

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»
ЧФ «Халық»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN
«Halyk» Private Foundation

SERIES
PHYSICS AND INFORMATION TECHNOLOGY

4 (348)

OCTOBER – DECEMBER 2023

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK



ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халық». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халық» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халық» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в *Astana IT University*, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «*USTEM Robotics*» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халық» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «*Almaty Digital Ustaz*».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,
Благотворительный Фонд «Халык»!**

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы, ақпараттық жүйелер мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D), ҚР БҒМ Ғылым комитеті «Ақпараттық және есептеуші технологиялар институты» РМК жауапты хатшысы (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сатпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан), **Н=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), **Н=23**

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=10**

QUEVEDO Nemando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), **Н=28**

ЖҮСПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), **Н=5**

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан), **Н=26**

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), **Н=42**

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=10**

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=12**

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), Нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), **Н=26**

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика және информатика сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген **№ 16906-Ж** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика және ақпараттық коммуникациялық технологиялар сериясы.*

Қазіргі уақытта: *«ақпараттық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

Тиражы: *300 дана.*

Редакцияның мекен-жайы: *050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19*
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, доктор философии (PhD) по специальности Информационные системы, ответственный секретарь РГП «Института информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МОН РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), **Н=7**

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сагпаева (Алматы, Казахстан), **Н=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), **Н=23**

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=10**

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), **Н=28**

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=7**

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), **Н=5**

РАМАЗАНОВ Тлексабул Сабитович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=26**

ТАКИБАЕВ Нургали Жабатаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=5**

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), **Н=42**

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), **Н=10**

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=12**

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), **Н=26**

«Известия НАН РК. Серия физика и информатики».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан **№ 16906-Ж** выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *серия физика и информационные коммуникационные технологии.* В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных ККСОН МОН РК по направлению «информационные коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раз в год.*

Тираж: *300 экземпляров.*

Адрес редакции: *050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

EDITOR IN CHIEF:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

MAMYRBAYEV Orken Zhumazhanovich, Ph.D. in the specialty "Information systems, executive secretary of the RSE "Institute of Information and Computational Technologies", Committee of Science MES RK (Almaty, Kazakhstan) **H=5**

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), **H=3**

WOICIK Waldemar, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland), **H=23**

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=10**

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), **H=28**

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), **H=5**

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=26**

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), **H=42**

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), **H=10**

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=12**

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), **H=26**

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Series of physics and informatics.

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. 16906-ЖК**, issued 14.02.2018
Thematic scope: *series physics and information technology.*

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MES RK in the direction of «information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

Circulation: *300 copies.*

Editorial address: *28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© **A.Ə. Taurbekova**¹, **O.Zh. Mamyrbayev**², **K.Zh. Doshtaev**³,
T.K. Eginbaykyzy⁴, 2023

¹Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev;

²Institute of Information and Computing Technologies;

³Academy of Logistics and Transport;

⁴Kazakh Automobile and Highway Institute named after L. Goncherev.

E-mail: ainura_071@mail.ru

HYDRODYNAMIC INSTABILITY MECHANISM PROCESS FOR ASSESSMENT SEISMIC ACTIVITY

Mamyrbayev Orken Zhumazhanovich — PhD, Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan

E-mail: morkenj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8627-1949>;

Taurbekova Ainur Adilgazievna — doctoral student of Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

E-mail: ainura_071@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5433-8347>;

Doshtaev Kuntugan Zhubanyshevich — PhD, Kolik Zhane Logistics Academy, Almaty, Kazakhstan

E-mail: k.doshtaev@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9806-8251>;

Turganbay Kuralai Eginbaykyzy — Ph.D., Kazakh Automobile and Highway Institute named after L. Goncherev, Almaty, Kazakhstan

E-mail: kuralai_12@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5608-1845>.

Abstract. The analysis of geophysical and geological data on tectonic processes occurring in the peripheral layers of the Earth, under the influence of local heated mantle material elevations from the lower mantle is conducted. The assumption that there is a difference between the densities of substances originating from the lower mantle, and substances of the overlying asthenospheric layer is used. Here, this process is considered as a process of hydrodynamic instability. Physical model of high-viscosity liquids at low Reynolds numbers is used to describe the process. Based on analysis data in the literature on the mantle and salt diapirism, a mechanical-mathematical model of mantle material elevation process through the density difference between the overlying and underlying layers is proposed. An analytical solution of a mathematical problem resulting from application of mechanical-mathematical modeling of mantle diapirism is obtained. Comparison of the results of the analytical solution shows good agreement with the data obtained from the experiments and observations of the salt dome.

Keywords: magmatic substances, highly viscous liquid, quasi-linear equation of parabolic type, algorithm and program for solving problems

© А.А. Таурбекова¹, О.Ж. Мамырбаев², К.Ж. Доштаев³,
Е.К. Турганбай⁴, 2023

¹Қаныш Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті;

²Ақпараттық және есептеу технологиялары институты;

³Логистика және көлік академиясы;

⁴ Л.Гончеров атындағы Қазақ автомобиль – жол институты.

E-mail: ainura_071@mail.ru

СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТТІ БАҒАЛАУ ҮШІН ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ ТҰРАҚСЫЗДЫҚ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Таурбекова Айнұр Әділғазықызы — Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің докторанты, Алматы, Қазақстан

E-mail: ainura_071@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5433-8347>;

Мамырбаев Өркен Жұмажанұлы — PhD, Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан

E-mail: morkenj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8627-1949>;

Доштаев Қунтуған Жубанышевич — PhD, Көлік және логистика академиясы, Алматы, Қазақстан

E-mail: k.doshtaev@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9806-8251>;

Турганбай Құралай Егінбайқызы — т.ң.к., Л. Гончеров атындағы Қазақ автомобиль - жол институты, Алматы, Қазақстан

E-mail: kuralai_12@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5608-1845>.

Аннотация. Жердің төменгі қабаттарында болып жатқан жоғары температураның әсерінен магманың көтерілуіне, яғни тектоникалық процестер туралы геофизикалық және геологиялық мәліметтерге талдау жүргізілді. Төменгі мантиядан шыққан заттар мен астеносфералық қабаттағы заттардың тығыздықтарының айырмашылығы туралы болжам жасалды. Мұнда бұл процесс гидродинамикалық тұрақсыздық процесі ретінде қарастырылады. Процесті сипаттау үшін Рейнольдстың төмен сандарындағы жоғары тұтқырлы сұйықтықтардың физикалық моделі қолданылады. Әдебиет деректеріне негізделе отырып жердің үстіндегі және астындағы қабаттары тығыздықтарының айырмашылығына байланысты магманың көтерілу процесінің механикалық-математикалық моделі жасалды. Мантия диапиризмасының механикалық және математикалық модельдеуді қолдану нәтижесінде туындаған математикалық есептің аналитикалық шешімі алынды. Аналитикалық шешімдерді салыстыру нәтижелері тәжірибелер мен тұзды күмбезді бақылаудан алынған мәліметтермен жақсы сәйкестігін көрсетеді.

Түйін сөздер: магмалық заттар, жоғары тұтқыр сұйықтық, параболалық типті квазисызықты теңдеу, есептерді шешу алгоритмі мен бағдарламасы

© А.А. Таурбекова¹, О.Ж. Мамырбаев², К.Ж. Доштаев³,
Е.К. Турганбай⁴, 2023

¹Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан;

²Институт информационных и вычислительных технологий,
Алматы, Казахстан;

³Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан;

⁴Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л. Гончерева,
Алматы, Казахстан.

E-mail: ainura_071@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: morkenj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8627-1949>;

Таурбекова Айнура Адилгазыевна — докторант Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

E-mail: ainura_071@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5433-8347>;

Доштаев Кунтуган Жубанышевич – PhD, Академия транспорта и логистики, Алматы, Казахстан

E-mail: k.doshtaev@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9806-8251>;

Турганбай Куралай Егинбаевна – к.т.н., Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л. Гончерева, Алматы, Казахстан

E-mail: kuralai_12@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5608-1845>.

Аннотация. Авторами проведен анализ геофизических и геологических данных о тектонических процессах, происходящих в периферийных слоях Земли под влиянием локальных разогретых поднятий мантийного материала из нижней мантии, использовано предположение о различии плотностей веществ, происходящих из нижней мантии, и веществ вышележащего астеносферного слоя. В данной статье этот процесс рассматривается как процесс гидродинамической неустойчивости. Для описания процесса использована физическая модель высоковязких жидкостей при малых числах Рейнольдса. На основе литературных данных анализа мантийного и соляного диапиризма разработана механико-математическая модель процесса поднятия мантийного вещества за счет разницы плотностей вышележащего и нижележащего вещества. Получено аналитическое решение математической задачи, возникающей в результате применения механико-математического моделирования мантийного диапиризма. Сравнение результатов аналитического решения показывает хорошее согласие с данными, полученными в результате экспериментов и наблюдений за соляным куполом.

Ключевые слова: магматические вещества, сильновязкая жидкость,

квазилинейное уравнение параболического типа, алгоритм и программа решения задач

Введение

При изучении Земли важной задачей является установление зависимости процессов и явлений, наблюдаемых на поверхности Земли, от процессов, происходящих в глубоких недрах Земли. Эта задача важна и ее решение актуально при изучении строения и развития земной коры.

По данным геофизических и геологических исследований, существует слабый (астеносферный) слой, ограниченный сверху твердой литосферой, а снизу твердой мезосферой [1-8]. И здесь возникает проблема, как учесть влияние нижних областей Земли на движения и процессы в литосферном и астеносферном слое и как это влияет на земную поверхность.

Ограниченность сведений о физических свойствах веществ подстилающей мантии и процессах, происходящих в ней, заставляет делать некоторые предположения.

