

Возмущения геомагнитного поля при Сычуаньском землетрясении 20 апреля 2013 г. ($M_s=7,0$)

© А. Л. Собисевич¹, Е. А. Рогожин¹, Л. Е. Собисевич¹, К. Х. Канониди²,
А. В. Кендзера³, А. В. Марченко³, М. И. Орлюк³, 2014

¹Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

²Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН,
Москва, Россия

³Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина
Поступила 7 марта 2014 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Проанализовано результаты натурных спостережень хвильових збурень, зареєстрованих у період підготовки та розвитку землетрусу на території Китаю в провінції Сичуань 20 квітня 2013 р. Експериментальні дані отримано у Північнокавказькій геофізичній обсерваторії [Собисевич и др., 2008], яка входить до складу лабораторії прикладної геофізики і вулканології Інституту фізики Землі РАН, розташованої в районі Ельбрусського вулканічного центру (Північний Кавказ), і наукового стаціонару ІЗМІРАН (Карпогори, субавроральна область), а також магнітних обсерваторій «Одеса» і «Київ» на території України. У структурі спостережених аномальних магнітних збурень у варіаціях магнітного поля Землі, що випереджають землетрус, виділено і частково досліджено характерні магнітні псевдохвильові форми УНЧ-діапазону, що відображують процеси підготовки та розвитку аналізованого корового землетрусу. Наведено матеріали про макросейсмічні і сейсмологічні прояви процесів підготовки вогнища землетрусу, а також короткі відомості про його тектонічне розміщення.

Ключові слова: неоднорідне геологічне середовище, геофізичні поля, ультранизькочастотні електромагнітні збурення, флюїдна активність, сейсмічність, вулканізм, нелінійність, моделі математичні, короткострокові передвісники, землетруси.

Введение. В период подготовки и развития сейсмического процесса на территории Китая в провинции Сычуань 20 апреля 2013 г. аппаратными комплексами Северо-Кавказской геофизической обсерватории зарегистрированы характерные возмущения в вариациях магнитного поля Земли. В структуре наблюдаемых аномальных магнитных возмущений, предвещающих это землетрясение, проявились характерные магнитные сигналы УНЧ диапазона, отражающие реальные геофизические процессы в очаговой зоне анализируемого корового землетрясения.

Полученные данные экспериментальных наблюдений сопоставлены с материалами о макросейсмических и сейсмологических проявлениях в районе очага землетрясения и с его тектоническим положением.

Сведения о главном толчке и афтершоках. 20 апреля 2013 г. в 00 ч 02 мин по Гринвичу (в 4 ч 02 мин по московскому времени) в Китае произошло разрушительное землетрясение с

магнитудой $M=7$. На рис. 1 звездочкой показан эпицентр землетрясения, очаг которого находился на территории Китая в провинции Сычуань на глубине 20 км в 105 км к западу-юго-западу от г. Ченгду. Отметим, что эпицентр этого сейсмического события располагался в 103 км к юго-юго-западу от зоны катастрофического Венчуанского землетрясения 12 мая 2008 г. $M=8$, когда погибло более 80 тысяч человек.

В период с 20 по 22 апреля 2013 г. Геофизической службой (ГС) РАН зарегистрировано около 20 повторных толчков с $M=4,5\div 5,3$. Их эпицентры образовали компактное линейное облако длиной около 50 км и шириной 15 км, приуроченное к зоне Лонгменшанских активных разломов. Афтершоки Сычуаньского землетрясения нарастили в юго-западном направлении эпицентральную область повторных толчков Венчуанского землетрясения 12 мая 2008 г. $M=8$. На рис. 2 наиболее северный эпицентр, показанный на карте, совпадает с са-

мым юго-западным афтершоком Венчуанского землетрясения 2008 г. с $M=5,1$.

Макросейсмические проявления. В результате Сычуанского землетрясения погибли 208 человек и более 11 800 получили ранения. В общей сложности от землетрясений 2013 г. в той или иной степени пострадало более 1,5 млн жителей провинции Сычуань. Были разрушены и повреждены здания и сооружения на обширной территории в небольших городах и деревнях. Финансовые потери значительно превысили 100 млн долл.

Интенсивность в эпицентре составила 8—9 баллов. Изосейсты максимальных макросейсмических проявлений по форме напоминают неправильный овал, длинная ось которого простирается с юго-запада на северо-восток.

Из крупных населенных пунктов землетрясение ощущалось с интенсивностью 6 баллов в городе Линкионг (Linqiong) с населением 56 тыс. человек и 5 баллов в Ченгду с населением около 4 млн человек.

