

ISSN 2518-170X (Online),
ISSN 2224-5278 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ГЕОЛОГИЯ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР
СЕРИЯСЫ



СЕРИЯ
ГЕОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



SERIES
OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

2 (422)

НАУРЫЗ – СӘУІР 2017 ж.
МАРТ – АПРЕЛЬ 2017 г.
MARCH – APRIL 2017

ЖУРНАЛ 1940 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1940 г.
THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1940.

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р ы

э. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі

И.К. Бейсембетов

Бас редакторының орынбасары

Жолтаев Г.Ж. проф., геол.-мин. ғ. докторы

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Абаканов Т.Д. проф. (Қазақстан)
Абишева З.С. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Алиев Т. проф., академик (Әзірбайжан)
Бакиров А.Б. проф., (Қырғыстан)
Беспәев Х.А. проф. (Қазақстан)
Бишимбаев В.К. проф., академик (Қазақстан)
Буктуков Н.С. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Бұлат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Тәжікстан)
Грэвис Р.М. проф. (АҚШ)
Ерғалиев Г.Х. проф., академик (Қазақстан)
Жуков Н.М. проф. (Қазақстан)
Кенжалиев Б.К. проф. (Қазақстан)
Қожахметов С.М. проф., академик (Қазақстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Ресей)
Курскеев А.К. проф., академик (Қазақстан)
Курчавов А.М. проф., (Ресей)
Медеу А.Р. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Мұхамеджанов М.А. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Нигматова С.А. проф. (Қазақстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Қазақстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Ракишев Б.Р. проф., академик (Қазақстан)
Сейтов Н.С. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Сейтмуратова Э.Ю. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (АҚШ)
Штейнер М. проф. (Германия)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология мен техникалық ғылымдар сериясы».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде 30.04.2010 ж. берілген №10892-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18, <http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Редакцияның Қазақстан, 050010, Алматы қ., Қабанбай батыра көш., 69а.

мекенжайы: Қ. И. Сәтбаев атындағы геология ғылымдар институты, 334 бөлме. Тел.: 291-59-38.

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р

д. э. н., профессор, член-корреспондент НАН РК

И. К. Бейсембетов

Заместитель главного редактора

Жолтаев Г.Ж. проф., доктор геол.-мин. наук

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

Абаканов Т.Д. проф. (Казахстан)
Абишева З.С. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Алиев Т. проф., академик (Азербайджан)
Бакиров А.Б. проф., (Кыргызстан)
Беспаяев Х.А. проф. (Казахстан)
Бишимбаев В.К. проф., академик (Казахстан)
Буктуков Н.С. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Булат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Таджикистан)
Грэвис Р.М. проф. (США)
Ергалиев Г.Х. проф., академик (Казахстан)
Жуков Н.М. проф. (Казахстан)
Кенжалиев Б.К. проф. (Казахстан)
Кожаметов С.М. проф., академик (Казахстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Россия)
Курскеев А.К. проф., академик (Казахстан)
Курчавов А.М. проф., (Россия)
Медеу А.Р. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Мухамеджанов М.А. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Нигматова С.А. проф. (Казахстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Казахстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Ракишев Б.Р. проф., академик (Казахстан)
Сейтов Н.С. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Сейтмуратова Э.Ю. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (США)
Штейнер М. проф. (Германия)

«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

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

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №10892-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

<http://наука-нанрк.kz/geology-technical.kz>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

E d i t o r i n c h i e f

doctor of Economics, professor, corresponding member of NAS RK

I. K. Beisembetov

Deputy editor in chief

Zholtayev G.Zh. prof., dr. geol-min. sc.

E d i t o r i a l b o a r d:

Abakanov T.D. prof. (Kazakhstan)
Abisheva Z.S. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Aliyev T. prof., academician (Azerbaijan)
Bakirov A.B. prof., (Kyrgyzstan)
Bespayev Kh.A. prof. (Kazakhstan)
Bishimbayev V.K. prof., academician (Kazakhstan)
Buktukov N.S. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Bulat A.F. prof., academician (Ukraine)
Ganiyev I.N. prof., academician (Tadjikistan)
Gravis R.M. prof. (USA)
Yergaliev G.Kh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhukov N.M. prof. (Kazakhstan)
Kenzhaliyev B.K. prof. (Kazakhstan)
Kozhakhmetov S.M. prof., academician (Kazakhstan)
Kontorovich A.Ye. prof., academician (Russia)
Kurskeyev A.K. prof., academician (Kazakhstan)
Kurchavov A.M. prof., (Russia)
Medeu A.R. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Muhamedzhanov M.A. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Nigmatova S.A. prof. (Kazakhstan)
Ozdoyev S.M. prof., academician (Kazakhstan)
Postolatii V. prof., academician (Moldova)
Rakishev B.R. prof., academician (Kazakhstan)
Seitov N.S. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Seitmuratova Ye.U. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Stepanets V.G. prof., (Germany)
Humphery G.D. prof. (USA)
Steiner M. prof. (Germany)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences.

