

Различные применения предложенного метода аналитического решения однородных уравнений Максвелла для линейных изотропных сред будут рассмотрены в следующей статье автора.

Работа выполнена благодаря финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (номер проекта 10-05-00753-а).

Л и т е р а т у р а

1. Дмитриев В.И. О единственности обратной задачи электромагнитного зондирования слоистых сред // Физика Земли. – 1994. – № 6. – С.30-34.
2. Романов В.Г., Кабанихин С.И., Пухначева Т.П. Обратные задачи электродинамики. – Новосибирск: Сибирское отделение АН СССР, 1984.
3. Страхов В.Н. О решении обратной задачи в методе вертикальных электрических зондирований // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1968. – № 4. – С.77-84.
4. Тихонов А.Н. К математическому обоснованию теорем электромагнитных зондирований // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1965. – Т.156. – № 3. – С.545-548.
5. Гюнтер Н.М. Интегрирование уравнений первого порядка в частных производных. – Л.-М.: ОНТИ. Государственное технико-теоретическое изд-во, 1934.
6. Камке Э. Справочник по дифференциальным уравнениям в частных производных первого порядка. – М.: Наука, 1966.
7. Куренский М.К. Дифференциальные уравнения. Книга вторая. Дифференциальные уравнения с частными производными. – Л.: Артиллерийская академия РККА им. Дзержинского, 1934.
8. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, 1969.
9. Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Справочник по дифференциальным уравнениям с частными производными первого порядка. – М.: Физматлит, 2003.

УДК 528.2:629.78

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ ГРАВИМЕТРИИ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ СКВОЗНЫХ СЕЙСМОГЕНЕРИРУЮЩИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЗЕМЛИ

© 2011 г. В.А. Огаджанов, А.В. Огаджанов

Сектор сейсмического мониторинга Поволжского региона ГС РАН

Введение

Сквозные неоднородности часто рассматриваются во взаимосвязи со сквозными глубинными разломами, которые пересекают как геосинклинали, так и платформы (плиты и стыки плит). Впервые гипотеза о единых для континентальных плит тектонических поясах, охватывающих области самого раннего геологического строения, была высказана Н.С. Шатским (1948 г.) и доказана на примере зоны субмеридионального направления, прослеживающейся от реки Камы в Саратовское Поволжье, Кавказ и далее в пределы Аравийской и Африкан-

ской плит. Подобные пояса имеют сверхглубокое заложение и значительно превышающую глубину заложения элементов складчатых (геосинклинальных) систем [1]. Разрывные нарушения в пределах этих поясов могут проявляться в верхах земной коры, с ними связана новейшая и современная геодинамическая активность, в том числе и сейсмичность.

Постановка задачи

Пояса сейсмичности, обусловленные сквозными неоднородностями, могут быть выражены активными разломами, которые являются лишь одним из признаков потен-

циально сейсмогенных зон. В то же время, при выделении таких зон следует принимать во внимание возможность отсутствия прямых геологических признаков разрывного нарушения, а наличие лишь косвенных геофизических, например гравиметрических. Гравиметрические данные отражают контакты земной коры, отличающиеся по плотности. Чем больше разница плотности блоков земной коры, тем более интенсивно происходит деформация и вероятнее возникновение очагов землетрясений на их контактах. Чем протяженнее плотностная неоднородность, тем выше может быть ее сейсмический потенциал. Поэтому при решении задач выявления сейсмогенных зон на сквозных неоднородностях актуальным представляется изучение связи сейсмичности с планетарными аномалиями гравитационного поля.

Методика исследований

В опубликованной ранее работе [5] нами были использованы данные спутниковой гравиметрии для анализа сведений о планетарных неоднородностях литосферы. Контакты плотностных неоднородностей выделялись на основе критериев выделения разрывных нарушений по гравиметрическим данным, а именно зонам высоких горизонтальных градиентов и сочленению различных ориентированных аномалий. С этой целью использовались карты аномалий геоида по гармоникам 10-й и 3-й степени.