Сейсмотектоническая позиция очага и сейсмодислокации. Эпицентр землетрясения, так же как и при Венчуанском событии 2008 г., был приурочен к протяженной Лонгменшанской зоне активных разломов длиной более 500 км. Эта зона разломов разделяет расположенное на северо-западном крыле поднятие палеозойд Синийских гор, трассирующееся на восточном фронте Тибетского плато, и Сычуанскую новейшую впадину, располагающуюся на юго-восточном крыле разломной зоны. По кинематике разломы, образующие эту дизъюнктивную зону, представляют собой взбросо-надвиги с правосдвиговой составляющей, погружающиеся к северо-западу, под Синийские горы. В рельефе зона разлома выражается системой ориентированных в диагональном направлении предгорных хребтов, а на глубине разделяет области с разным строением литосферы и коры. Так, в соответствии с сейсмической томографией, зона разломов разделяет высокоскоростную верхнюю мантию Сычуанской впадины и нормальную, менее скоростную, Синийских гор [Huang, Zhao, 2006]. В пределах земной коры также наблюдается существенное ее различие по геомагнитным данным. В соответствии с разработанной на основе [Rügusker, 2007] магнитной карты исследуемого региона четко прослеживаются положительные аномалии магнитного поля на востоке и отрицательные на западе (рис. 3). Можно отметить приуроченность эпицентров землетрясений к областям отрицательного маг-

нитного поля или к зонам повышенных его градиентов. Как правило, отрицательные магнитные аномалии характеризуют структуры режима сжатия земной коры, а зоны градиентов — границы ее немагнитных и магнитных блоков [Орлюк, 2000]. Группирование очагов землетрясений к границам блоков земной коры с разными физическими свойствами, в данном случае намагниченностью, является важной закономерностью, установленной ранее для Черноморского региона [Пашкевич и др., 1993].

По геомагнитному полю выделены разломы диагональной, для большей части территории, и ортогональной (на юге) систем. При этом разломы северо-восточного простирания, проявляющиеся минимумами геомагнитного поля, развиваются в условиях сжатия, а северо-западные имеют сдвиговую природу. Эпицентр исследуемого землетрясения расположен в градиентной зоне геомагнитного поля и вблизи узла разломов диагональной системы (см. рис. 3) и полностью соответствует описанной выше их кинематике. Интересным представляется также тот факт, что, в соответствии с предварительной интерпретацией, очаг землетрясения располагался на границе магнитной и немагнитной сред, что может быть важным в отношении формирования геомагнитного возмущения как на стадии подготовки, так и во время землетрясения. В настоящий момент нет сведений о первичных сейсмодислокациях толчка 2013 г. Известно только, что в эпицентральной зоне возникли многочисленные оползни и обвалы на крутых склонах долин, пересекающих предгорные хребты. Отдельные крупные глыбы, упавшие на автодороги, перегородили их во многих местах. Обширные сейсмогравитационные дислокации были характерны и для землетрясения 2008 г.

Механизм очага землетрясения и характер сейсмогенной подвижки. Механизм очага землетрясения 20 апреля 2013 г. рассчитан в ГС РАН по знакам первых вступлений продольных волн на 217 станциях. Станции расположены в интервале эпицентральных расстояний 5—99° и равномерно по азимутам. Механизм очага в стереографической проекции на нижней полусфере показан на рис. 4, а. На рис. 4, б показано распределение горизонтальных смещений в очаговой зоне.

Землетрясение возникло под действием напряжений сжатия, ориентированных на северо-запад. Ось растяжения при этом близвертикальна. Нодальные плоскости име-

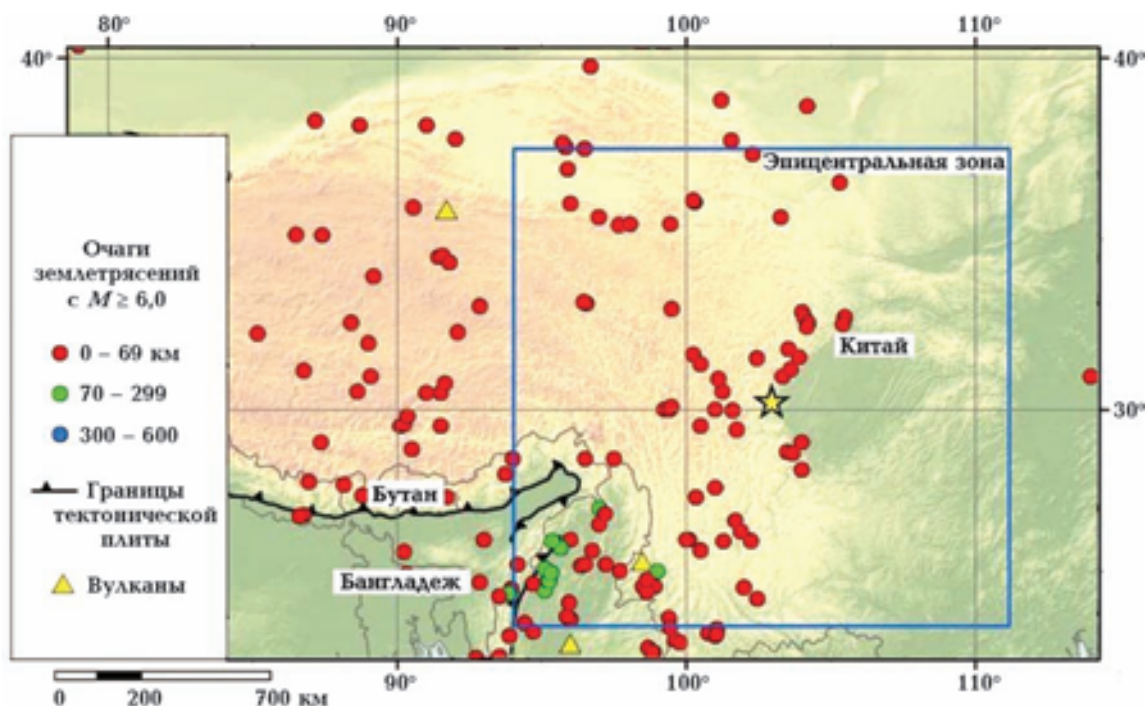


Рис. 1. Положение эпицентра главного толчка (желтая звездочка) землетрясения 20 апреля 2013 г. ($M=7,0$) в провинции Сычуань (данные Геологической службы США).