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 10892-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev
69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 2, Number 422 (2017), 107 – 115

N. P. Stepanenko, N. P. Belousova, T. M. Kaidash

Institute of Seismology, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: nstep56@mail.ru

**DEVELOPMENT OF THE TWO-DIMENSIONAL DENSITY MODEL
OF THE EARTH'S CRUST AND SUBCRUSTAL MANTLE
OF KAZAKHSTAN**

Abstract. The two-dimensional density models of the Earth's crust and subcrustal mantle of Kazakhstan and adjacent territories in numerical and graphical forms were developed with the method of Seismogravitational Modeling on the basis of materials of basic and applied researches concerning the deep structure and geodynamics of the lithosphere of seismically active and aseismic areas of Kazakhstan. The density model of the lithosphere of Kazakhstan with respect to horizontal and vertical sweep efficiency and volume of the used primary materials has been created for the first time. The technique of seismogravitational simulation is based on the technology of the iterative construction of the two-dimensional density models of gradient-layered medium, basing on detailed speed sections as well as the gravitational effect from the entire studied environment. The description of the four density models designed lengthways profiles located in the Caspian region, in South-East, the central and the northern parts of Kazakhstan. Density models have been described according to structural and compositional complexes of the stratified and geophysical layers of the Earth's crust and the outer mantle. The designed models have made it possible to detail essentially deep structure of geophysical heterogeneities of medium investigated. The features and behavior of density structure of medium investigated were found out based on new results seismogravitational modeling to assess the seismic hazard in Kazakhstan on quantitative geological and geophysical basis. It has been confirmed that density heterogeneities the Earth's crust and the upper mantle of platform and orogenic segments essentially differ from each other. The model is applicable to regional geophysical modeling, enables comparative analysis and interpretation features of the density structure of the crust and the transition zone of the crust-mantle. The model significantly increases the informative value and reliability of the detection of petrophysical, tectonic and geodynamic criteria for generalizations and zoning directed to the problems of forecast of deep-seated deposits of minerals and seismic zoning.

Key words: Earth's crust, active mantle, seismogravitational modeling, gravity field.

УДК 550.834(574)

Н. П. Степаненко, Н. П. Белоусова, Т. М. Кайдаш

Институт сейсмологии, Алматы, Казахстан

**РАЗРАБОТКА ДВУМЕРНЫХ ПЛОТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ
ЗЕМНОЙ КОРЫ И ПОДКОРОВОЙ МАНТИИ КАЗАХСТАНА**

Аннотация. Методом сейсмогравитационного моделирования разработаны двумерные плотностные модели земной коры и подкоревой мантии Казахстана и прилегающих территорий в цифровом и графическом вариантах на основе материалов фундаментальных и прикладных исследований по изучению глубинного строения и геодинамики литосферы сейсмоактивных и асейсмичных районов Казахстана.

Плотностная модель литосферы Казахстана по охвату территории по латерали и вертикали и объему использованных первичных материалов создана впервые. Методика сейсмогравитационного моделирования основана на технологии итерационного построения двумерных плотностных моделей градиентно-слоистой

среды, опирающихся на детальные скоростные разрезы, а также на гравитационный эффект от всей изучаемой среды.

Приводится описание четырех плотностных моделей, построенных вдоль геотраверсов, расположенных в Прикаспии, на юго-востоке, в центральной и северной частях Казахстана.

Плотностные модели описаны в соответствии со структурно-вещественными комплексами стратифицированных и геофизических слоев коры и верхней мантии. Разработанные модели позволили существенно детализировать глубинную структуру геофизических неоднородностей исследуемой среды.

Выявлены особенности и закономерности плотностной структуры исследуемой среды на основе новых результатов сейсмогравитационного моделирования для оценки сейсмической опасности территории Казахстана на количественной геолого-геофизической основе. Подтверждено, что по плотностным неоднородностям земная кора и верхняя мантия платформенных и орогенных сегментов существенно отличаются друг от друга. Модель применима для регионального геофизического моделирования, обеспечивает возможность проведения сопоставительного анализа и интерпретации особенностей плотностной структуры земной коры и зоны перехода кора-мантия. Модель значительно увеличивает информативность и надежность выявления петрофизических, геотектонических и геодинамических критериев при обобщениях и районированиях, направленных на решение задач глубинного прогноза месторождений полезных ископаемых и сейсмического районирования.

Ключевые слова: земная кора, активная мантия, сейсмогравитационное моделирование, поле силы тяжести.

Введение. Плотность, как известно, является одним из важнейших геофизических параметров, характеризующих геологическую среду: все процессы, происходящие внутри и на поверхности нашей планеты, так или иначе связаны с неравновесным распределением масс. Однако, прямому определению данный параметр не всегда поддается. Лишь в верхней части земной коры мы можем измерить плотность по образцам, полученным в пробуренных скважинах. В более глубоких частях Земли она определяется по скоростям сейсмических волн. Новые сейсмические данные, полученные за последние годы, создали основу для построения существенно более детальной модели коры, которая включает распределение плотностей в отдельных ее слоях и может быть использована для гравитационного моделирования.

Для Казахстана изучение глубинного строения литосферы особенно актуально, так как значительная часть его территории, особенно юго-восток, характеризуется высокой сейсмической активностью, а без знания свойств среды, в которой формируются очаги землетрясений, невозможны исследования сейсмического процесса, включающего в себя подготовку и проявление сейсмических событий, а также их прогноз. С этой позиции, в первую очередь, исследования должны включать в себя сейсмогравитационное моделирование на базе инструментальных гравиметрических данных и другой геолого-геофизической информации, важной составляющей которой являются сведения о Р-скоростной структуре исследуемой среды.

Методика сейсмогравитационного моделирования основана на технологии итерационного построения двумерных плотностных моделей сложных градиентно-слоистых сред, опирающихся на детальные скоростные разрезы, а также на гравитационный эффект от всей изучаемой среды. Но если скоростную характеристику горных пород глубинных горизонтов в сейсмологии и сейсмологии можно определять по результатам глубинного сейсмического зондирования и профильной томографии [1, 2], то в гравиметрии на поверхности наблюдений регистрируется только гравитационное влияние совокупности плотностных неоднородностей глубинных толщ. Эти материалы в прямом виде не содержат информации о плотности пород, на их основании можно судить только о качественных отличиях или подобии осредненной плотностной характеристики различных блоков, поэтому для изучения плотности пород всей толщи земной коры и верхней мантии первостепенное значение имеет выявление связи между плотностью ρ и скоростью распространения продольных волн V_p , которые определяются по данным сейсмологии [3-5].