В настоящей работе при выделении контактов неоднородностей проводился совместный анализ совокупности карт планетарных аномалий геоида по гармоникам: 30-й, 10-й и 3-й степени, аномалий гравитационного поля в свободном воздухе и параметра отношения аномалий в свободном воздухе к аномалиям геоида по гармоникам 10-й степени [7]. Кроме того, к анализу были привлечены карты планетарных аномалий магнитного поля. Контакты плотностных неоднородностей выделялись по зонам резкого пространственного изменения гравитационных аномалий, которые прогнозируются,

как правило, в диапазоне высот геоида от +10 до -10 м (иногда в более широком диапазоне). Выделение плотностных неоднородностей на основе указанных выше критериев имеет свои ограничения, которые обусловлены тем, что используемые карты гравитационных аномалий представлены в прямоугольной проекции, вследствие чего изолинии в высоких широтах искусственно разрежены и зоны сочленения аномалий визуально не прослеживаются. По этой причине надежное выделение контактов плотностных неоднородностей за пределами диапазона широт более 60° невозможно. Примеры выделения неоднородностей по гравиметрическим данным приведены на рис. 1. Для определения связи неоднородностей, выделенных по гравиметрическим данным, с сейсмичностью проводилось сопоставление карт гравитационного поля с картами сейсмичности по регионам. Данные о сейсмичности регионов взяты из базы данных службы срочных донесений ГС РАН и содержат сведения о параметрах землетрясений магнитудой от 4 и выше.

Геофизическая характеристика сквозных неоднородностей *Европейско-Африканская неоднородность*

В пределах востока Европейской плиты и Урала зоны сочленения аномалий геоида по гармоникам 3-й степени имеют северо-восточное направление, а в пределах Аравийской и Африканской плит – субмеридиональное. Зоны резкого пространственного изменения аномалий геоида по гармоникам 10-й и 30-й степени имеют субмеридиональное направление в пределах востока Европейской плиты и северо-восточное в пределах Африканской. Вдоль этих зон сосредоточены группы эпицентров землетрясений имеющих аналогичное простирание. Аномалии геоида по гармоникам 3-й степени отражают гравитирующие массы на глубинах, превышающих глубины распределения масс, проявляющихся в аномалиях гармоник 10-й и 30-й степени. На территории