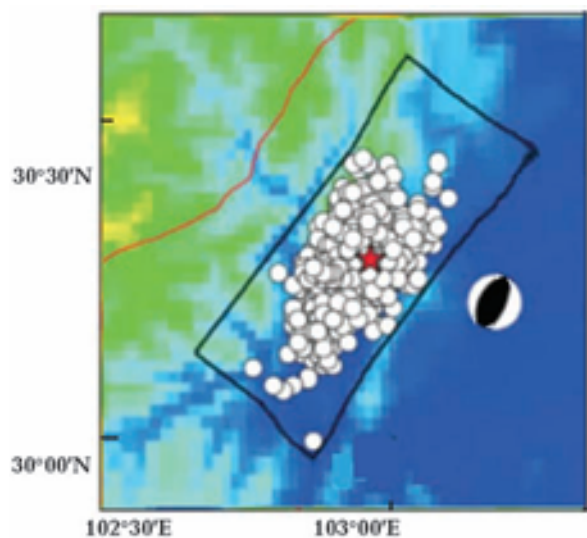


Рис. 2. Афтершоки землетрясения 20.04.2013 г., зарегистрированные ГС РАН и глобальной сейсмологической сетью IRIS-DMC на протяжении 4 дней после основного толчка [Lifen et al., 2013].

ют северо-восточное — юго-западное простирание. Одна нодальная плоскость более крутая ($DP=52\div59^\circ$), вторая — более пологая ($DP=32\div38^\circ$). Тип движения по первой плоскости — взброс с небольшой компонентой левого сдвига, а по второй — надвиг с правосдвиговой компонентой. Следует отметить, что решения механизма по данным Национального центра

информации о землетрясениях Геологической службы США, USGS NEIC на основе момента центроида (USGS Centroid Moment Solution) и в Quick CMT Catalog, США по методу тензора момента центроида близки к решению ГС РАН.

Обе плоскости соответствуют по простиранию ориентировке длинной оси овального в плане облака эпицентров афтершоков (см. рис. 2). Согласно сеймотектоническим данным о зоне Лонгменшанских разломов и по аналогии с подвижкой при Венчуанском землетрясении 2008 г. (см. рис. 3), в качестве действующей плоскости в очаге следует выбрать более пологую, падающую в северо-западном направлении под юго-восточный склон Синийких гор. Таким образом, смещение в очаге представляло собой надвиг северо-западного крыла разрыва в юго-восточном направлении с небольшой правосдвиговой компонентой.

Аномальные магнитные возмущения в вариациях магнитного поля Земли. Теоретическое обоснование и «экспериментальная проверка» генерации геомагнитных возмущений определенного типа на стадии подготовки и самого землетрясения приведены во многих работах. Наиболее полное обобщение приведено в статье [Собисевич и др., 2013б]. Не останавливаясь здесь на слабо разработанный механизм их генерации в сложной неоднородной и нелинейной среде [Шуман, Савин,