При создании плотностных моделей методом сейсмогравитационного моделирования должен быть выбран единый закон перехода от скорости к плотности. Для земной коры Казахстана, которая является корой континентального типа, принята зависимость [6]:

$$\rho = 2,7 + 0,25(V_p - 6).$$

По этой формуле были вычислены значения плотности для основных геофизических слоев, выделенных в земной коре и верхней мантии Казахстана с использованием скоростных моделей для геотраверсов, расположенных на исследуемой территории. Численные значения скорости и плотности для различных структурных этажей коры и мантии приведены в таблице [7]. Качество

результатов сейсмогравитационного моделирования во многом определяется надежностью решения задач разделения гравитационного поля на составляющие, наилучшим образом отображающие их структурные и плотностные неоднородности.

Структурно-вещественные комплексы консолидированной коры и верхней мантии

Структурно-вещественные комплексы стратифицированных и геофизических слоев коры и верхней мантии			Значения геофизических параметров	
			Скорость V_p , км/с	Плотность ρ , г/см ³
Платформенный чехол	Мезозойско-кайнозойский комплекс		< 4.0	< 2.55
	Палеозойский комплекс		4.0-5.2	2.55
Консолидированная кора	Гранито-гнейсовый (сиалический) верхнекорový слой	Вулканогенно-метаморфический палеозойский комплекс	5.6-6.0	2.65
		Метаморфический комплекс докембрия	6.0-6.4	2.75
	Гранулитогнейсовый (базитовый) среднекорový слой		6.4-6.8	2.85
	Гранулит-базитовый (ультрабазитовый) нижнекорový слой		6.8-7.2	2.95
	Переходный слой от коры к мантии (коромантийная смесь)		> 7.2*	3.05-3.15
	МОХО			
Верхняя мантия	Активная	Для Казахского щита, эпиплатформенных орогенов и впадин	< 8.2*	≥ 3.25
		Для Туранской плиты и Прикаспийской впадины	< 8.0*	
	Нормальная	Для Казахского щита, эпиплатформенных орогенов и впадин	8.2-8.4	3.29
		Для Туранской плиты и Прикаспийской впадины	8.0-8.4	
	Высокоскоростная (высокоплотностная)		> 8.4	3.32-3.35

Процедура разделения наблюдаемого поля силы тяжести на составляющие: региональную, внутрикоровую и локальную выполнена с помощью метода главных компонент [8], алгоритм которого разработан на основе изучения параметров статистической структуры исходной функции [6]. Региональная составляющая поля силы тяжести отражает эффект от коровых и верхнемантийных плотностных тел. Внутрикоровая отображает эффект от тел, расположенных на глубине не более 20 км. Локальная – эффект от приповерхностных объектов, выделенных поверхностной геологией. Глубина их заложения не больше 5–10 км.

На основе скоростных моделей, разработанных для геотраверсов, пересекающих территорию Казахстана и смежные регионы (рисунок 1), учитывая их геометрию, формируются первые варианты (нулевого приближения) будущих плотностных моделей. Плотностной разрез нулевого приближения представляет слоистую модель с постоянной плотностью внутри слоя.

Моделирование выполняется в три этапа. На первом этапе компенсируется региональное поле, отражающее строение коры в целом. Второй этап – моделирование неоднородностей, осложняющих основные слои коры, подбор эффекта внутрикорового поля. На третьем этапе компенсируются мелкие приповерхностные неоднородности, характеризующиеся локальным полем.

Расчеты велись итерационным способом до полного соответствия теоретического и наблюдаемого гравитационного полей, отображающих региональную, внутрикоровую и приповерхностную модели. Итоговая модель получена в результате суммирования взаимосогласованных на количест-