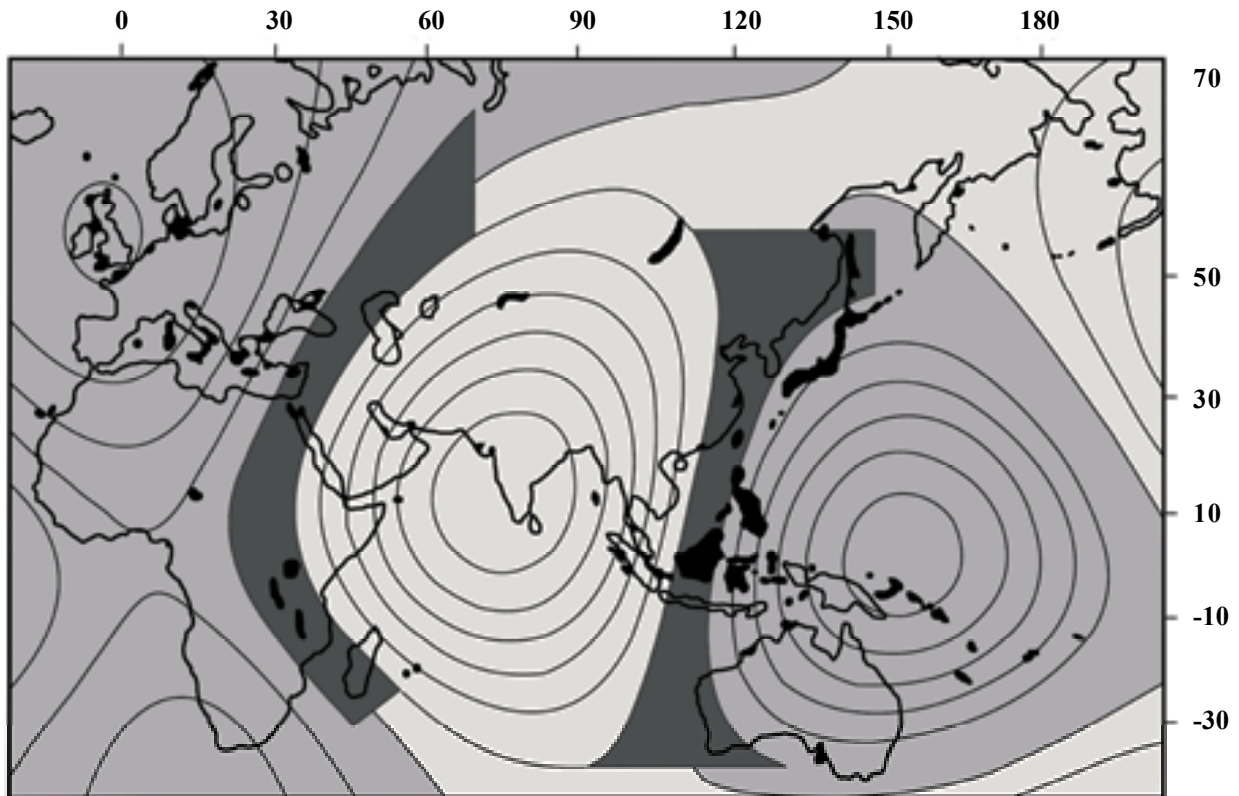


Рис.1. Положение сквозных неоднородностей по результатам анализа аномалий поверхности геоида по гармоникам 3 степени. Серым тоном показана область положительных аномалий геоида, светлым – отрицательных аномалий. Изолинии поверхности геоида проведены через 10 м. Зоны резкого пространственного изменения аномалий геоида, соответствующие положению сквозных неоднородностей, показаны темно-серой заливкой

востока Европейской плиты известно несколько землетрясений с магнитудой менее 3 и с очагами ниже поверхности мантии [2, 3]. Глубины их гипоцентров от 40 до 60 км. Гипоцентры землетрясений в пределах зон резкого пространственного изменения аномалий по гармоникам 10-й и 30-й степени расположены в верхней части земной коры. Наиболее сильное из известных землетрясений инструментального периода наблюдений в пределах сквозной неоднородности востока Европейской плиты произошло 26 апреля 2008 г. в западном Казахстане магнитудой 5,3 при глубине очага 10 км. Среди землетрясений в пределах Аравийской и Африканской плит, эпицентры которых приурочены к зонам резкого пространственного изменения аномалий по гармоникам 3-й степени, известны очаги в мантии на глубинах от 60 до 200 км. Наибольшие значе-

ния магнитуд у землетрясений, произошедших 22 ноября 1995 г. на северном побережье Красного моря – 7,4 и 5 декабря 2005 г. в районе озера Танганьика – 6,9. В пределах рассматриваемой неоднородности эпицентры землетрясений достаточно четко сосредоточены на известных активных разломах и объединяются в единую сквозную зону возникновения очагов землетрясений (рис.2).

Азиатско-Австралийская неоднородность

В пределах восточной части Азиатской плиты по зонам резкого пространственного изменения аномалий геоида выделяется субмеридиональная неоднородность. Она в большей степени проявляется по аномалиям гармоник 10-й и 30-й степени. Границы неоднородности по аномалиям геоида в гармониках 3-й степени в пределах вос-