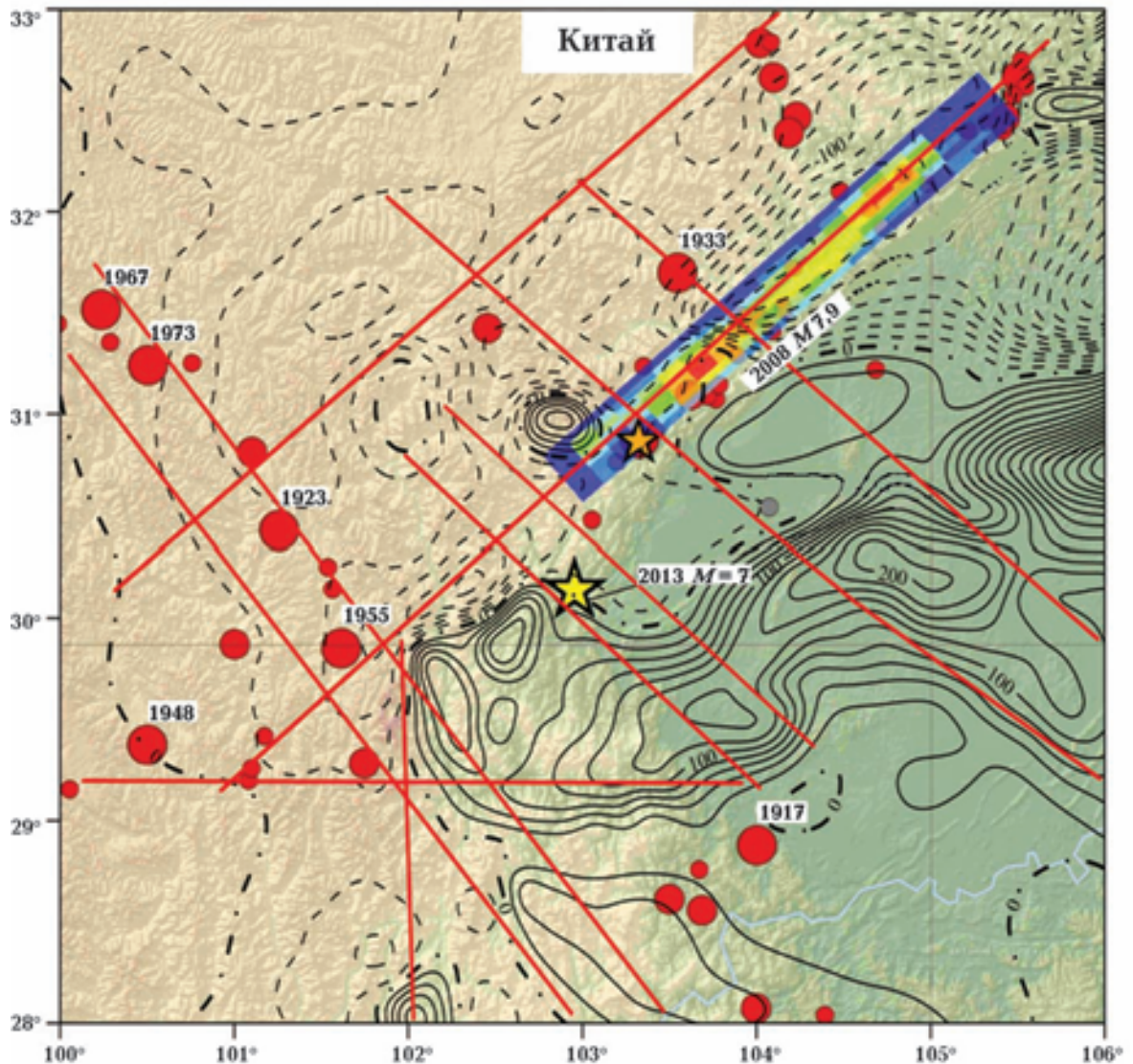


Рис. 3. Аномальное магнитное поле (ΔT_a) (черные линии — изолинии в нанотеслах) и тектонические разломы (красные линии), выделенные по геомагнитным данным, в сопоставлении со схемой эпицентров землетрясений (красные кружки, рядом с некоторыми указан год возникновения) и решением механизма очага землетрясения 2008 г. с $M=7,9$. Начало разрыва указано красной звездочкой. Желтая звездочка — эпицентр землетрясения 20.04.2013 г. Сейсмические данные взяты из работы [Ji, Hayes, 2008].

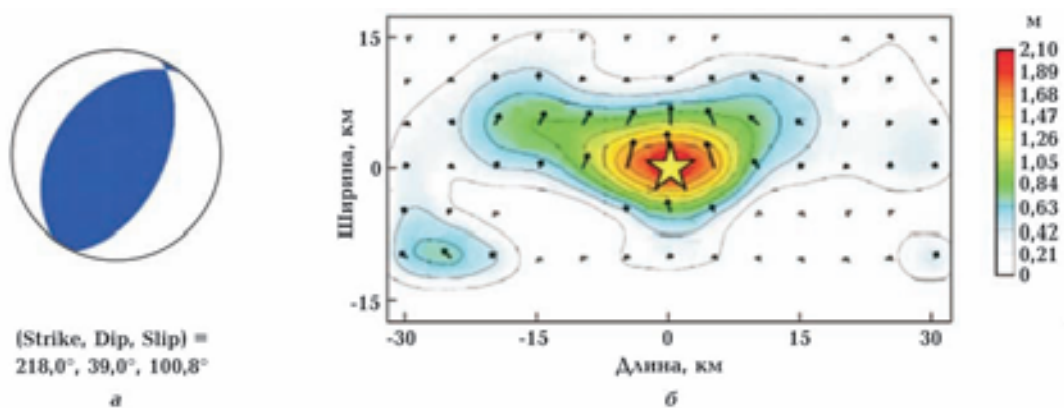


Рис. 4. Модель процессов в очаге землетрясения 20.04.2013 г.: а — фокальный механизм очага в стереографической проекции на нижней полусфере (решение ГС РАН), б — распределение смещений в очаговой зоне, по работе [Lifen et al., 2013].