В недавних исследованиях [9-15] авторы преимущественно предполагают существование локальных поднятий нагретых легких материалов из нижней мантии, которые являются источником движения астеносферного вещества как в вертикальном направлении, так и его горизонтального распространения. Этот подход также используется для объяснения происхождения так называемых «горячих точек» [13,14]. Было замечено, что помимо срединно-океанических хребтов, островных дуг и активных континентальных окраин в некоторых областях внутри плит наблюдается также интенсивный магматизм, типичный пример тому — Гавайи [9-15]. Такие аномальные области («горячие точки») срединно-океанических хребтов имеются в Исландии и на Азорских островах. Согласно теории тектоники плит, «горячие точки» связаны с потоками, исходящими из горячих глубин мантии Земли, вероятно, из-за высокой интенсивности потоков магматического материала и проницаемости тектоносферы.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что существуют локальные поднятия и опускания подастеносферного основания. Как отмечалось выше, здесь формулируется задача определения аналитического вида этих поднятий и опусканий, т.е. требуется определить вид функции, описывающей изменение подастеносферного основания.

Итак, здесь ставится следующая проблема: как определить влияние активных процессов в подстилающей мантии на астеносферу и литосферу, на процесс формирования земной структуры? Другими словами, необходимо определить граничные условия на границе астеносферы и мезосферы, т. е. в основании подастеносферы.

В литературе о Земле [1-4] рассматриваются различные гипотезы и предположения о механизмах взаимодействия астеносферного слоя с

подстилающей мантией. В большинстве случаев тектоническая активность связана с поднятием сильно нагретого расплавленного мантийного материала, и это рассматривается как основная причина многих тектонических процессов. Как отмечалось выше, мантийные вещества поступают в астеносферу через ограниченные участки подастеносферного основания. В зависимости от интенсивности процессов, происходящих в подстилающей мантии и проницаемости тектоносферы, возможны различные варианты механизма взаимодействия астеносферы с подстилающим слоем. К ним относятся механизм мантийного диапиризма, адвекция, появление плюма и другие.

Поэтому для решения этой задачи можно рассматривать различные граничные условия на подастеносферной основе, вытекающие из предположений и гипотез о механизмах этих процессов.

Один из механизмов подъема мантийных веществ и проникновения их в астеносферу предполагает, что мантийные вещества накапливаются в нижней части астеносферы, распространяясь по горизонтали, образуя при этом новый слой высоковязких жидкостей. В этом случае движения в астеносферном слое следует моделировать как движение двухслойной жидкости, плотность нижележащего слоя меньше плотности вышележащего слоя. Очевидно, возникает проблема гидродинамической неустойчивости в двухслойных высоковязких жидкостях. В свою очередь, возможны следующие варианты: когда будет продолжаться поступление нового мантийного материала из нижнего слоя и когда такая «подпитка» прекратится.

В случае, когда количество накопленной массы мантийного материала значительно или когда продолжается «подпитка» новыми поступлениями этого вещества из нижней мантии, происходит поднятие веществ нижнего слоя и падение более тяжелых веществ верхнего слоя. В результате этого процесса вершина границы между этими слоями может достигать верхней границы астеносферы, т. е. основания литосферы, что может привести к возникновению крупных разломов, рифтовых зон в теле литосферы, сопровождающихся такими событиями, как вулканизм, магматизм, сейсмическая активность и т.д.

Другой возможный вариант: когда интенсивность этих процессов недостаточна или проницаемость тектоносферы поднимающимся мантийным материалом незначительна, то на каком-то уровне подъем границы между слоями может прекратиться. Возникает неполная конвекция. Такое явление в геотектонике называется «адвекцией». При таком механизме возможны и различные процессы, влияющие на движение в астеносфере и литосфере.

В случае, когда в астеносферу попадает ограниченное количество мантийного материала и процесс их поступления прекращается, то может произойти появление так называемого плюма. Плюм представляет собой единую сплошную массу мантийного материала, ограниченную со всех сторон астеносферным веществом. Из-за разницы плотности шлейфа и окружающей среды это тело движется вверх, создавая определенные условия для

возникновения различных специфических процессов. Плюм обнаруживается геофизическими методами как в тектонически активных регионах, так и под относительно стабильными континентальными плитами. Изучение плюма стало актуальным в связи с изучением тектонически активных регионов, таких как рифтовые зоны, в частности, Байкальской рифтовой зоны (Н.Л. Добрецов, А.Г. Кирдяшкин, А.А. Кирдяшкин, С.А. Тычков и др.).

Описанные выше механизмы проникновения мантийного материала в астеносферу возможны в тех случаях, когда они не смешаны с веществом астеносферы.

Если же с веществом астеносферы перемешаться мантийные вещества, поступающие в астеносферу из нижней мантии, то процесс будет иметь совершенно иной вид. Тогда задача о движениях астеносферы будет сформулирована по-другому. В этом случае движение будет рассматриваться в вязком слое, когда в некоторой локальной области на его нижней границе задана скорость подъема или опускания (или скорость течения). И возможны различные варианты: либо это непрерывный процесс, когда в течение длительного периода геологического времени происходит «обмен веществ» между астеносферой и подстилающей мантией (конвективный механизм), либо этот процесс связан с кратковременным «высвобождением» мантийного материала в астеносферу («пульсирующий» механизм).

В отличие от традиционных взглядов на конвективные движения в мантии (Д.П. Маккензи, Робертс Дж.М., Н.О. Вайс, Масао Накада, А. Григорьев, Т.Л. Толкунова и др.), Ж.С. Ержанов предложил рассмотреть модель, предполагающую существование под астеносферой «поглотителей» и «источников» мантийных материалов. Такой механизм потоков мантийного вещества позволил бы описать такие интересные явления, как раздвижение (спрединг) и субдукция литосферных плит. Интерес к этому вопросу обусловлен всевозрастающим проявлением интереса к исследованию окраин океана (Ю.М. Пучаровский, Е.Н. Меланхолина, А.В. Пейве, С.В. Руженцев и др.) и срединно-океанических хребтов. Решение таких проблем было бы также полезно для описания тектоники литосферных плит, что позволило бы оценить многие утверждения гипотезы дрейфа континентов.

Проведен краткий обзор возможных механизмов тектонических движений под влиянием эндогенных процессов, оцениваемых в различных геологических гипотезах. Он показал широкий круг проблем, возникающих при решении этой задачи, особенно задач механики сплошных сред.

Далее в статье будут рассмотрены вопросы формулировки граничных условий в задачах взаимодействия астеносферы с подстилающей мантией для некоторых вариантов рассмотренных выше механизмов.

Физическая сущность механизма гидродинамической неустойчивости

Теперь вопрос: как происходит процесс взаимного проникновения слоев жидкости с более высокими коэффициентами динамической вязкости и когда

плотность нижнего слоя меньше плотности верхнего слоя? Ниже приводится описание процесса, происходящего на границе этих двух слоев высоковязкой жидкости.

Рассмотрим декартову систему координат xoz (рис. 1) и в некоторый начальный момент времени в окрестности точки (для определенности с $x=0$) на границе слоев жидкости произошло нарушение равновесия. Это означает, что функция $\xi(x,t)$, описывающая эту границу, получает приращение в окрестности точки $x=0$ т.е. при $\Delta x > 0$ скоростью изменения функции $\Delta \xi = \xi(\Delta x, t) - \xi(0, t)$.

Тогда создается перепад давления в нижнем слое $\Delta p = p_1(\Delta x, t) - p_1(0, t)$.

Из-за малой толщины слоя жидкости она предполагалось, что безразмерное давление в нижнем слое определяется формулой [19]:

$$p_1 = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \cdot \xi_1 - z + \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \xi_2$$

где $\xi_1 = \xi_1(x, t)$, и ξ_2 пока считается постоянной. В этом случае падение давления равно $\Delta p = (\rho_1 - \rho_2) \cdot [\xi_1(\Delta x, t) - \xi_1(0, t)]$.

Если предположить, что функция $\xi(x, t)$ достигает своего максимума, то при положительном значении аргумента приращение $\Delta x > 0$ приращение функции равно $\Delta \xi_1 = \xi_1(\Delta x, t) - \xi_1(0, t)$.

Отсюда следует, что при $\rho_1 > \rho_2$ перепаде давления $\Delta p < 0$ на участке $x > 0$. Из-за такого отрицательного перепада давления в нижнем слое жидкости происходит движение, горизонтальная скорость которого направлена от центра граничного возвышения в сторону $x = 0$ его пониженных участков, т.е. происходит перетекание жидкости для восстановления состояния равновесия. Этот процесс хорошо изучен, и его механизм во многом понятен. Результаты решения аналогичной задачи используются для описания поднятия земной коры после дегляциации, в частности, послеледникового поднятия Фенноскандии [5].

Предположим теперь, что для площади перепад $\rho_1 < \rho_2$ давления $x > 0$ составляет $\Delta p > 0$. Это означает, что за счет положительного перепада давления происходит движение в обратном направлении, т.е. вещества нижнего слоя близлежащей области перемещаются к центру возвышения границы ($x=0$), а вещества $x=0$ верхнего слоя, находящиеся выше области возвышения границы между слоями перемещаются в области его спуска.

В точках возвышения, достаточно удаленных от центра, перепад давления практически равен нулю, следовательно, горизонтальная скорость жидкости там должна быть пренебрежимо малой. Поэтому поднимающиеся вещества придонного слоя компенсируются веществами, близкими к центру возвышения площадей, и происходит понижение границы $z = \xi_1(x, t)$; эти области будут заполнены веществами верхнего слоя. Этот процесс, в свою

очередь, увеличивает перепад давления, что ускоряет подъем веществ в точках окрестности центра возвышения.