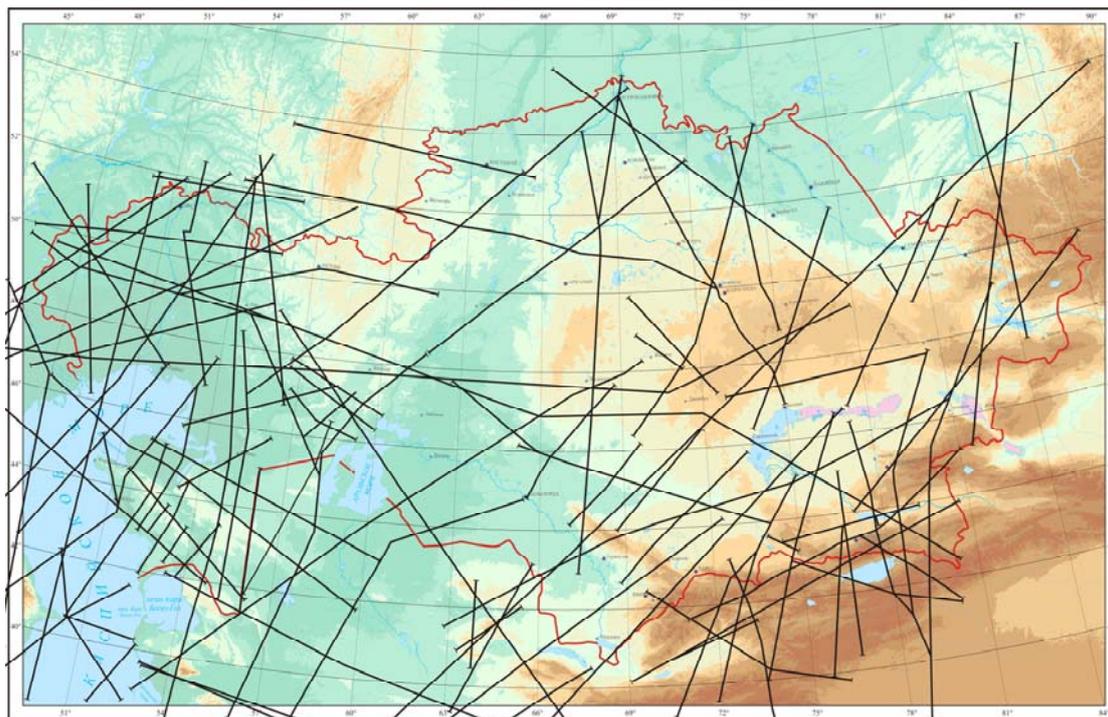


Рисунок 1 – Схема профилей глубинных сейсмических наблюдений и сейсмической томографии на территории Казахстана

Figure 1 – The scheme of profiles of deep seismic observations and a seismic tomography in the territory of Kazakhstan

венном уровне моделей: мантийной, коровой, внутрикоровой и приповерхностной. В результате созданы двумерные плотностные модели земной коры и верхней мантии вдоль 80 геотравверсов, расположенных на территории Казахстана и прилегающих регионах соседних государств (рисунок 1).

Из-за ограниченного объема статьи ниже приводится графическое изображение и описание лишь четырех плотностных моделей для геотравверсов, расположенных на юго-востоке, в Прикаспии, в центральной и северной частях Казахстана в соответствии со структурно-вещественными комплексами стратифицированных и геофизических слоев коры и верхней мантии (см. таблицу).

Геотравверс Арысь-Балхаш (рисунок 2) протяженностью 440 км начинается в Арысской впадине и далее в северо-восточном направлении пересекает горы Каратау, Чуйскую впадину Чу-Илийские горы и заканчивается на северо-западном побережье оз. Балхаш. В верхней части плотностной модели только в пределах Чуйской впадины уверенно выделяется платформенный чехол плотностью $\rho = 2,55 \text{ г/см}^3$ с мощностью 2–3 км. Его небольшой фрагмент также присутствует на границе Чу-Илийских гор и Прибалхашской впадины. Вулканогенно-метаморфический палеозойский комплекс гранито-гнейсового слоя консолидированной коры ($\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$) наиболее четко прослеживается в пределах Арысской, Чуйской, Прибалхашской впадин, где его мощность составляет 5–9 км. В пределах Каратау и Чу-Илийских гор слой выклинивается. Мощность метаморфического комплекса докембрия (слоя ($\rho = 2,75 \text{ г/см}^3$) максимально дифференцирована. Так, в зоне Каратауского антиклинория его мощность увеличена до 24 км, в Чу-Илийском мегантиклинории уменьшается до 10–12 км. В центральной части Чуйской впадины мощность слоя вновь увеличивается до 18–20 км, а под Чу-Илийскими горами и Прибалхашской впадиной она одинакова и составляет 14–15 км.

Максимальная мощность гранулитогнейсового (базитового) слоя ($\rho = 2,85 \text{ г/см}^3$) консолидированной коры до 30 км отмечается в Чу-Илийском мегантиклинории, минимальная – в Прибалхашской впадине (5 км). Ультрабазитовый нижнекоровый слой ($\rho = 2,95 \text{ г/см}^3$) мощностью 5–8 км прослеживается в юго-западной части профиля и до 15 км в его северо-восточной части. Коромантийная смесь ($\rho = 3,05 \text{ г/см}^3$) наиболее значимо присутствует в пределах Чуйской впадины (до 10 км). Значительная по мощности активная мантия ($\rho = 3,25 \text{ г/см}^3$) выявлена в районе Чу-Илийского мегантиклинория, что свидетельствует в пользу его потенциальной сейсмической активности.

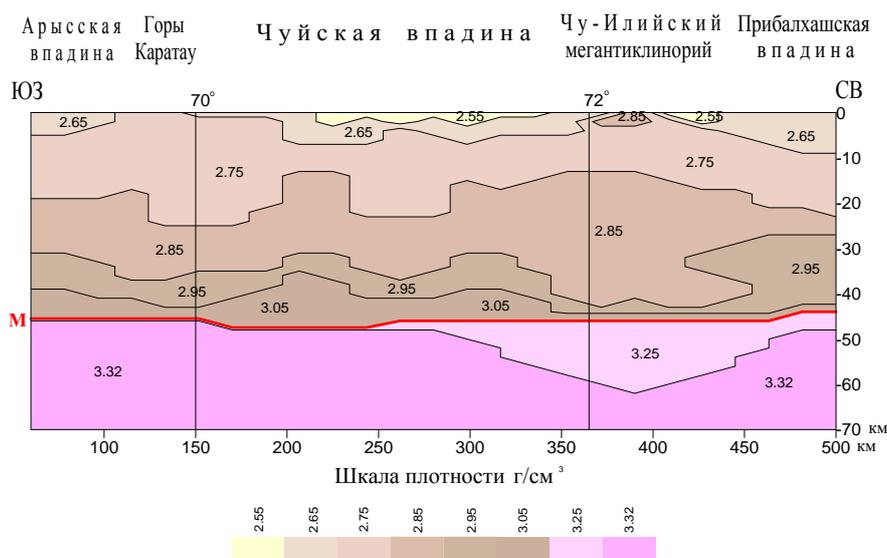


Рисунок 2 – Двумерная плотностная модель вдоль геотранверса Арысь-Балхаш. М – граница Мохо

Figure 2 – Two-dimensional density model lengthways profile Arys-Balkhash. M – Moho boundary

Геотранверс Темиртау-Куйбышев (рисунок 3) начинается на Восточно-Европейской платформе и далее на восток пересекает Уральскую геосинклинальную область, Туранскую платформу, включающую Тургайскую синеклизу, и Казахский щит. Длина профиля 1400 км.