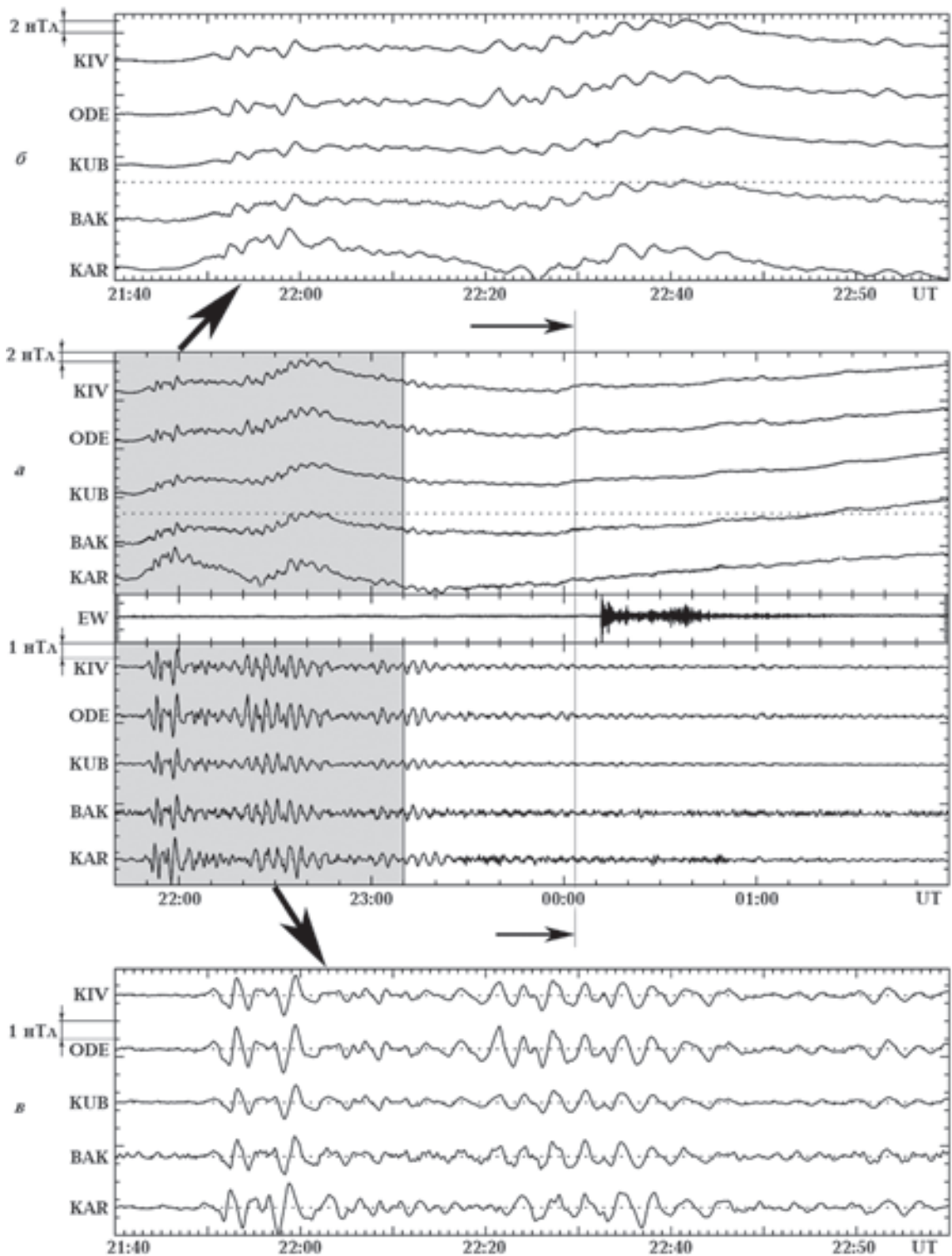


Рис. 5. Аномальные магнитные возмущения северной (X) компоненты магнитного поля Земли, отражающие процесс подготовки и развития землетрясения на территории Китая в провинции Сычуань 20 апреля 2013 г. Время в очаге 00:02:46.2 (отмечено на рисунке вертикальной линией). EW — показания наклономера в относительных единицах (Баксанская нейтринная обсерватория). В верхней половине рис. *a* приведены вариации северной составляющей магнитного поля для различных станций, в нижней — эти же вариации после фильтрации в диапазоне периодов 30—300 с; *б* — расширенная во временном диапазоне серая область верхней части рис. *a*; *в* — расширенная во временном диапазоне серая область нижней части рис. *a*. Обозначения станций, их названия, координаты и принадлежность показаны в табл. 1.