Понижение более плотных материалов верхнего слоя в центре рассматриваемой области предотвращает массоперенос из крайних областей. Это обеспечивает локальность поднятия вещества нижнего слоя. Увеличение перепада давления может при благоприятных условиях вызвать появление новых локальных возвышений вещества нижнего слоя на участках, расположенных на достаточном расстоянии от рассматриваемого локального граничного поднятия между слоями.

Постановка задачи определения границ между вязкими слоями

Изложенное показывает физическую природу изучаемого процесса, происходящего на границе раздела двух слоев различной плотности. Для количественного анализа этого процесса следует попытаться получить граничный закон изменения в виде аналитической формулы. Для этого должны быть сформулированы и решены математические задачи, возникающие в результате механо-математического моделирования описываемого здесь процесса.

Очевидно, что математические задачи, которые здесь будут ставиться и решаться, связаны с уравнениями в частных производных. Для поиска частных решений этих уравнений, а также для анализа результатов необходимо задать начальные и граничные условия. В отличие от обычных задач математической физики, в постановке этих задач, а также в формулировке условий их решения, имеются некоторые особенности. Как отмечалось ранее, процесс подъема вещества нижнего слоя и опускания вещества верхнего слоя высоковязких жидкостей происходит очень медленно и длительно. Поэтому можно было бы рассматривать задачу «без начальных условий» [20]. Предполагается, что на $t \rightarrow -\infty$ границе между слоями жидкость находилась в первоначальном равновесии и начался медленный подъем небольшого участка границы из-за нарушений равновесного состояния. Тогда задачу следует рассматривать на интервале времени $-\infty < t < t_1$, где t_1 — моменты времени, соответствующие вершине границы, достигают верхней границы верхнего слоя. После этой точки происходит «разрыв» верхнего слоя и нарушение условий непрерывности, ожидаемых в постановке задачи.

Здесь целесообразно обратиться к физической природе проблемы. В этой задаче движение самой жидкости и изменение границ между слоями будут свободными. Влияние всех факторов, кроме гравитации и вязкости, не учитывается. Движения происходят из-за разницы плотности слоев. Тогда можно считать справедливым следующее утверждение: при свободном движении тяжелой несжимаемой высоковязкой жидкости в гравитационном поле под действием разности плотностей ее слоев изменение их границ в любой точке приводит к соответствующим изменениям в других ее слоях локации.

Из этого утверждения следует, что для решения задачи об изменении границы между слоями жидкости достаточно рассмотреть ее положение только в одной характерной точке. Это означает, что вы можете записывать (измерять) значения пиковой высоты (для $x = 0$) местной отметки для любого момента времени. Например, для $t = 0$ (времени начала) или $t = 1$ (конца отчетного периода). Обратите внимание, что выбор моментов времени условен.

Этот подход полезен для практики. В большинстве случаев при изучении процессов, происходящих в земной коре, данные определяются за последние периоды или по ситуации в реальном времени. Тогда ставится задача их определения в более ранние геологические периоды. Этот подход будет использоваться в дальнейшем для решения частных задач.

Теперь необходимо рассмотреть граничные условия. Как было предложено, рассматривается отдельное локальное возвышение границы между слоями жидкости. Из-за изотропности рассматриваемых слоев положение пограничного слоя симметрично относительно вертикальной z оси. Это позволяет ограничить рассмотрение полубесконечной области $0 \leq x + \infty$, считая точку $x = 0$ центром возвышения. Тогда функция $\xi(x, t)$, определяющая рассматриваемую границу, удовлетворяет условию $\xi(-x, t) = \xi(x, t)$.

Тогда создается перепад давления в нижнем слое $\Delta p = p_1(\Delta x, t) - p_1(0, t)$. Из-за малой толщины слоя жидкости она предполагалось, что безразмерное давление в нижнем слое определяется формулой [19]:

$$p_1 = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \cdot \xi_1 - z + \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \xi_2$$

где $\xi_1 = \xi_1(x, t)$ и ξ_2 пока считается постоянной. В этом случае падение давления равно $\Delta p = (\rho_1 - \rho_2) \cdot [\xi_1(\Delta x, t) - \xi_1(0, t)]$.

Если предположить, что функция $\xi(x, t)$ достигает своего максимума, то при положительном значении аргумента приращение $\Delta x > 0$ приращение функции равно $\Delta \xi_1 = \xi_1(\Delta x, t) - \xi_1(0, t)$

Отсюда следует, что при $\rho_1 > \rho_2$ перепаде давления $x > 0$ на участке $x > 0$. Из-за такого отрицательного перепада давления в нижнем слое жидкости происходит движение, горизонтальная скорость которого направлена от центра граничного возвышения в сторону $x = 0$ его пониженных участков, т.е. происходит перетекание жидкости для восстановления состояния

равновесия. Этот процесс хорошо изучен, и его механизм во многом понятен. Результаты решения аналогичной задачи используются для описания поднятия земной коры после дегляциации, в частности, послеледникового поднятия Фенноскандии [5].

Отсюда следует, что при $\Delta p < 0$ перепаде давления $\Delta p < 0$ на участке $x > 0$. Из-за такого отрицательного перепада давления в нижнем слое жидкости происходит движение, горизонтальная скорость которого направлена от центра граничного возвышения в сторону $x = 0$ его пониженных участков, т.е. происходит перетекание жидкости для восстановления состояния равновесия. Этот процесс хорошо изучен, и его механизм во многом понятен. Результаты решения аналогичной задачи используются для описания поднятия земной коры после дегляциации, в частности, послеледникового поднятия Фенноскандии [5].

Предположим теперь, что для площади перепад $\rho_1 < \rho_2$ давления $x > 0$ составляет $x = 0$. Это означает, что за счет положительного перепада давления происходит движение в обратном направлении, т.е. вещества нижнего слоя близлежащей области перемещаются к центру возвышения границы ($x=0$), а вещества $x = 0$ верхнего слоя, находящиеся выше области возвышения границы между слоями перемещаются в области его спуска.

В точках возвышения, достаточно удаленных от центра, перепад давления практически равен нулю, следовательно, горизонтальная скорость жидкости там должна быть пренебрежимо малой. Поэтому поднимающиеся вещества придонного слоя компенсируются веществами, близкими к центру возвышения площадей, и происходит понижение границы $z = \xi_1(x, t)$; эти области будут заполнены веществами верхнего слоя. Этот процесс, в свою очередь, увеличивает перепад давления, что ускоряет подъем веществ в точках окрестности центра возвышения.

Понижение более плотных материалов верхнего слоя в центре рассматриваемой области предотвращает массоперенос из крайних областей. Это обеспечивает локальность поднятия вещества нижнего слоя. Увеличение перепада давления может при благоприятных условиях вызвать появление новых локальных возвышений вещества нижнего слоя на участках, расположенных на достаточном расстоянии от рассматриваемого локального граничного поднятия между слоями.

Постановка задачи определения границ между вязкими слоями

Изложенное показывает физическую природу изучаемого процесса, происходящего на границе раздела двух слоев различной плотности. Для количественного анализа этого процесса следует попытаться получить граничный закон изменения в виде аналитической формулы. Для этого должны быть сформулированы и решены математические задачи, возникающие в

результате механо-математического моделирования описываемого здесь процесса.

Очевидно, что математические задачи, которые здесь будут ставиться и решаться, связаны с уравнениями в частных производных. Для поиска частных решений этих уравнений, а также для анализа результатов необходимо задать начальные и граничные условия. В отличие от обычных задач математической физики, в постановке этих задач, а также в формулировке условий их решения, имеются некоторые особенности. Как отмечалось ранее, процесс подъема вещества нижнего слоя и опускания вещества верхнего слоя высоковязких жидкостей происходит очень медленно и длительно. Поэтому можно было бы рассматривать задачу «без начальных условий» [20]. Предполагается, что на $-\infty < t < t_1$ границе между слоями жидкость находилась в первоначальном равновесии и начался медленный подъем небольшого участка границы из-за нарушений равновесного состояния. Тогда задачу следует рассматривать на интервале времени $-\infty < t < t_1$, где t_1 — моменты времени, соответствующие вершине границы, достигают верхней границы верхнего слоя. После этой точки происходит «разрыв» верхнего слоя и нарушение условий непрерывности, ожидаемых в постановке задачи.

Здесь целесообразно обратиться к физической природе проблемы. В этой задаче движение самой жидкости и изменение границ между слоями будут свободными. Влияние всех факторов, кроме гравитации и вязкости, не учитывается. Движения происходят из-за разницы плотности слоев. Тогда можно считать справедливым следующее утверждение: при свободном движении тяжелой несжимаемой высоковязкой жидкости в гравитационном поле под действием разности плотностей ее слоев изменение их границ в любой точке приводит к соответствующим изменениям в других ее слоях локалии.

Из этого утверждения следует, что для решения задачи об изменении границы между слоями жидкости достаточно рассмотреть ее положение только в одной характерной точке. Это означает, что вы можете записывать (измерять) значения пиковой высоты (для $x = 0$) местной отметки для любого момента времени. Например, для $t = 1$ (времени начала) или $t = 1$ (конца отчетного периода). Обратите внимание, что выбор моментов времени условен.

Этот подход полезен для практики. В большинстве случаев при изучении процессов, происходящих в земной коре, данные определяются за последние периоды или по ситуации в реальном времени. Тогда ставится задача их определения в более ранние геологические периоды. Этот подход будет использоваться в дальнейшем для решения частных задач.