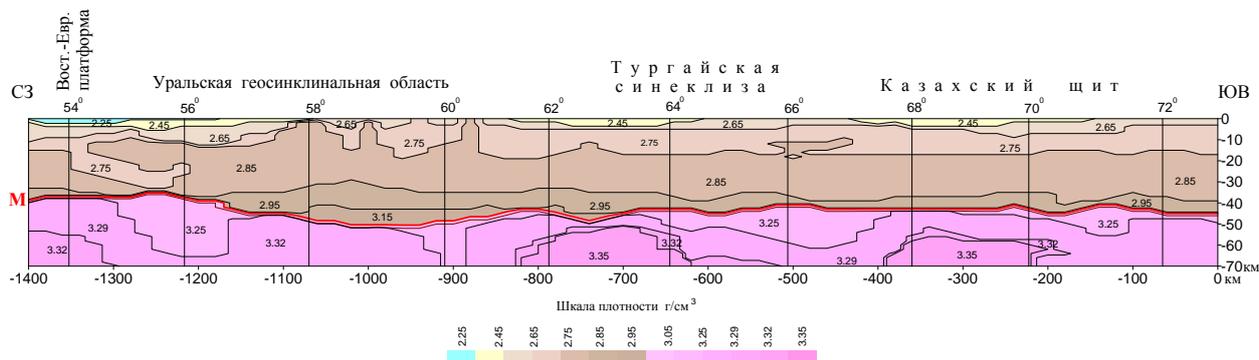


Рисунок 3 – Двумерная плотностная модель вдоль геотранверса Темиртау-Куйбышев. М – граница Мохо

Figure 3 – Two-dimensional density model lengthways profile of Temirtau-Kuibyshev. M – Moho boundary

Платформенные кайнозойские образования ($\rho = 2,25-2,45 \text{ г/см}^3$) из-за малой мощности не выделяются по всему профилю, и лишь на западе Урала, в Тургайской синеклизе и на Казахском щите их мощность достигает 3–5 км.

Консолидированная кора Уральской геосинклинальной структуры имеет мощность около 50 км. Область сочленения Урала с Восточно-Европейской платформой отчетливо фиксируется полого наклонной к востоку зоной сиалического слоя, имеющей продолжение в верхней мантии в виде локального участка активной мантии мощностью до 25 км. Уральская геосинклинальная область занята мощным базитовым слоем, в отдельных выступах доходящим до поверхности. Ультрабазитовый слой заполняет самую глубокую часть коры вместе со слоем коромантийной смеси, их общая мощность около 20 км. Мощность сиалического слоя составляет 10–12 км, базитового около 20 км. Казахский щит характеризуется мощным (до 25 км) базитовым слоем и несколько меньшей мощностью сиалического слоя, достигающей 15 км. Мощность ультрабазитового слоя составляет 10–12 км.

Верхняя мантия хорошо дифференцирована. Участки активной мантии фиксируют границы структур Уральской геосинклинальной области. В пределах Тургайской синеклизы также отмечается увеличение мощности активной мантии до 20 км. Высокоскоростные мантийные выступы наблюдаются на западе Тургайской синеклизы (мощность около 18 км) и в пределах Казахского щита (мощность около 8 км).

В целом, на модели четко выделяются две структурные зоны земной коры. Это Уральская геосинклинальная область и платформенная область Туранской плиты и Казахского щита. Уральская геосинклинальная область, характеризующаяся высокоплотной корой мощностью до 50 км и низкоплотной мантией, может быть отнесена к слабосейсмичной зоне. Земная кора Туранской платформы и Казахского щита, имеющая мощность 40–42 км, подстилается мантией с повышенной плотностью.

По совокупности данных о структуре консолидированной коры и непосредственно подкоровой части мантии, с учетом позиций плюмтектоники [9], можно утверждать, что к умеренно сейсмичным с высокой вероятностью относятся участки литосферы, на которых увеличенные объемы активной мантии сопровождаются высококонтрастными латеральными переходами от высокоплотных выступов к телам пониженной плотности (прогибами или включениями в консолидированной коре). Детализация этих зон в плане возможна при комплексном анализе и картировании изучаемой территории по всем геофизическим признакам сейсмичности, что обычно осуществляется в процессе оценки сейсмической опасности.

Геотраверс Фараб-Бабатаг (рисунок 4) длиной 540 км пересекает с северо-запада Приамударьинское плато и далее простирается на юго-восток по Южно-Тянь-Шаньскому поднятию.

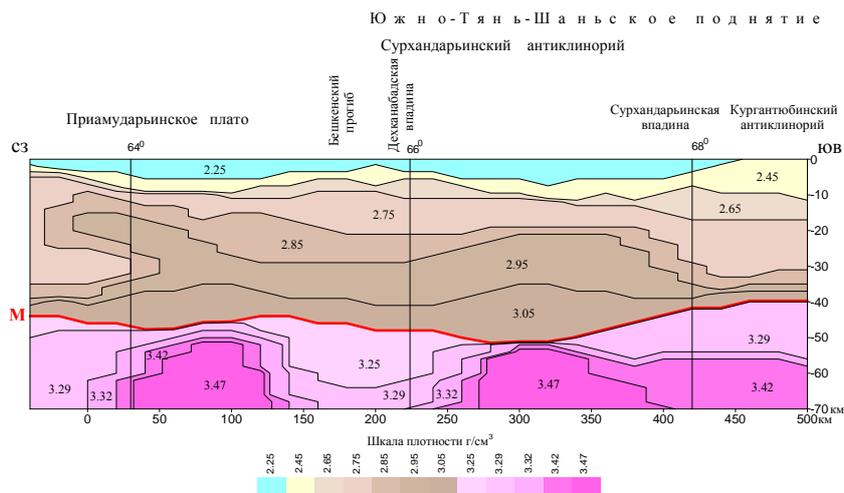


Рисунок 4 – Двумерная плотностная модель вдоль геотраверса Фараб-Бабатаг. М – граница Мохо