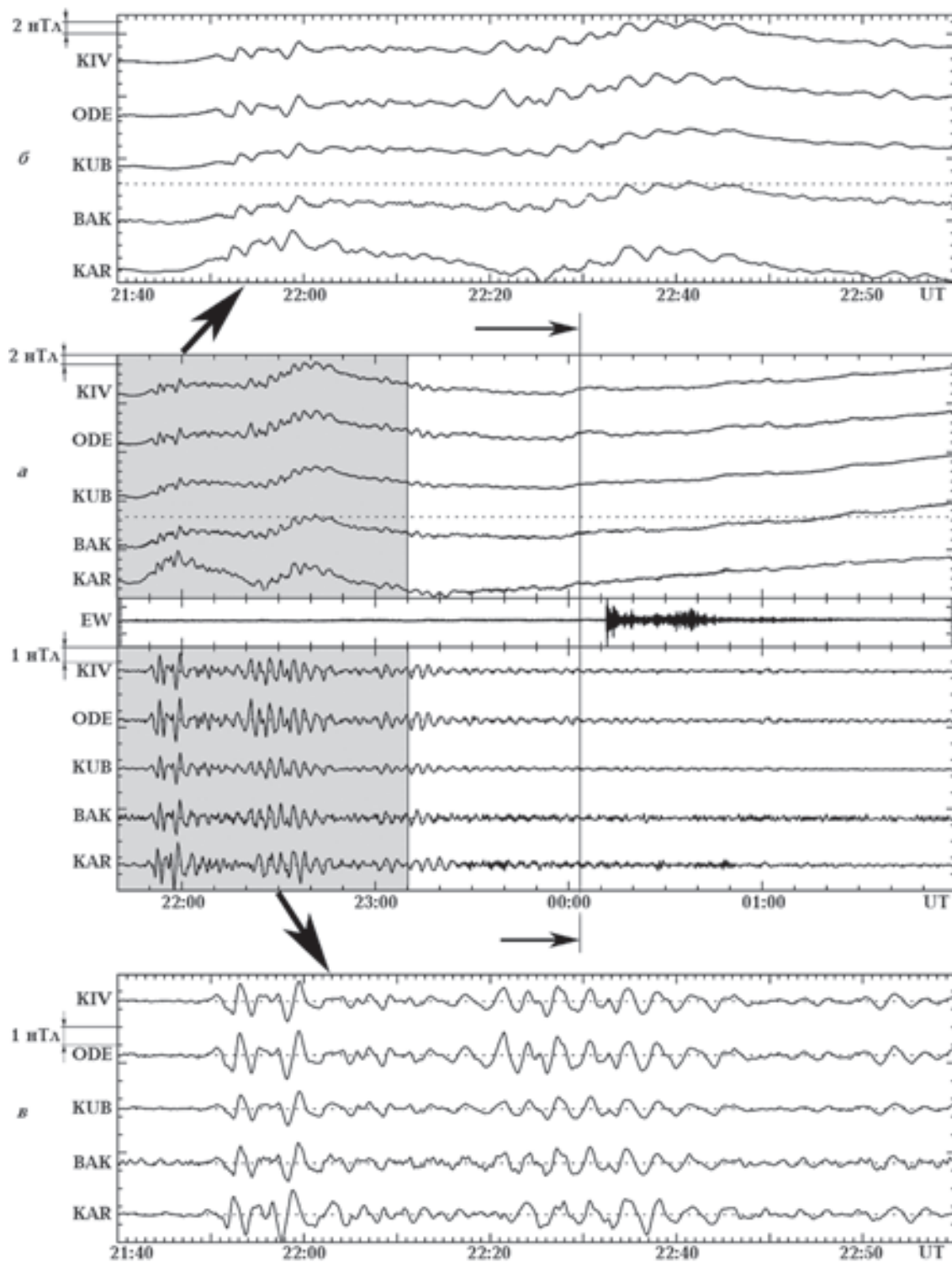


Рис. 6. Аномальные магнитные возмущения восточной (Y) компоненты магнитного поля Земли, отражающие процесс подготовки и развития землетрясения на территории Китая в провинции Сычуань 20 апреля 2013 г. Время в очаге 00:02:46.2 (отмечено на рисунке вертикальной линией). EW — показания наклономера в относительных единицах (Баксанская нейтринная обсерватория). В верхней половине рис. *а* приведены вариации северной составляющей магнитного поля для различных станций, в нижней — эти же вариации после фильтрации в диапазоне периодов 30—300 с; *б* — расширенная во временном диапазоне серая область верхней части рис. *а*; *в* — расширенная во временном диапазоне серая область нижней части рис. *а*. Обозначения станций, их названия, координаты и принадлежность показаны в табл. 1.