Теперь необходимо рассмотреть граничные условия. Как было предложено,

рассматривается отдельное локальное возвышение границы между слоями жидкости. Из-за изотропности рассматриваемых слоев положение пограничного слоя симметрично относительно вертикальной Z оси. Это позволяет ограничить рассмотрение полубесконечной области $0 \leq x + \infty$, считая точку $x=0$ центром возвышения. Тогда функция $\xi(x, t)$, определяющая рассматриваемую границу, удовлетворяет условию $\xi(-x, t) = \xi(x, t)$

Поскольку $x = 0$ функция $\xi(x, t)$ достигает максимума, вы можете использовать здесь следующее граничное условие:

$$\frac{\partial \xi(x, t)}{\partial x} = 0.$$

На правой границе интервала $[0] \infty$ задано условие равенства нулю искомой функции

$$\xi(\infty, t) = 0.$$

Следует отметить, что аналитическое решение этой задачи в условиях бесконечной точки не вызывает никаких проблем. Однако численное решение задачи с таким граничным условием вызывает некоторые трудности. Во многих случаях условие на бесконечности заменяется условием в конечной точке $x=x_N$, для которого, а также для значений $x > x_N$ искомая функция имеет достаточно малые значения или ее производную можно считать равной до нуля.

Определение верхней куполовой границы поднимающегося мантийного течения

Предположим, предполагается, что на дне астеносферного слоя локальной области появился некий слой менее плотного мантийного материала. Вещества двух слоев не смешиваются. При этом возникает проблема определения границы между этими слоями, когда плотность вещества нижнего слоя меньше плотности верхнего слоя. Обращается внимание на то, что эта граница движется.

Поставленная в предыдущем параграфе задача об определении аналитической функции, описывающей изменение основания субастеносферы, может быть решена двумя способами. В одном случае нужно рассмотреть проблему гидродинамической неустойчивости, когда нижележащий слой жидкости имеет меньшую плотность, чем плотность вышележащего слоя жидкости. Другим способом определения искомой функции может быть аппроксимация имеющихся данных эксперимента и наблюдений подобных явлений.

Первоначально рассматривается второй метод определения стандартной формы искомой функции на основе анализа данных о явлении, известном как процесс поднятия соляных толщ и образования соляных куполов. В геологии

этот процесс называется солевым диапиризмом [17,18]. Проблеме изучения соляных толщ посвящено большое количество исследований и ее актуальность неоспорима. В первую очередь это касается разведки и добычи нефти и газа. В данной статье эти вопросы непосредственно не рассматриваются. Однако используются результаты исследований этих процессов, выполненные разными исследователями толстой соляной тектоники и опубликованные в печати. Причиной этого является аналогия между процессом солевого диапиризма и мантийным диапиризмом, предполагаемым как одна из причин тектонических движений в системе «литосфера — астеносфера».

По популярному среди геологов мнению о появлении соляных куполов [17], механизм подъема соли, плотность которой меньше плотности окружающей ее породы, аналогичен мантийному диапиризму, когда поднимаются расплавленные легкие мантийные вещества. Имеются экспериментальные исследования, в частности Рамберга [18], которые показывают форму границы поднимающегося вещества. А Говард [17] показывает графическое изображение границы, используя компьютерное моделирование результатов наблюдений за высотами соляных слоев (рис. 1).

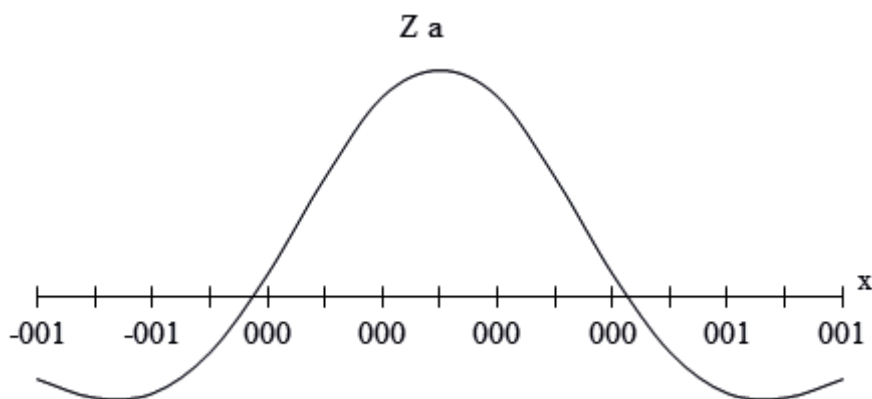


Рисунок 1 – График функции $Z_a(x, t)$ при $n = 1$.

Сравнение результатов, полученных Говардом [17] и Рамбергом [18], показывает, что график функции, показанный на рисунке 1, хорошо согласуется с результатами экспериментов, проведенных Рамбергом. Однако на этой диаграмме показана только общая графическая форма границы. С помощью графика невозможно определить ее аналитическую формулу и описать динамику процесса, т.е. изменение искомой функции в момент времени t . Несмотря на это, мы можем принять график этой функции как аппроксимирующую кривую экспериментальных данных Рамберга и высоты соляного купола. наблюдения. Следует отметить, что Ховард отметил ряд свойств функции, которые можно использовать для построения аналитической формулы этого графика.

Обозначим $z = Z_a(x, t)$ искомую функцию. Время t пока будем считать параметром, а зависимость искомой функции от этого параметра пока неизвестна. Потому что по графическим данным Ховарда и Рамберга нельзя установить такую зависимость от времени t .

Следует отметить, что мы рассматриваем некоторое единичное (локальное) возвышение нижнего слоя вещества. Из-за сильной вязкости слоя предполагается, что другое возвышение находится на достаточном расстоянии от первого.

В связи с этим возникает проблема определения аналитической формулы, описывающей границу между поднимающейся жидкостью и ее средой, показанной на рисунке 1, где z – вертикальная, x – горизонтальная ось, t – время.

На основе анализа, проведенного Говардом [17] и Рамбергом [18], сначала необходимо сформулировать условия, которым должна удовлетворять искомая функция $z = Z_a(x, t)$, т.е. сформулировать ее основные свойства. Они есть:

1) Функция $z = Z_a(x, t)$ должна иметь точку локального максимума (минимума). Это означает, что материал нижнего слоя поднимается по некоторым относительно небольшим «каналам». Без ограничения общности можно считать, что локальный максимум (минимум) достигается при $x = 0$ и может быть назван центром подъема (понижения);

2) Функция $z = Z_a(x, t)$ должна быть определена и непрерывна всюду, $x \in (-\infty, +\infty)$;

3) функция $z = Z_a(x, t)$ четная и симметричная относительно оси z , т. е.

$$Z_a(-x, t) = Z_a(x, t) \text{ выполнено условие}$$

4) в точках, достаточно удаленных от центра возвышения ($x = 0$), функция $Z_a(x, t)$ имеет очень малые значения, т.е. при $x \rightarrow +\infty$ и $x \rightarrow -\infty$ предел $\lim Z_a(x, t) = 0$;

5) из сохранения массы (объема) веществ вытекает условие равенства нулю следующих интегралов:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} Z_a(x, t) dx = \int_0^{+\infty} Z_a(x, t) dx = \int_{-\infty}^0 Z_a(x, t) dx = 0;$$

6) площади подъема и опускания равны, т. е.

$$\left| \int_{-x_0}^{+x_0} Z_a(x, t) dx \right| = 2 \cdot \left| \int_0^{+\infty} Z_a(x, t) dx \right| \text{ где } x = \pm x_0 \text{ - точки}$$

пересечения графика функции с горизонтальной осью, т.е. $Z_a(\pm x_0, t) = 0$

Все вышеперечисленные свойства функции относятся к кинематике задачи о медленном подъеме легких веществ – вверх, а тяжелых – вниз.

Общий вид искомой функции $Z_a(x, t)$, удовлетворяющей всем вышеперечисленным условиям, можно записать следующим образом:

$$Z_a(x,t) = \psi(t) \cdot \exp(-\varphi(t) \cdot x^2) \cdot [1 - b(t) \cdot x^{2n}], \quad (1)$$

где $\psi(t)$, $\varphi(t)$, $b(t)$ пока неизвестная функция времени, n – целое число ($n = 1, 2, 3, \dots$), а также $\varphi(t) > 0$. Функция (1) справедлива для местного возвышения. Если рассматривать локальное проседание, то знак перед ним будет отрицательным.

Из условия равенства интегралов нулю (условие 5) можно получить связь между функциями $\varphi(t), b(t)$ и параметром n :

$$b(t) = \frac{[2 \varphi(t)]^n}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n - 1)} \quad (2)$$

Тогда формула (1) может иметь другой вид

$$Z_a(x,t) = \psi(t) \cdot \exp[-\varphi(t) \cdot x^2] \cdot \left\{ 1 - \frac{[2 \cdot \varphi(t) \cdot x^2]^n}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2 \cdot n - 1)} \right\} \quad (3)$$

и искомая функция будет зависеть от двух неизвестных функций $\psi(t), \varphi(t)$, а также от параметра n . Функция $\psi(t)$ определяет закон движения центра возвышения (в $x = 0$) и амплитуду возвышения вершины ее графика. Если рассматривать возвышение, то $\psi(t) > 0$, наоборот, если оседание, то $Z_a(x,t)$.

Из формулы (1) следует, что нулевое значение функции $Z_a(x,t)$ достигается в двух точках - x_0 и $+x_0$, расположенных симметрично относительно ординаты:

$$10-- x_0 = \frac{[1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n - 1)]^n}{\sqrt{2 \cdot \varphi(t)}} \quad (4)$$

Отсюда видно, что точки $x = x_0$ являются «подвижными», т. е. зависят от значения функции $\varphi(t)$. Чем ниже значение $\varphi(t)$, тем больше значение x_0 и наоборот. Это означает, что функция $\varphi(t)$ описывает «ширину» графика функции $Z_a(x,t)$ в горизонтальном направлении.

