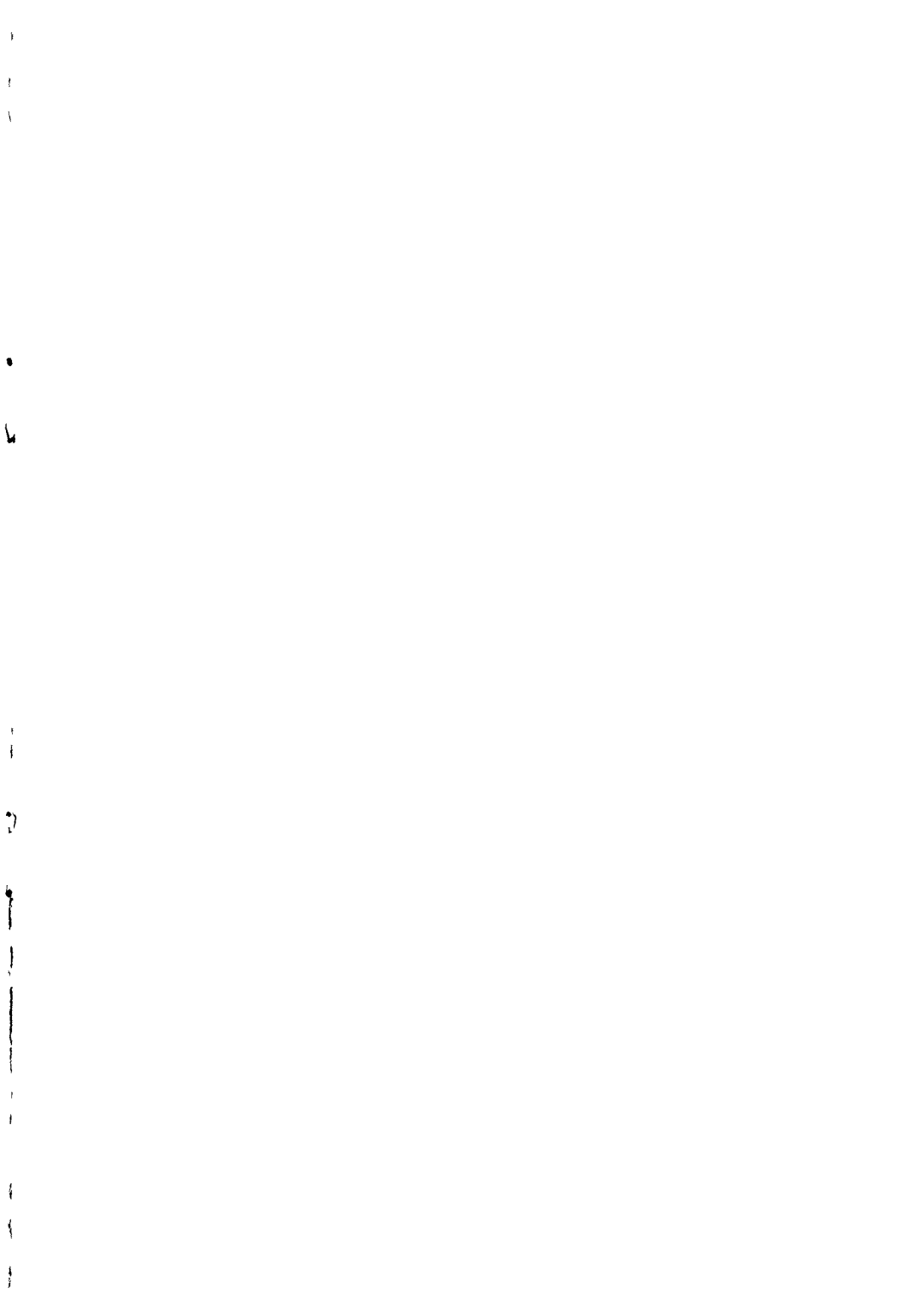
Тираж 150 экз. Заказ 11.

---

Типография ННГУ, Н. Новгород, ул. Б. Покровская. 37







2006A  
2443

**F-2443**