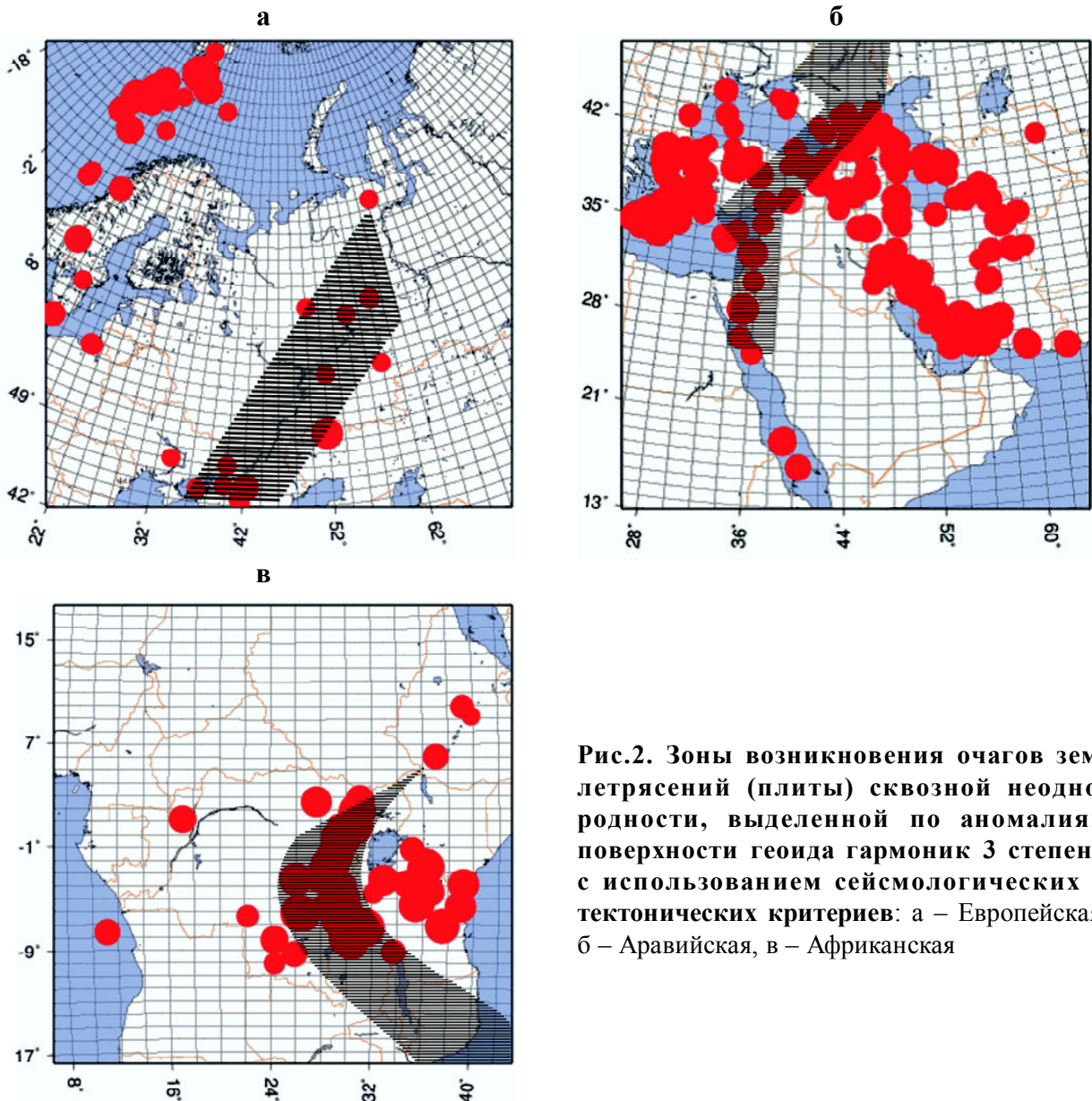


Рис.2. Зоны возникновения очагов землетрясений (плиты) сквозной неоднородности, выделенной по аномалиям поверхности геоида гармоник 3 степени с использованием сейсмологических и тектонических критериев: а – Европейская, б – Аравийская, в – Африканская

точной части Азиатской плиты выражены менее четко. Вдоль неоднородности располагаются эпицентры землетрясений восточной части Азиатской плиты. Глубины гипоцентров землетрясений от 10 до 470 км. Наиболее сильное из них, произошедшее в пограничной области Китая и России 28 июня 2002 г., имеет магнитуду 7. В пределах Австралийской плиты неоднородность, выделенная по гармоникам 3-й степени, имеет субмеридиональное направление и охватывает западную часть Австралийского континента. Неоднородности, выделенные по гармоникам 10-й и 30-й степени, имеют

юго-восточное простирание. Зона резкого пространственного изменения аномалий по этим гармоникам пересекает Австралийский континент с северо-запада на юго-восток. Поле рассеянной сейсмичности западной части Австралийского континента тяготеет к субмеридиональному направлению, эпицентры землетрясений располагаются вдоль зоны резкого изменения аномалий по гармоникам 3-й степени. Гипоцентры землетрясений определены на глубинах от 10 до 200 км. Наиболее сильное землетрясение, произошедшее южнее Австралийского континента 12 декабря 2001 г., имеет магнитуду