Сказанное выше означает, что связь между функциями существует $\psi(t)$ и $\varphi(t)$ ее необходимо определять из динамических условий задачи о гидродинамической неустойчивости высоковязких жидкостей, когда нижний слой имеет меньшую плотность, чем плотность верхнего слоя.

некоторые свойства функции $Z_a(x, t)$ для случая $n = 1$

Пусть параметр $n = 1$. В этом случае первая функция $Z_a(x, t)$ семейства (3) будет иметь вид

$$Z_a(x, t) = \psi(t) \cdot \exp[-\varphi(t) \cdot x^2] \cdot [1 - 2 \cdot \varphi(t) \cdot x^2] \quad (5)$$

Первая частная производная этой функции по времени t определяется как:

$$\frac{\partial Z_a}{\partial t} = \exp[-\varphi(t) \cdot x^2] \cdot \{[\psi''(t) - \psi(t) \cdot \varphi'(t) \cdot x^2] \cdot [1 - 2 \cdot \varphi(t) \cdot x^2] - 2 \cdot \psi(t) \cdot \varphi'(t) \cdot x^2\} \quad (6)$$

Теперь вам нужно найти его первую и вторую производные по x :

$$\frac{\partial Z_a}{\partial x} = 2 \cdot \psi(t) \cdot \varphi(t) \cdot \exp[-\varphi(t) \cdot x^2] \cdot [2 \cdot \varphi(t) \cdot x^2 - 3 \cdot x]; \quad (7)$$

Мы можем показать, что эта функция $Z_a(x, t)$ удовлетворяет следующим свойствам.

Свойство 1. В точке $x_1 = 0$ достигается максимум функции $Z_a(x, t)$. Здесь его максимальное значение равно $\max Z_a(0, t) = \psi(t)$.

Действительно, условия максимума в этой точке выполняются. Фактически в этот момент его первая производная по x равна нулю (необходимое условие), а вторая производная отрицательна, если

$$\psi(t) > 0 \quad (\text{достаточное условие}).$$

Свойство 2. Аналогично можно показать, что в точках $x_{2,3} = \pm \sqrt{1,5 \cdot \varphi(t)}$ достигается минимум

$$\text{функции } \min Z_a(x, t) = 0,431 \cdot \psi(t).$$

Свойство 3. Функция $Z_a(x, t)$ равна нулю в двух точках:

$$x_{4,5} = \pm \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \varphi(t)}} \approx \pm \frac{0,71}{\sqrt{\varphi(t)}}$$

Свойство 4. Функция $Z_a(x, t)$ имеет четыре точки перегиба:

$$x_{6,7} = \pm \sqrt{\frac{3 + \sqrt{6}}{2 \cdot \varphi(t)}} \approx \pm \frac{1,65}{\sqrt{\varphi(t)}}; x_{8,9} = \pm \sqrt{\frac{3 - \sqrt{6}}{2 \cdot \varphi(t)}} \approx \pm \frac{0,5246}{\sqrt{\varphi(t)}}.$$

Таким образом, график функции характеризуется девятью точками.

Координаты этих точек зависят от времени t и их значения изменяются одновременно со временем (рис. 1).

Аналитическое решение задачи.

На основе анализа результатов исследований Рамберга [17] и Говарда [18] получен вид функции, достаточно точно описывающий границу между поднимающимися (легкими) веществами и более тяжелыми верхними

веществами. $Z_a(x, t)$ Однако результаты этих исследований не могут учитывать динамику процесса, поэтому переменная t в функции $Z_a(x, t)$ играла роль некоторого параметра. При этом зависимость функции от времени явно не определена. Следовательно, функция $Z_a(x, t)$ определяется в зависимости от неизвестных функций $\varphi(t)$ и $\psi(t)$. Эти функции могут определять динамику рассматриваемого процесса, однако опубликованная информация не отражает природу этих функций. Для определения неизвестных функций $\varphi(t)$ и $\psi(t)$ требуется сформулировать и решить задачу гидродинамической устойчивости в двухслойных высоковязких жидкостях, когда плотность нижнего слоя меньше плотности верхнего слоя.

Рассмотрим два слоя высоковязких жидкостей, для которых числа Рейнольдса будут малы. Предполагается, что плотность ρ_1 нижнего слоя меньше плотности ρ_2 верхнего слоя. Верхняя поверхность верхнего слоя считается свободной, а нижняя (основание) нижнего слоя – стационарной поверхностью. На граничной поверхности между слоями выполняются условия непрерывности и равенства скоростей.

Для этих слоев предполагается признание «мелкой воды», когда амплитуды локальных подъемов и опусканий границ слоев сравнимы с их средней мощностью (вертикальным размером) и малы по сравнению с горизонтальными размерами. Любое нарушение состояния равновесия на границе слоев является причиной движения в слоях. Движение в этих слоях происходит за счет разницы плотностей слоев. В [22] получена система дифференциальных уравнений для граничных поверхностей: $z = \xi_1(x, t)$ – граница между слоями; $z = \xi_2(x, t)$ – свободная поверхность верхнего слоя. Оно представляет собой систему двух уравнений в частных производных параболического типа второго порядка:

$$\frac{\partial \xi_1}{\partial t} = -a_1^2 \cdot \frac{\partial^2 \xi_1}{\partial x^2} + a_3^2 \frac{\partial^2 \xi_2}{\partial x^2}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial \xi_2}{\partial t} = -\frac{a_1^2}{2} \cdot (3h_2 - h_1) \cdot \frac{\partial^2 \xi_1}{\partial x^2} + a_2^2 \cdot \frac{\partial^2 \xi_2}{\partial x^2}. \quad (8)$$

Здесь мы используем следующие обозначения констант:

$$a_1^2 = \frac{ER}{3} \cdot \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \cdot h_1^3,$$

$$a_2^2 = \frac{ER}{3} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot [h_2^3 + (h_2 - h_1)^3 \cdot \left(\frac{\eta_1}{\eta_2} - 1\right)]$$

$$a_3^2 = \frac{ER}{6} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot (3h_2 - h_1) \cdot h_1^2.$$

В этой формуле указаны:

h_1 – безразмерная начальная емкость (толщина) нижнего слоя;

$h_2 - h_1$ – толщина верхнего слоя;

η_1, η_2 – динамические коэффициенты вязкости нижнего и верхнего

слоев соответственно; $ER = \frac{\rho_1 g H^3}{\eta_1 U L}$ – безразмерный параметр (число Ержанова);

U, H, L – принятые характеристические значения: скорость, толщина и горизонтальный размер соответственно; g – ускорение силы тяжести.

В данной работе предложено аналитическое решение данной системы уравнений, имеющее следующий вид:

$$\xi_1(x, t) = \frac{A}{\sqrt{(B^2 - 4 \cdot a^2 \cdot t)^3}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{B^2 - 4 \cdot a^2 \cdot t}\right) \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot x^2}{B^2 - 4 \cdot a^2 \cdot t}\right) \quad (9)$$

В приведенной формуле a^2 – постоянный параметр, зависящий от свойств рассматриваемых слоев высоковязких жидкостей. Оно определяется следующей формулой [22]:

$$a^2 = \frac{a_1^2 - a_2^2 + \sqrt{(a_1^2 + a_2^2)^2 - 2a_1^2 a_3^2 (3h_2 - h_1)}}{2}, \quad (10)$$

Это решение записано в общем виде; это зависит от неизвестных констант и интегрирования A и B . Легко видеть, что функция (9) удовлетворяет всем свойствам функции, $Z_a(x, t)$ описанной в предыдущем абзаце.

Следовательно, следующее уравнение: $Z_a(x, t) = \xi_1(x, t)$ можно записать с точностью до постоянного значения.

Удовлетворение этого уравнения позволяет определить функции $\varphi(t)$ и $\psi(t)$:

$$\varphi(t) = \frac{1}{B^2 - 4 \cdot a^2 \cdot t}, \quad \psi(t) = \frac{A}{\sqrt{(B^2 - 4 \cdot a^2 \cdot t)^3}}. \quad (11)$$

Таким образом, получено решение задачи определения вида функции, описывающей подъем легких мантийных веществ под влиянием разностей плотностей, возникающих из-за высоких температур в нижней мантии.

Анализ решения задачи приводит к следующим выводам:

1. При увеличении разницы относительной плотности рассматриваемых

слоев $\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}$

поднимающиеся вещества нижнего слоя будут активно влиять на движение верхнего слоя и способствовать поднятию свободной поверхности нижнего слоя. Верхний слой. В зависимости от значений этой величины амплитуда возвышения свободной поверхности составляла примерно от 3 до 10 % амплитуды граничной поверхности между слоями.

2. За счет увеличения отношения динамической вязкости нижнего слоя к

динамическому коэффициенту верхнего слоя $\frac{\eta_1}{\eta_2}$

(при малой вязкости верхнего слоя) вещества верхнего слоя успевают растекаться в горизонтальном направлении и свободно поверхность слоя изменится незначительно.

3. Полученная функция $Z_a(x, t) = \xi_1(x, t)$ определяет поведение локальных субастеносферных пограничных поднятий в результате поднятия мантийного вещества из глубин Земли в «начальный период» мантийного диапиризма.

Закключение

В данной работе решена задача, связанная с определением верхней границы процесса изменения восходящего мантийного потока под воздействием перепадов плотности, которые привели к гидродинамической неустойчивости в астеносферном слое Земли. На основе анализа информации, имеющейся в геологической и геофизической литературе [1-18], $Z_a(x, t)$ установлены основные свойства функции, описывающей рассматриваемый процесс. Аналитическое решение математической задачи, полученное путем механико-математического моделирования, позволило получить функцию, свойства которой полностью соответствуют физической природе процесса гидродинамической неустойчивости в двухслойных высоковязких жидкостях. Функция, полученная в результате аналитического решения этой задачи, достаточно хорошо согласуется с результатами, опубликованными в [17,18].