Figure 4 – Two-dimensional density model lengthways profile of Farab-Babatag. M – Moho boundary

На плотностной модели геотраверса Фараб-Бабатаг в верхах коры отмечается мощный осадочный слой с плотностью $2,25 \text{ г/см}^3$, достигающий 5–6 км в Амударьинской впадине и в Сурхандарьинском антиклинории. Консолидированная кора имеет довольно сложную структуру по всему разрезу. В начале разреза подошва сиалического слоя аномально опущена почти до подошвы земной коры. Его мощность на этом участке достигает 35 км. На юго-восточном окончании Приамударьинского плато, в Бешкенском прогибе и Дехканабадской впадине наблюдается умеренное опускание подошвы гранито-гнейсового слоя до 8–15 км. В районе Сурхандарьинской впадины и Кургантюбинского антиклинория подошва сиалического слоя вновь опускается до отметки 32 км.

Нижний базитовый слой консолидированной коры характеризуется серией высокоскоростных выступов. На Приамударьинском плато базитовый слой достигает мощности 25–27 км. В центре Южно-Тянь-Шаньского поднятия мощность гранулит-базитового слоя максимальна и составляет 40 км. На отдельных участках разреза в гранулит-базитовом слое выделены большие объемы

коромантийной смеси. Так, например, в центральной части Южно-Тянь-Шаньского поднятия мощность коромантийной смеси достигает 15 км.

Подошва земной коры (М) на профиле Фараб-Бабатаг расположена на глубине 39–50 км. Максимум в 50 км отмечен в центральной части Южно-Тянь-Шаньского поднятия.

Мощность верхней мантии в районе Бешкентского прогиба в подкоровом слое составляет более 25 км, что является типичным для высокосейсмичных орогенов [10, 11]. По обе стороны от него в мантии выделены высокоскоростные выступы со значениями $\rho = 3,47 \text{ г/см}^3$, которые хорошо сочетаются с верхними выступами базитового слоя.

Геотраверс Балхаш-Петропавловск (рисунок 5) длиной 1000 км берет начало от северного побережья озера Балхаш, далее в северо-западном направлении пересекает Казахскую складчатую область, Кокчетавское поднятие и заканчивается на южной периферии Западно-Сибирской плиты. Осадочный чехол практически не выделяется вдоль всего разреза, за исключением небольшого участка Западно-Сибирской плиты, где его мощность не превышает 5 км.

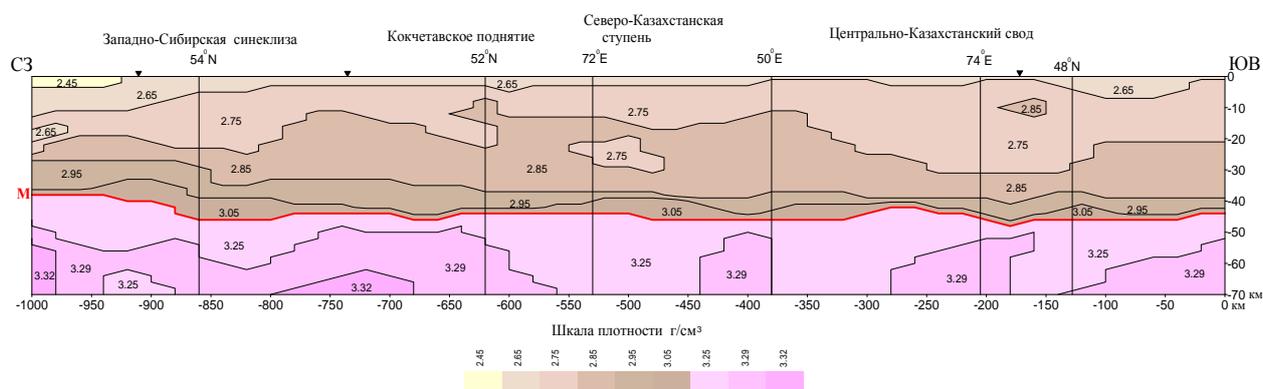


Рисунок 5 – Двумерная плотностная модель вдоль геотраверса Балхаш-Петропавловск. М – граница Мохо

Figure 5 – Two-dimensional density model lengthways profile Balkhash-Petropavlovsk. M – Moho boundary

Консолидированная кора сложной структуры имеет мощность 40–42 км. Сиалический слой в пределах Западно-Сибирской синеклизы достигает 25 км, а в Центральном Казахстане – до 30 км. В центральной части профиля в пределах Кокчетавского поднятия сиалический слой резко сокращается до 10 км. Основную часть объёма коры здесь занимает базитовый слой, достигающий мощности 25–30 км. На северо-западном конце профиля в Западно-Сибирской синеклизе мощность базитового слоя уменьшается до 15 км. На юго-востоке профиля слой также имеет подчинённое значение (10 км), но в Токрауском мегасинклинории мощности слоёв выравниваются, сиалический слой 20 км, базитовый – 25 км. В базитовом слое повсеместно присутствует маломощный слой коро-мантийной смеси, в Западно-Сибирской синеклизе и в Северо-Казахстанской ступени максимальная мощность его 5 км. Верхняя мантия характеризуется пониженной плотностью. Активная мантия присутствует по всей линии разреза. Мощность её составляет в Западно-Сибирской синеклизе 15 км, в Северо-Казахстанской ступени и Токрауском мегасинклинории 25–30 км. Нормальная мантия наблюдается в виде отдельных выступов в Кокчетавском поднятии и Центрально-Казахстанском своде.