6,5. Эпицентр этого землетрясения расположен в южной периферийной части неоднородности, выделенной по гармоникам аномалий геоида 3-й степени. В пределах неоднородности четкой локализации очагов землетрясений и их объединения в единую сквозную зону возникновения очагов землетрясений не наблюдается, хотя и сохраняется общая выдержанность поля рассеянной сейсмичности вдоль сквозной неоднородности, выделенной по гравиметрическим данным (рис.3).

Результаты исследований

Во внутренней части Австралийской, Азиатской, Африканской и Европейской плит наблюдается достаточно уверенная связь между зонами резкого пространственного изменения аномалий геоида и зонами сейсмической активности. При этом повсеместно, кроме Европейской плиты, очаги землетрясений вдоль контактов плотностных неоднородностей, выделенных по аномалиям геоида, находятся в интервалах глубин до 200 км и глубже. Отмечается сравнительно высокая идентичность параметров аномалий геоида восточных частей Европейской и Азиатской плит. В частности, об-

ращает внимание наличие вдоль меридиана 48° Европейской и меридиана 120° Азиатской плит практически идентичных аномалий параметра, характеризующего отношение аномалий гравитационного поля в свободном воздухе к аномалиям геоида по гармоникам 10-й степени [5, 6], отражающих наличие зон разуплотнения литосферы на данных участках. Зоны разуплотнения проявляются пониженными значениями гравитационного поля. В работах [2, 4] на примере востока Европейской плиты и других регионов указывалось, что сейсмогенерирующие неоднородности могут отражаться также повышенными значениями магнитного поля. Парагенетическая связь аномалий пониженных значений гравитационного поля и повышенных магнитного связана с наличием низкоплотных и высокомагнитных горных пород, обусловленных, вероятно, серпентинизацией литосферы. Совместный анализ магнитных и гравитационных полей планетарного масштаба, проведенный по трансрегиональным широтным профилям, также указывает на обратную корреляционную зависимость между аномалиями геоида и напряженностью полного вектора магнит-