Практическая ценность полученной функции состоит в том, что она достаточно хорошо описывает кинематику процесса возникновения и эволюции соляных куполов или мантийного диапиризма. Использование такой функции может быть полезно при изучении динамики таких процессов. Функцию можно использовать как для описания отдельного локального купола, так и для описания восходящего мантийного потока под рифтами и срединно-океаническими хребтами. Возможность определения функции через некоторые характерные точки облегчает измерение современных движений земной коры в районах поднятия или опускания земной поверхности.

Вывод

Предсказать начало землетрясения очень сложно. Предложенная функция полезна для аппроксимации результатов наблюдений или экспериментальных данных при изучении явления гидродинамической неустойчивости, далее можно использовать для объяснения механизма подъема соляного купола, и она также предназначена для предупреждения о неизбежном землетрясении за несколько секунд после обнаружения небольших смещений земной коры.

ЛИТЕРАТУРА

Хайн В.Е. (2003). Основные проблемы современной геологии М.: Научный мир, — 2003. — 348 с.

Белоусов В.В. (1991). Тектоносфера Земли: взаимодействие верхних мантии и коры. — М.: Недра, —1991. — 428 с.

Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. (2001). Глубинная геодинамика – Новосибирск: — 2001. — 409 с.

Ержанов Ж.С. (1964). Теория использования честных горных пород и ее приложений. — Алма-Ата: Наука, — 1964. — 200 с.

Уолкотт Р.Дж. (1970). Гибкая жесткость, мощность и вязкость литосферы // Журнал геофизических исследований. — 1970. — Том. 75. — С. 3941–3954.

Раналли Г. (1993). Вязкость астеносферы // Природа (Гр. Бр.). — 1993. — Том. 361. — № 6409. — С. 211.

Биллс Брюс Г., Гурри Дональд Р., Маршалл Грант А. (1994). Оценки вязкости земной коры и верхней мантии по закономерностям деформации озерной береговой линии в Восточном Большом бассейне // Журнал геофизических исследований, Б. — 1994. — 99. — Том 11. — С. 46–58.

Де Бремахер Дж.К. (1977). Океаническая литосфера упругая или вязкая // Журнал геофизических исследований. — 1977. — Том 82. — № 14. — С. 234–245.

Кропоткин П.Н. (1996). Тектонические напряжения в земной ядре // Геотектоника. — 1996. — № 2. — С. 9–42.

Пушаровский Ю.М., Меланхолина Е.Н. (1992). Тектоническое развитие Земли. Тихий океан и его обрамление. — М.: Наука, — 1992. — 263 с.

Харпер Дж.Ф. (1978). Астеносферное течение и движение плит // Геофизический Рой. Астрон. Соц. — 1978. — Том 5. — № 1. — С.123–134.

Манглик А., Глико А.О., Сингх Р.Н. (1995). Движение границы раздела литосфера-астеносфера в ответ на эрозию утолщенной континентальной литосферы: подход движущейся границы // Geophysical Journal Int. — 1995. — Vol. 122. — С. 479–488.

Лопес Дэвид Э. (1991). Мантийные плюмы // Тектонофизика. — 1991. — Вып. 187. — № 4. — С. 373–384.

Тычков С.А., Василевский А.Н., Рычкова Е.В. (1999). Эволюция плюмы под континентальной

литосферой с резкими изменениями глубины // Геология и геофизика. — 1999. — Т. 40. — № 8. — С.1182–1196.

Накадо Масао, Такэда Ёситака (1995). Роль мантийного диапира и пластичной нижней коры в островной тектонике // Тектонофизика —1995. — Том. 246. — С. 1–3.

Налпас Т., Брем Дж. П. (1993). Соляноцветковый диапиризм, связанный с растяжением на кристаллическом уровне // Тектонофизика. — 1993. — Вып. 228. — С. 3–4.

Харбух Дж., Бонэм-Картер Г. (1974). Моделирование по ЭВМ в геологии. — М.: Мир, — 1974. — 319 с.

Рамберг Х. (1985). Сила тяжести и перемен в земном ядре. — М.: Недра, — 1985. — 399 с.

Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. (1972). Проблемы гидродинамики и их математические модели. — М.: Наука, — 1972. — 416 с.

Тихонов А.Н., Самарский А.А. (1977). Уравнения математической физики. — М.: Наука, — 1977. — 736 с.

Ладыженская С.А., Солонникова В.А., Уральцева Н.Н. (1967). Линейные и квазилинейные уравнения параболического типа. — М.: Наука, — 1967. — 736 с.

Куралбаев З.К. (2005). Модельное исследование влияния поднятия мантийного материала на тектоносферу // Научный вестник Новосибирского технического университета — 2005. — №1(19). — С. 37–49.

Куралбаев З.К. (2007). Проблемы механико-математического моделирования тектонических процессов в периферийных слоях Земли // Механика и машиноведение. — 2007. — № 1. — С. 67–72.

REFERENCES

Hayn V.E. (2003). Main problems of modern geology — М.: Scientific world, — 2003. — 348 p.
Belousov V.V. (1991). Earth's tectonosphere: interaction of the upper mantle and crust. — М.: Nedra, — 1991. — 428 p.

Dobretsov N.L., Kirdyashkin A.G., Kirdyashkin A.A. (2001). Deep geodynamics. — Novosibirsk: — 2001. — 409 p.

Erzhanov Zh.S. (1964). The theory of using fair rocks and its applications. — Alma-Ata: Science, — 1964. — 200 p.

Walcott R.J. (1970). Flexible rigidity, thickness and viscosity of the lithosphere // Journal of Geophysical Research. — 1970. — Vol. 75. — Pp. 3941–3954.

Ranalli G. (1993). Viscosity of the asthenosphere // Nature (Gr. Br.). — 1993. — Vol. 361. — No. 6409. — P. 211.

Bills Bruce G., Gurry Donald R., Marshall Grant A. (1994). Estimates of the viscosity of the earth's crust and upper mantle from patterns of lake shoreline deformation in the Eastern Great Basin // Journal of Geophysical Research, B. — 1994, — 99. — Vol. 11. — Pp. 46–58.

De Bremacher J.K. (1977). Oceanic lithosphere elastic or viscous // Journal of Geophysical Research. — 1977. — Vol. 82. — No. 14. — Pp. 234–245.

Kropotkin P.N. (1996). Tectonic stresses in the earth's core // Geotectonics. — 1996. — No. 2. — Pp. 9–42.

Pushcharovsky Yu.M., Melankholina E.N. (1992). Tectonic development of the Earth. The Pacific Ocean and its Frame. — М.: Nauka, — 1992. — 263 p.

Harper J.F. (1978). Asthenospheric flow and plate motion // Geophysical Swarm. Astron. Social — 1978. — Vol. 5. — No. 1. — Pp.123–134.

Manglik A., Gliko A.O., Singh R.N. (1995). Movement of the lithosphere-asthenosphere interface in response to erosion of thickened continental lithosphere: a moving boundary approach // Geophysical Journal Int. — 1995. — Vol. 122. — Pp. 479–488.

Lopez David E. (1991). Mantle plumes // Tectonophysics. — 1991. — Issue. 187. — No. 4. — P. 373–384.

Tychkov S.A., Vasilevsky A.N., Rychkova E.V. (1999). Evolution of a plume under the continental

lithosphere with sharp changes in depth // *Geology and Geophysics*. — 1999. — T. 40. — No. 8. — Pp. 1182–1196.

Nakado Masao, Takeda Yoshitaka (1995). The role of the mantle diapir and plastic lower crust in island tectonics // *Tectonophysics* — 1995. — Vol. 246. — Pp. 1–3.

Nalpas T., Brem J.P. (1993). Salt-floral diapirism associated with extension at the crystalline level // *Tectonophysics*. — 1993. — Issue. 228. — Pp. 3–4.

Harbuch J., Bonham-Carter G. (1974). *Computer modeling in geology*. — M.: Mir, — 1974. — 319 p.

Ramberg H. (1989). *Gravity and change in the earth's core*. — M.: Nedra, — 1985. — 399 p.

Lavrentyev M.A., Shabat B.V. (1972). *Problems of hydrodynamics and their mathematical models*. — M.: Nauka, —1972. — 416 p.

Tikhonov A.N., Samarsky A.A. (1977). *Equations of mathematical physics*. — M.: Nauka, — 1977. — 736 p.

Ladyzhenskaya S.A., Solonnikova V.A., Uraltseva N.N. (1967). *Linear and quasilinear equations of parabolic type*. — M.: Nauka, — 1967.—736 p.

Kuralbaev Z.K. (2005). Model study of the influence of uplift of mantle material on the tectonosphere // *Scientific Bulletin of the Novosibirsk Technical University* — 2005. — No. 1 (19). — Pp. 37–49.

Kuralbaev Z.K. (2007). Problems of mechanical-mathematic modeling of tectonic processes in the peripheral layers of the Earth // *Mechanics and mechanical engineering*. — 2007. — No. 1. — Pp. 67–72.