Приведенные на рисунках 2–5 результаты плотностного моделирования являются частью плотностной модели литосферы Казахстана, которая по форматам и объёму использованных первичных материалов, переобработанных и обобщенных, создана впервые. Она применима для регионального геофизического моделирования, обеспечивает возможность проведения сопоставительного анализа и интерпретации особенностей плотностной структуры земной коры и зоны перехода кора-мантия по глубине. Это значительно увеличивает информативность и надёжность выявления петрофизических, геотектонических и геодинамических критериев при обобщениях и районированиях, направленных на решение задач глубинного прогноза месторождений полезных ископаемых и сейсмического районирования. Разработанные модели позволили существенно детализировать глубинную структуру геофизических неоднородностей коры и мантии, в том числе в

пределах сейсмогенерирующих зон. Подтверждено, что по плотностным неоднородностям эти геосферы Земли аномально различны для платформенного и орогенного сегментов.

Работа выполнена в рамках гранта №0115PK01901 МОН РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шацеров В.И., Горбунов П.Н., Степаненко Н.П. и др. Скоростные модели земной коры Казахстана. Алматы: ЕВРАЗИЯ, 1993. – 105 с.
- [2] Шацеров В.И., Сайипбекова А.М. Профильная томография литосферы Тянь-Шаня по материалам региональной сейсмологии // Доклады НАН РК. – 1994. – № 6. – С. 47-52.
- [3] Бурьянов В.Б., Гордиенко В.В., Павленкова Н.И. Комплексная геофизическая модель юга Европейской части СССР // Гравитационная модель коры и верхней мантии Земли. – Киев, 1978. – С. 137-149.
- [4] Бурьянов В.Б., Гордиенко В.В., Павленкова Н.И. и др. Плотностные модели тектоносферы континентальных регионов с разными эндогенными процессами // Теория и методика интерпретации гравимагнитных полей. – Киев, 1981. – С. 234-245.
- [5] Сенчин В.Н., Баранов А.А. Оценка глубинного распределения плотности в литосфере Центральной Южной Азии по данным о глубине свободной поверхности мантии // Физика Земли. – 2010. – № 11. – С. 61-68.
- [6] Горбунов П.Н. Новые принципы комплексной интерпретации данных геофизики при изучении тектоносферы Тянь-Шаня // Доклады НАН РК. – 2000. – № 5. – С. 56-60.
- [7] Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана (пояснительная записка к «Геодинамическому атласу Казахстана») / Под ред. Б. С. Ужкенова, Е. Нусипова. – Алматы, 2007. – 410 с.
- [8] Горбунов П.Н., Кленчин А.Н. Методы разделения физических полей и полей концентраций на составляющие путем изучения параметров их статистической структуры. // Системная обработка информации при геохимических поисках залежей нефти и газа. – М.: ВНИИЯГТ, 1979. – С. 35-41.
- [9] Maruyama Sh. Plume tectonics. // Jour. Geol.Soc.Japan. – 1994. Vol. 100, N 1. – P. 24-49.
- [10] Шацеров В.И., Тимуш А.В., Степаненко Н.П., Кайдаш Т.М., Белоусова Н.П. Особенности строения литосферы Тянь-Шаня и прилегающих платформ Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска / Докл. Каз-Росс. конф. 22–24 июня 2004 г. – Алматы, 2005. – С. 118-129.
- [11] Шацеров В.И., Тимуш А.В. Новые представления о литосфере Казахстана // Науки о Земле в Казахстане (МГК-33; доклады казахстанских геологов). – Алматы, 2008. – С. 9-12.

REFERENCES

- [1] Shacilov V.I., Gorbunov P.N., Stepanenko N.P. i dr. *Skorostnye modeli zemnoj kory Kazahstana*. Almaty: EVRAZIJA, 1993. 105 p. (in Russ.)
- [2] Shacilov V.I., Sajipbekova A.M. Profil'naja tomografija litosfery Tjan'-Shanja po materialam regional'noj sejsmologii. *Doklady NAN RK*. 1994. N 6. P. 47-52 (in Russ.)
- [3] Bur'janov V.B., Gordienko V.V., Pavlenkova N.I. Kompleksnaja geofizicheskaja model' juga Evropejskoj chasti SSSR. *Gravitacionnaja model' kory i verhnej mantii Zemli*. Kiev, 1978. P. 137-149 (in Russ.)
- [4] Bur'janov V.B., Gordienko V.V., Pavlenkova N.I. i dr. Plotnostnye modeli tektonosfery kontinental'nyh regionov s raznymi jendogennymi processami. *Teorija i metodika interpretacii gravimagnitnyh polej*. Kiev, 1981. P. 234-245 (in Russ.)
- [5] Senchin V.N., Baranov A.A. Ocenka glubinnoogo raspredelenija plotnosti v litosfere Central'noj Juzhnoj Azii po dannym o glubine svobodnoj poverhnosti mantii. *Fizika Zemli*. 2010. N 11. P. 61-68 (in Russ.)
- [6] Gorbunov P.N. Novye principy kompleksnoj interpretacii dannyh geofiziki pri izuchenii tektonosfery Tjan'-Shanja. *Doklady NAN RK*. 2000. N 5. P. 56-60 (in Russ.)
- [7] Geodinamika i sejsmichnost' litosfery Kazahstana (*pojasnitel'naja zapiska k «Geodinamicheskomu atlasu Kazahstana»*) / Pod red. B. S. Uzhkenova, E. Nusipova. Almaty, 2007. 410 p. (in Russ.)
- [8] Gorbunov P.N., Klenchin A.N. Metody razdelenija fizicheskikh polej i polej koncentracij na sostavlajushhie putem izuchenija parametrov ih statisticheskoj struktury. *Sistemnaja obrabotka informacii pri geohimicheskikh poiskah zalezhej nefiti i gaza*. M.: VNIJaGT, 1979. P. 35-41 (in Russ.)
- [9] Maruyama Sh. Plume tectonics. *Jour. Geol.Soc.Japan*. 1994. Vol. 100, N 1. P. 24-49 (in English)
- [10] Shacilov V.I., Timush A.V., Stepanenko N.P., Kajdash T.M., Belousova N.P. Osobennosti stroenija litosfery Tjan'-Shanja i prilgajushhih platform Geodinamicheskie, sejsmologicheskie i geofizicheskie osnovy prognoza zemletjasenij i ocenki sejsmicheskogo riska. *Dokl. Kaz-Ross. konf. 22-24 ijunya 2004 g.* Almaty, 2005. P. 118-129 (in Russ.)
- [11] Shacilov V.I., Timush A.V. Novye predstavlenija o litosfere Kazahstana. *Nauki o Zemle v Kazahstane (MGK-33; doklady kazahstanskih geologov)*. Almaty, 2008. P. 9-12 (in Russ.)