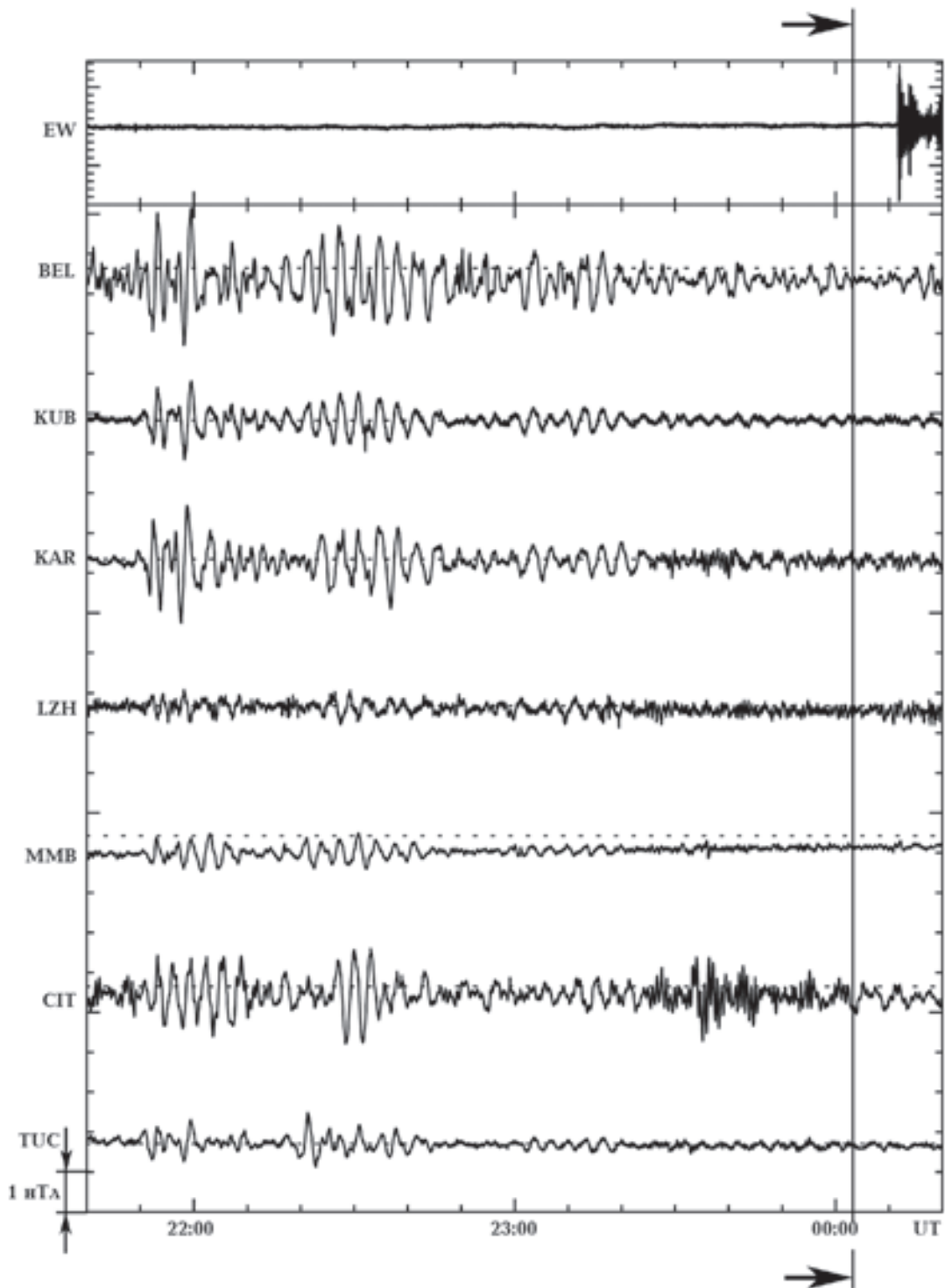


Рис. 7. Аномальные магнитные возмущения северной (X) компоненты магнитного поля Земли после фильтрации в диапазоне периодов 30—300 с, отражающие процесс подготовки и развития землетрясения на территории Китая в провинции Сычуань 20 апреля 2013 г. Время в очаге 00:02:46,2 (отмечено на рисунке вертикальной линией); географические координаты эпицентра: 30.29° с.ш., 103.3° в.д.; глубина очага — 20 км; магнитуда $M_s=7$; EW — показания наклономера в относительных единицах (Баксанская нейтринная обсерватория). Обозначения станций, их названия и координаты, принадлежность показаны в табл. 1.

2011], можно высказать предположение, что в системе литосфера—атмосфера—магни-

тосфера функцию «носителя» геомагнитных возмущений выполняет главное магнитное

поле, формирующее структуру магнитосферы. Благодаря «наложению» возмущений на силовые линии магнитного поля, они, по-видимому, могут проявляться на больших расстояниях от очага. Важным является также факт генерации возмущений на границе сред разной намагниченности ($I=0$ А/м западнее и $I=1,0\div 1,2$ А/м восточнее разлома) в магнитном поле Земли интенсивностью около 54 мкТл. Кроме того, пространственная область возможной генерации геомагнитного возмущения намного больше по сравнению с непосредственным очагом землетрясения, являющимся зоной частичной разгрузки напряжения земной коры. В этом отношении она может быть связана именно с намагниченными блоками земной коры и их краевыми частями. Заметим, что в планетарном масштабе землетрясение приурочивается к полосе северо-восточного (Тихоокеанского) простираения повышенной динамики главного магнитного поля [Орлюк, Роменец, 2005], которая соответствует повышенной сейсмичности литосферы Земли. В период подготовки анализируемого сейсмического события приборы Северо-Кавказской геофизической обсерватории зафиксировали аномальные магнитные возмущения в вариациях магнитного поля Земли. Аналогичные возмущения зарегистрированы в научном стационаре ИЗМИРАН в Карпогорах, обсерваториях Одессы и Киева и в других обсерваториях, входящих в INTERMAGNET. Основные псевдодолговые формы и результаты спектрального анализа полученной геомагнитной информации отражены графически на рис. 5–7, а в подписанных подписях даны дополнительные по-

ясняющие сведения. Для построения графика на рис. 7 использовались данные, собранные на магнитных обсерваториях, входящих в сеть INTERMAGNET. Мы благодарим национальные институты, которые поддерживают их и INTERMAGNET для продвижения высоких стандартов магнитных измерений (www.intermagnet.org).

Анализируя выделенные экспериментально аномальные магнитные возмущения, можно составить достаточно полное представление о структуре наведенных волновых процессов, проявившихся, прежде всего, в вариациях магнитного поля Земли.

За два часа до главного удара в УНЧ диапазоне удается выделить пульсирующее аномальное магнитное излучение, которое свидетельствует о том, что процесс подготовки сейсмического события вступил в завершающую стадию. Амплитуды этого возмущения по мере приближения момента первого удара постепенно трансформируются, а период имеет тенденцию к увеличению, что свидетельствует о затухании резонансных взаимодействий между отдельными, спонтанно образовавшимися дилатантными структурами очаговой зоны [Николаевский, 1996, 2011; Алексеев и др., 2008; Собисевич и др., 2009, 2010, 2013а,б; Собисевич, 2012].