МАЗМҰНЫ

| | |
|--|-----|
| Г.Б. Абдикеримова, Р.М. Аманов, Г.Т. Азиева, А.М. Заманбекова, Қ. Жеңсқанқызы <i>МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, АККОРДТЫ ТАҢУ ТАПСЫРМАСЫНДАҒЫ ДЫБЫСТЫ ӨҢДЕУ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ</i> | 7 |
| Л.А. Абдыкеримова, Г.Е. Мырзабекова, Г.С. Омарова, Л. Ақзуллақызы, Г.Ш. Мусагулова ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ЖҮРЕК ПАТОЛОГИЯСЫН АНЫҚТАУ..... | 21 |
| А.Е. Әбжанова, Е.Ә. Әбжанов, А.А. Мырзамуратова, А.Г. Батырханов, А.Б. Бексейтова ҚАШЫҚТАН ЗОНДТАУ АРҚЫЛЫ АЛЫНҒАН ТОПЫРАҚ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫ..... | 35 |
| У.Ж. Айтимова, М.Ж. Айтимов, Э.Н. Тулегенова, А.У. Есиркепова, Ж.Т. Абилдаева СУРЕТТЕН ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ АРҚЫЛЫ ӨРТ ОШАҒЫН АНЫҚТАУ..... | 50 |
| К.М. Алдабергенова, М.Ж. Жасұзақова, М.Ж. Айтимов, Н.Т. Мұстафаева, К.К. Дауренбеков АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫН ЦИФРЛАНДЫРУ: ДАМУ МҮМКІНДІКТЕРІ МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ..... | 64 |
| А.С. Баегизова, Г.И. Мухамедрахимова, Ж.Б. Ламашева, А.З. Абдрахманова, Т.Т. Оспанова ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН КЕСКІННІҢ САПАСЫН ЖАҚСARTУ..... | 78 |
| Г.Т. Бекманова, А.С. Омарбекова, М.А. Кантуреева, Н.О. Байгабылов, М.М. Құдабеков ӘЛЕУМЕТТАНУЛЫҚ САУАЛНАМАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДЕГІ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР..... | 91 |
| М.Ә. Берсүгір, Г.У. Маматова, А.А. Нурпейсова, М.Б. Онгарбаева, Ж.Т. Алтынбекова ТЕКСТУРАЛЫҚ ТИПТЕГІ СУРЕТТЕРДІ ЖАҚСARTУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ..... | 104 |
| М.А. Болатбек, К.Д. Байсылбаева, М. Сағынай, Ш.Ж. Мусиралиева, А.Н. Жумаханова ИНТЕРНЕТ КЕҢІСТІГІНДЕГІ ЖАСТАРҒА БАҒЫТТАЛҒАН ДЕСТРУКТИВТІ МӘТІНДЕРДІ ЖИНАҚТАУҒА ҚАЖЕТТІ ПАРСЕР БАҒДАРЛАМАСЫН ӨЗІРЛЕУ..... | 117 |
| М.Қ. Болсынбек, Г.Б. Абдикеримова, Г.С. Омарова, А.Б. Остаева, А.Г. Батырханов ТОПЫРАҚ ДАЙЫНДАУДЫ БОЛЖАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ПАЙДАЛАНУ..... | 132 |
| Ш.К. Ележанова, А.Г. Батырханов, А.Е. Чукуров, Б.С. Хайржанова, Д.А. Тагиев АҚПАРАТТЫҚ БЕЛГІСІЗДІК ТИПОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫ ІЗДЕУ ТҮРЛЕРІ..... | 151 |
| М.М. Есмагамбетова, Т.Т. Оспанова, Л.К. Бобров, Т.Л. Тен, Т.У. Есмагамбетов ҒАРЫШТЫҚ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАРДЫ БАҚЫЛАУ КЕСКІНДЕРІН ӨҢДЕУДЕ ТҮСТЕРДІ ӨЛШЕУ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚҰРАЛЫН ТАҢДАУ..... | 161 |

| | |
|---|-----|
| Т.К. Жукабаева, А. Адамова, Б.А. Ху Вен-Цен, Е.М. Марденов, Л.З. Жолшиева СЫМСЫЗ СЕНСОР ЖЕЛІСІНДЕГІ SYBIL ЖӘНЕ WORMHOLE ШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ..... | 171 |
| А.А. Исмаилова, Ж.Т. Бельдеубаева, А.А. Нурпейсова, Г.О. Исакова, Ж.З. Жантасова ӨСІМДІК АУРУЛАРЫН ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ АРҚЫЛЫ АНЫҚТАУ..... | 184 |
| А.Х. Касымова, М.Б. Есенова, М.У. Худойберганов, А.Б. Остаева, М.Г. Байбулова ДАҚЫЛДАРДЫҢ АУРУЛАРЫН ЖІКТЕУ ҮШІН ТЕРЕҢ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІН ҚОЛДАНУ..... | 198 |
| А.Ұ. Мұхиядин, М.У. Мукашева, У.Т. Махажанова, А.А. Муханова, Ж.Б. Ламашева ПРОГРАММАЛЫҚ ҚҰРАЛДАР КӨМЕГІМЕН ЭКСТРЕМАЛДЫ ҚАШЫҚТЫҚТАН ОҚЫТУДЫҢ ОҚУШЫЛАРҒА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ..... | 209 |
| Б.Б. Оразбаев, Л.Т. Салыбек, К.Н. Оразбаева, Ш.К. Коданова, С.Ш. Исакова МҰНАЙДЫ АЛҒАШҚЫ ӨНДЕУДЕ ЭЛЕКТРОТҰЗСЫЗДАНДЫРЫРУ ЖӘНЕ СУСЫЗДАНДЫРУ ПРОЦЕССТЕРІН ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ ҮШІН МОДЕЛЬДЕР ҚҰРУ ТӘСІЛІ..... | 224 |
| С.К. Серикбаева, М.Қ. Болсынбек, А.Д. Абдувалова, А.Т. Абдыхалық, Д.Е. Ануарбек ТОПЫРАҚ САПАСЫН БОЛЖАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУ: АЛГОРИТМДЕР МЕН ӘДІСТЕР..... | 237 |
| А.Ж. Танирбергенов, Ж.К. Тасжурекова, С.К. Серикбаева, А.А. Шораев, А.Д. Абдувалова ТОЛЫҚ МӘТІНДІ ҚҰЖАТТАРДЫ ІЗДЕУДІҢ МОДЕЛІ МЕН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ ӘДІСТЕРІ..... | 253 |
| А.Ә. Таурбекова, Ө.Ж. Мамырбаев, К.Ж. Тұрғанбай СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТТІ БАҒАЛАУ ҮШІН ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ ТҰРАҚСЫЗДЫҚ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ..... | 268 |
| Н. Т. Тұржанов, Ш. К. Ележанова, С. Н. Идрисов, Ж. К. Дюсембина АҚПАРАТТЫҚ ҮДЕРІСТЕРДІҢ РЕИНЖИНИРИНГІНІҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ КУРСЫН ӘЗІРЛЕУ..... | 290 |
| В. Шевцов, А. Исмаилова, Ж. Белдеубаева, А. Сатыбалдиева, А. Нурпейсова МЛВА ГЕНОТИПТЕУДІҢ ӘДІСІ ЖӘНЕ ОНЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ АЛГОРИТМДЕРІ РЕТІНДЕГІ ГЕНОМДЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ ПАЙДАЛАНУ..... | 300 |
| А.Ә. Шекербек, А.А. Некесова, Ж.Ж. Молдашева, А.И. Онгарбаева, А.О. Тохаева ФРАКТАЛДЫҚ ӘДІСПЕН ӨКПЕНІҢ ПАТОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫН ТАЛДАУ..... | 313 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| Г.Б. Абдикеримова, Р.М. Аманов, Г.Т. Азиева, А.М. Заманбекова, К. Женсканкызы СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЗВУКА В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ АККОРДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ..... | 7 |
| Л.А. Абдыкеримова, Г.Е. Мурзабекова, Г.С. Омарова, Л. Акзуллакызы, Г.Ш. Мусагулова ОБНАРУЖЕНИЕ СЕРДЕЧНОЙ ПАТОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ..... | 21 |
| А.Е. Абжанова, Е.А. Абжанов, А.А. Мырзамуратова, А.Г. Батырханов, А.Б. Бексейтова ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ, ПОЛУЧЕННАЯ ДИСТАНЦИОННЫМ ЗОНДИРОВАНИЕМ..... | 35 |
| У.Ж. Айтимова, М.Ж. Айтимов, Э.Н. Тулегенова, А.У. Есиркепова, Ж.Т. Абилдаева ОБНАРУЖЕНИЕ ОЧАГОВ ПОЖАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ..... | 50 |
| К.М. Алдабергенова, М.Ж. Жасузакова, М.Ж. Айтимов, Н.Т. Мустафаева, К.К. Дауренбеков ЦИФРОВИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ..... | 64 |
| А.С. Баегизова, Г.И. Мухамедрахимова, Ж.Б. Ламашева, А.З. Абдрахманова, Т.Т. Оспанова УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ..... | 78 |
| Г.Т. Бекманова, А.С. Омарбекова, М.А. Кантуреева, Н.О. Байгабылов, М.М. Кудабеков ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ОПРОСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ..... | 91 |
| М.А. Берсугир, Г.У. Маматова, А.А. Нурпейсова, М.Б. Онгарбаева, Ж.Т. Алтынбекова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕКСТУРНОГО ТИПА..... | 104 |
| М.А. Болатбек, К.Д. Байсылбаева, М. Сагынай, Ш.Ж. Мусиралиева, А.Н. Жумаханова РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПАРСЕРА ДЛЯ СБОРА ДЕСТРУКТИВНЫХ ТЕКСТОВ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА МОЛОДЕЖЬ В ИНТЕРНЕТ-ПРОСТРАНСТВЕ..... | 117 |
| М.К. Болсынбек, Г.Б. Абдикеримова, Г.С. Омарова, А.Б. Остаева, А.Г. Батырханов ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ..... | 132 |
| Ш.К. Ележанова, А.Г. Батырханов, А.Е. Чукуров, Б.С. Хайржанова, Д.А. Тагиев ТИПОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И ТИПЫ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ..... | 151 |