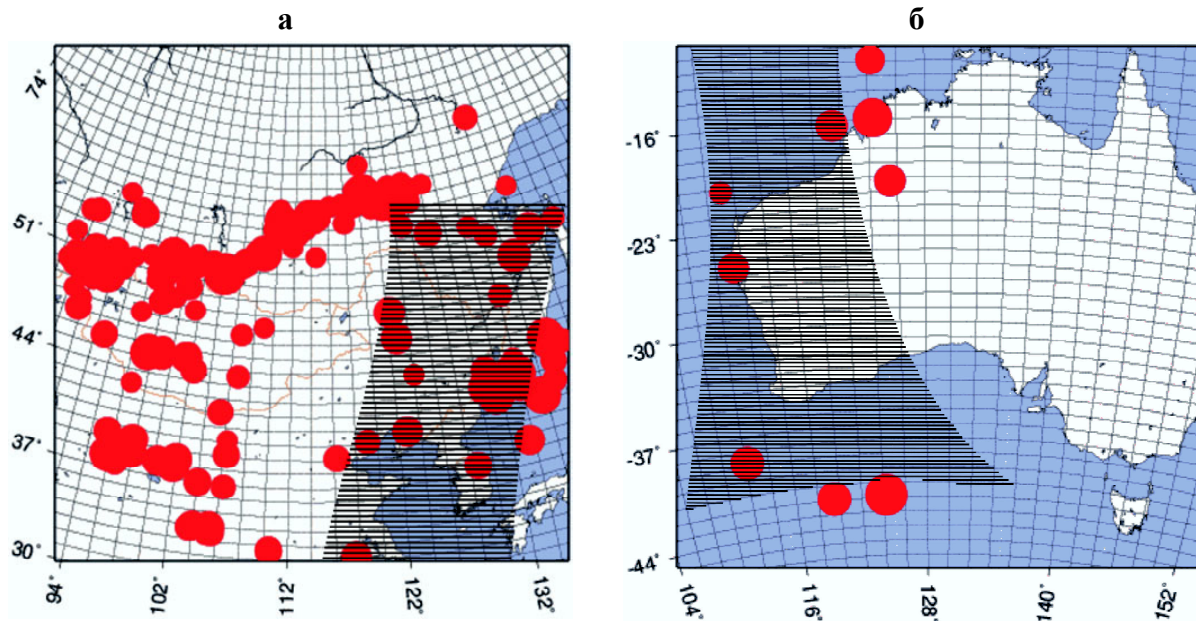


Рис.3. Сопоставление сквозной неоднородности выделенной по аномалиям поверхности геоида гармоник 3 степени с зонами рассеянной сейсмичности плит: а – Азиатская, б – Австралийская

ного поля зачастую с достаточно высокими значениями коэффициента корреляции (до - 0,92). В том числе Восточно-Сибирской отрицательной аномалии гравитационного поля соответствует положительная аномалия напряженности полного вектора магнитного поля, к периферическим частям этих аномалий приурочены наиболее активные зоны сейсмичности внутренних частей Европейской и Азиатской плит. С учетом изложенного можно предположить, что физико-геологические и геодинамические условия формирования очагов землетрясений в пределах рассматриваемых территорий могут носить характер общей закономерности.

Заключение

Согласно Глобальной карте сейсмической опасности [8] сейсмическая активность территорий в пределах сквозных неоднородностей Австралийской, Азиатской, Аравий-

ской, Африканской плит определяются возможностью возникновения землетрясений с ускорением движения грунта до $2,4 \text{ м/с}^2$ (по 10 % вероятности возможного превышения интенсивности сотрясений в течение 50-ти лет). Исключение составляет восточная часть Европейской плиты, где интенсивность сотрясений согласно карте [8] прогнозируется менее $0,4 \text{ м/с}^2$. Возникновение в пределах Европейской части сквозной неоднородности (в течение последних ста лет) ряда сильных землетрясений [6] указывает на существенно более высокий потенциал этой территории. Изложенное выше ставит на повестку дня вопрос об уточнении сейсмического потенциала зон возникновения очагов землетрясений, связанных со сквозными неоднородностями, с учетом новых данных об их физико-геологических, глубинных геодинамических характеристиках и сведениях о землетрясениях последних лет.

Л и т е р а т у р а

1. Глубинные разломы сквозные //Геологический словарь. – М.: Недра, 1978. – Т.1.
2. Конценебин Ю.П., Огаджанов А.В., Соломин С.В. Физико-геологические модели очагов землетрясений в пределах Саратовского участка Поволжья //Геолого-геофизические исследования юго-востока Русской плиты (к 70-летию профессора Ю.П. Конценебина). – Саратов: изд-во СРО МОО ЕАГО, 2004. – С.20-25.
3. Огаджанов А.В., Соломин С.В. Физико-геологическая модель Алексеевской очаговой зоны землетрясений //Недра Поволжья и Прикаспия. – 2003. – Вып.35. – С.39-41.
4. Огаджанов А.В. Физико-геологические модели сейсмогенерирующих неоднородностей земной коры Среднего и Нижнего Поволжья: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. геол.-минерал. наук. – Саратов: изд-во Саратов. ун-та, 2006.
5. Огаджанов В.А., Огаджанов А.В. Структурно-тектоническая позиция сейсмогенерирующих неоднородностей востока Европейской плиты //Материалы Международной конференции "Сейсмичность Северной Евразии". – Обнинск: изд-во ГС РАН, 2008. – С.216-220.
6. Огаджанов В.А. О региональной зоне возникновения очагов сильных землетрясений юго-востока Европейской плиты //Материалы третьей Международной сейсмологической школы. – Обнинск: изд-во ГС РАН, 2008. – С.131-134.
7. Bowin C. Global gravity maps and the structure of the Earth //The utility of Regional gravity and Magnetic Anomaly Maps /Edit. W.J. Hinze. Soc. of Exploration. Geophysicists. – Oklahoma, 1985. – P.88-101.
8. Geardini D., Grunthal G., Shedlock K. and Zhang P. Global Seismic Hazard Map. GSHAP, 1999.