Н. П. Степаненко, Н. П. Белоусова, Т. М. Кайдаш

Сейсмология институты, Алматы, Қазақстан

**ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚАБАТ АСТЫ МАНТИЯСЫН ЖӘНЕ
ЖЕР ҚЫРТЫСЫНЫҢ ЕКІ ӨЛШЕМДІ ТЫҒЫЗДЫҚ ҮЛГІЛЕРІН ӘЗІРЛЕУ**

Аннотация. Сейсмогравитациялық модельдеу әдісі арқылы Қазақстанның және оның жанындағы аумақтардың қабат асты мантиясының және жер қыртысының екі өлшемді тығыздық үлгілерін сандық және графикалық түрінде іргелі және Қазақстан ауданының сейсмикалық белсенді және асейсмикалық литосферасының геодинамикасы мен терең құрылысты қолданбалы зерттеулерге сүйене әзірленген. Пайдаланылған бастапқы материалдар көлемі және Қазақстан литосферасының қыры мен тігінен аумақты қамту бойынша тығыздық моделі алғашқы рет құрылды. Сейсмогравитациялық модельдеу әдістемесі градиентті-қабатты ортаның екі өлшемді тығыздық үлгілерін интерациялық құрылысты технологияға, толық шапшаң қималарға арқа сүйейтін, сонымен бірге барлық зерттелетін ортадағы гравитациялық эсерге негізделген. Қазақстанның орталық және солтүстік, оңтүстік-шығыс бөліктерінде, Каспий маңында жағалай салынған геотраверстерде жайғастырылған төрт тығыздық үлгілері сипаттама келтіреді. Тығыздық үлгілері құрылым-заттық кешендермен қабатталған және геофизикалық қабат қабығы мен жоғарғы мантияға сәйкес сипатталған. Өңделген үлгілер зерттелетін біртекті терең құрылымды геофизикалық ортаны айтарлықтай талдап тексеруге рұқсат етеді. Қазақстан ауданының сейсмикалық белсенді және асейсмикалық литосферасының геодинамикасы мен терең құрылысты қолданбалы зерттеулерге сүйене әзірленген. Есептік геолог-геофизикалық негізінде Қазақстан аумағының сейсмикалық қауіп-қатерді бағалау үшін сейсмогравитациялық модельдеуінің жаңа нәтижелер негізінде зерттелген ортаның тығыздық құрылымының заңдылығы және ерекшелігі анықталған. Жер қабығының біртекті тығыздығы және жоғарғы мантия платформалы және ороген сегменттері айтарлықтай бір-бірінен ерекшеленетіні дәлелденген. Үлгі аймақтық геофизикалық модельдеу үшін қолданылады, қабық-мантия ауысу аумағы және жер қабығының тығыздық құрылымының ерекшеліктерін түсіндіру және салыстырмалы талдауды жүргізудің мүмкіндігі қамтамасыз етіледі. Сейсмикалық аудандау және пайдалы қазбалар кен орнының терең болжамын шешу үшін бағытталған үлгі жиынтықтауларда және аудандастырулардағы петрофизикалық, геотектоникалық және геодинамикалық критерийін анықтаудың сенімділігін және ақпараттылығын едәуір арттырады.

Түйін сөздер: жер қыртысы, белсенді мантия, сейсмогравитациялық модельдеу, ауырлық күші өрісі.

Сведения об авторах:

Степаненко Н.П. – к.т.н., зав. лабораторией структурной геофизики Института сейсмологии, Институт Сейсмологии, e-mail: nstep56@mail.ru.

Белоусова Н.П. – НС лаборатории структурной геофизики Института сейсмологии, Институт Сейсмологии, e-mail: nstep56@mail.ru.

Кайдаш Т.М. – к.г.-м.н., ВНС лаборатории структурной геофизики Института сейсмологии, Институт Сейсмологии, e-mail: nstep56@mail.ru.

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in 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 сайте:

www.nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)

<http://geolog-technical.kz/index.php/kz/>

Верстка *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 12.04.2017.

Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

16,7 п.л. Тираж 300. Заказ 2.