| | |
|---|-----|
| М.М. Есмагамбетова, Т.Т. Оспанова, Л.К. Бобров, Т.Л. Тен, Т.У. Есмагамбетов ВЫБОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ЦВЕТОМЕТРИИ В ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ..... | 161 |
| Т.К. Жукабаева, А. Адамова, В.А. Ху Вен-Цен, Е.М. Марденов, Л.З. Жолшиева ОБНАРУЖЕНИЕ SYBIL И WORMHOLE АТАК В БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ..... | 171 |
| А.А. Исмаилова, Ж.Т. Бельдеубаева, А.А. Нурпейсова, Г.О. Исакова, Ж.З. Жантасова ОБНАРУЖЕНИЕ БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ МЕТОДОМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ..... | 184 |
| А.Х. Касымова, М.Б. Есенова, М.У. Худойбергенов, А.Б. Остаева, М.Г. Байбулова ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ БОЛЕЗНЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР..... | 198 |
| А.У. Мухиядин, М.У. Мукашева, У.Т. Махажанова, А.А. Муханова, Ж.Б. Ламашева ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА УЧАЩИХСЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ..... | 209 |
| Б.Б. Оразбаев, Л.Т. Салыбек, К.Н. Оразбаева, Ш.К. Коданова, С.Ш. Исакова МЕТОД РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРООБЕССОЛИВАНИЯ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТИ..... | 224 |
| С.К. Серикбаева, М.К. Болсынбек, А.Д. Абдувалова, А.Т. Абдыхалык, Д.Е. Ануарбек ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПОЧВЫ: АЛГОРИТМЫ И МЕТОДИКИ..... | 237 |
| А.Ж. Танирбергенов, Ж.К. Тасжурекова, С.К. Серикбаева, А.А. Шораев, А.Д. Абдувалова МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА ПОЛНОТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ..... | 253 |
| А.Ә. Taurbekova, O.Zh. Mamyrbayev, K.Zh. Doshtaev, T.K. Eginbaykyzy HYDRODYNAMIC INSTABILITY MECHANISM PROCESS FOR ASSESSMENT SEISMIC ACTIVITY..... | 268 |
| Н.Т. Туржанов, Ш.К. Ележанова, С.Н. Идрисов, Ж.К. Дюсембина РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОГО КУРСА ПО РЕИНЖИНИРИНГУ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ..... | 290 |
| В. Шевцов, А. Исмаилова, Ж. Бельдеубаева, А. Сатыбалдиева, А. Нурпейсова MLVA КАК МЕТОД ГЕНОТИПИРОВАНИЯ И АЛГОРИТМЫ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛНОГЕНОМНЫХ ДАННЫХ..... | 300 |
| А.А. Шекербек, А.А. Некесова, Ж.Ж. Молдашева, А.И. Онгарбаева, А.О. Тохаева АНАЛИЗ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ЛЕГКИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКТАЛЬНОГО МЕТОДА..... | 313 |

CONTENTS

| | |
|--|-----|
| G.B. Abdikerimova, R.M. Amanov, G.T. Azieva, A.M. Zamanbekova, K. Zhengskankyzy COMPARATIVE ANALYSIS OF SOUND PROCESSING METHODS IN THE CHORD RECOGNITION PROBLEM USING MACHINE LEARNING..... | 7 |
| L. Abdykerimova, G. Murzabekova, G. Omarova, L. Akzullakyyzy, G. Mussagulova DETECTION OF CARDIAC PATHOLOGY USING DEEP LEARNING METHODS..... | 21 |
| A.E. Abzhanova, E.A. Abzhanov, A.A. Myrzamuratova, A.G. Batyrkhanov, A.B. Bekseitova SOIL MOISTURE OBTAINED BY REMOTE SENSING..... | 35 |
| U. Zh Aitimova, M.Zh. Aitimov, E.N. Tulegenova, A.U. Yessirkepova, Zh.T. Abildaeva FIRE FOCUS DETECTION USING DEEP LEARNING METHODS FROM IMAGE..... | 50 |
| K.M. Aldabergenova, M.ZH. Zhasuzakova, M.Zh. Aitimov, N.T. Mustafaeva, K.K. Daurenbekov DIGITALIZATION OF AGRICULTURE: OPPORTUNITIES AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT..... | 64 |
| A.S. Baegizova, G.I. Mukhamedrakhimova, Zh.B. Lamasheva, A.Z. Abdrakhmanova, T.T. Ospanova IMPROVE IMAGE QUALITY WITH DEEP LEARNING TECHNIQUES..... | 78 |
| G. Bekmanova, A. Omarbekova, M. Kantureyeva, N. Baigabylov, M. Kudabekov INFORMATION TECHNOLOGIES IN SOCIOLOGICAL SURVEY RESEARCH..... | 91 |
| M.A. Bersugir, G.U. Mamatova, A.A. Nurpeisova, M.B. Ongarbayeva, Zh.T. Altynbekova USING MACHINE LEARNING METHODS TO IMPROVE TEXTURE-TYPE IMAGES..... | 104 |
| M. Bolatbek, K. Baisylbaeva, M. Sagynay, Sh. Mussiraliyeva, A. Zhumakhanova DEVELOPMENT OF A PARSER PROGRAM FOR THE ACCUMULATION OF DESTRUCTIVE TEXTS AIMED AT YOUNG PEOPLE IN THE INTERNET SPACE..... | 117 |
| M. Bolsynbek, G. Abdikerimova, G. Omarova, A. Ostayeva, A. Batyrkhanov APPLICATION OF MACHINE LEARNING TO PREDICT SOIL PREPARATION.... | 132 |
| Sh.K. Yelezhanova, A.G. Batyrkhanov, A.Y. Chukurov, B.S. Khairzhanova, J.A. Taghiyev TYPOLOGY OF INFORMATION UNCERTAINTY AND TYPES OF INFORMATION RETRIEVAL..... | 151 |
| M. Yesmagambetova, T. Ospanova, L. Bobrov, T. Ten, T. Yesmagambetov SELECTION OF COLORIMETRY SOFTWARE TOOLS IN IMAGE PROCESSING OF SPACE MONITORING OF EMERGENCY SITUATIONS..... | 161 |
| T. Zhukabayeva, A. Adamova, B. Khu Ven-Tsen, Y. Mardenov, L. Zholshiyeva DETECTION OF SYBIL AND WORMHOLE ATTACKS IN A WIRELESS SENSOR NETWORK..... | 171 |
| A.A. Ismailova, Zh.T. Beldeubayeva, A.A. Nurpeisova, G.O. Issakova, Zh.Z. Zhantassova | |

| | |
|--|-----|
| DETECTION OF PLANT DISEASES USING DEEP LEARNING METHODS..... | 184 |
| A.K. Kassymova, M.B. Yessenova, M.U. Khudoyberganov, A.B. Ostayeva, M.G. Baibulova | |
| APPLICATION OF DEEP LEARNING ALGORITHMS FOR CLASSIFICATION OF DISEASES OF AGRICULTURAL CROPS..... | 198 |
| A. Mukhiyadin, M. Mukasheva, U. Makhazhanova, A. Mukhanova, Zh. Lamasheva | |
| STUDYING THE EFFECTS OF EXTREME DISTANCE EDUCATION ON STUDENTS USING SOFTWARE TOOLS..... | 209 |
| B. Orazbayev, L. Salybek, K. Orazbayeva, Sn. Kodanova, S. Iskakova | |
| METHOD FOR DEVELOPING MODELS FOR OPTIMIZING PROCESSES OF ELECTRICAL DESALTING AND DEHYDRATION DURING PRIMARY OIL PROCESSING..... | 224 |
| S.Serikbayeva, M.Bolsynbek, A. Abduvalova, A. Abdykhalyk, D. Anuarbek | |
| APPLICATION OF MACHINE LEARNING TO PREDICT SOIL QUALITY: ALGORITHMS AND TECHNIQUES..... | 237 |
| A. Tanirbergenov, Zh. Tashhurekova, S. Serikbayeva, A. Shorayev, A. Abduvalova | |
| METHODS OF CONSTRUCTING A MODEL AND AN INFORMATION SYSTEM FOR SEARCHING FULL-TEXT DOCUMENTS..... | 253 |
| A.Ə. Taurbekova, O.Zh. Mamyrbayev, K.Zh. Doshtaev, T.K. Eginbaykyzy | |
| HYDRODYNAMIC INSTABILITY MECHANISM PROCESS FOR ASSESSMENT SEISMIC ACTIVITY..... | 268 |
| N.T. Turzhanov, Sh.K. Yelezhanova, S.N. Idrissov, Zh.K. Dyusseminina | |
| DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE COURSE REENGINEERING OF INFORMATION PROCESSES..... | 290 |
| V. Shevtsov, A. Ismailova, Zh. Beldeubayeva, A. Satybaldiyeva, A. Nurpeisova | |
| MLVA AS A METHOD OF GENOTYPING AND ALGORITHMS FOR ITS IMPLEMENTATION USING GENOME-WIDE DATA..... | 300 |
| A.A. Shekerbek, A.A. Nekesova, Zh.Zh. Moldasheva, A.I. Ongarbayeva, A. Tokhaeva | |
| ANALYSIS OF PATHOLOGICAL CONDITIONS OF THE LUNG USING THE FRACTAL METHOD..... | 313 |

Publication Ethics and Publication Malpractice the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Подписано в печать 28.12.2023.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

21,0 п.л. Тираж 300. Заказ 4.