Наблюдаемые изменения удастся проследить, если обратиться к рис. 6, на котором приведены развернутые во времени магнитные возмущения. Необходимо отметить, что наведенные аномальные магнитные возмущения по вертикальному каналу (Z и Z_f) проявились слабо, что можно объяснить в первую очередь

Т а б л и ц а 1. Некоторые параметры магнитных обсерваторий, данные которых использовались при построении рис. 5–7

Код станции	Расположение	Страна	Широта, град	Долгота, град
KIV	Киев	Украина	50,43,	30,18
ODE	Одесса	Украина	46,5	30,53
KUB	Поселок Эльбрусский полигон ВСЕГИНГЕО	Россия	43,33	42,08
BAK	Баксанская нейтринная обсерватория	Россия	43,16	42,41
KAR	Научный стационар ИЗМИРАН в Карпогорах	Россия	63,58	44,3
BEL	Belsk	Poland	41,84	20,79
LZH	Lanzhou	China	36,1	103,84
MMB	Memambetsu	Japan	43,91	144,19
SIT	Sitka	United States of America	57,06	224,67
TUC	Tucson	United States of America	32,18	249,27

пространственной ориентацией возникших токовых систем, наведенных в зоне подготовки анализируемого сейсмического события.

Итак, развернутые волновые формы позволяют проследить за изменениями, которые происходят в структуре аномальных магнитных возмущений по мере приближения главного удара. Следует отметить, что амплитудные и фазовые значения аномальных магнитных возмущений, предвещающих анализируемое сейсмическое событие, вполне сопоставимы — явление, которое требует дальнейшего изучения.

Другой результат следует из сопоставления записей наведенных аномальных магнитных возмущений, полученных в Северо-Кавказской геофизической обсерватории, обсерваториях Украины «Одесса», «Киев» и Китая «LZH» в сопоставлении с таковыми в Карпогорах (см. рис. 5 и 7). Максимальная амплитуда аномального магнитного возмущения в Карпогорах (субавроральная область) составляет 2,5—3,0 нТл, а в районе Кавказа, Украины и Китая 1,2—1,5 нТл.

Проведенный анализ представленных экспериментальных результатов свидетельствуют о том, что протекающие в районе подготовки землетрясения и в очаговой зоне локальные геодинамические процессы в определенной мере трансформируют магнитное поле Земли, а окончательное формирование аномальных магнитных возмущений, отражающих отдельные этапы развивающейся катастрофы, происходит в системе литосфера — атмосфера — ионосфера — магнитосфера.

Природа фиксируемых аномальных магнитных возмущений, наблюдаемых в вариациях магнитного поля Земли перед коровыми землетрясениями, остается пока дискуссионной среди геофизиков [Гохберг и др., 1983; Руденко и др., 1996; Гуфельд и др., 1998; Гохберг, Шалимов, 2008; Собисевич и др., 2009, 2010, 2013а,б; Гульельми, Зотов, 2012].

Анализ работ ученых России и Украины, результаты наблюдений на базе Северо-Кавказской геофизической обсерватории, а также обсерваторий Украины, дают основание полагать, что появление аномальных магнитных возмущений связано, в первую очередь, с процессами разделения зарядов на этапе формирования разрывов геологической среды в районе развивающегося сейсмического события [Собисевич, 2012; Николаевский, 2011].

Детально геофизические процессы в зоне подготовки сейсмического события изложены в

статье известного ученого В. Н. Николаевского «Очаг землетрясения — события и предвестники удара», опубликованной в коллективной монографии «Экстремальные природные явления и катастрофы» [Николаевский, 2011].

Согласно развиваемым проф. В. Н. Николаевским подходам, на формирующиеся структуры в области подготовки крупных сейсмических событий «зоны» сжатия и растяжения возникают практически одновременно. Как и при взрыве, избыточный объем зоны растяжения вытесняется (иначе говоря, контур зоны разрушения перемещается) во внешний упругий массив. На этом этапе в ходе упруго-пластического деформирования происходит важнейшее явление локализации отдельных дилатантных структур. При развитии этого процесса появляются и поверхности скольжения. Локализация может быть ускорена поступлением воды в вакуумированное поровое пространство, снижением поверхностной энергии Гриффитса свежих трещин и их быстрым прорастанием. Именно этим завершается внутреннее развитие разрушения отдельных объемов наэлектризованных дилатантных структур, спонтанно формирующихся в очаге готовящегося землетрясения. Зоны разрушения «мгновенно» лишаются своего объема, а из зон упругого сжатия происходит динамическая отдача упругой и электромагнитной энергии.

Известно, что важным параметром, который отражает масштабы разуплотнения разломно-блоковых образований в земной коре, служит поведение коды S -волн. Следуя В. Н. Николаевскому, естественно полагать, что в масштабах региональной тектоники целые этажи коры могут работать как гигантские дилатирующие образования, обеспечивая условия для формирования и трансформации аномальных геофизических проявлений. Здесь могут реализоваться геолого-геофизические процессы, определяющие условия квазистатического динамического взаимодействия (уплотнения или разуплотнения) электростатических образований дилатантного типа [Николаевский, 1996, 2011; Собисевич, 2012].

Практика данных многолетних наблюдений аномальных магнитных возмущений на базе Северо-Кавказской геофизической обсерватории перед разномасштабными сейсмическими событиями в различных регионах Земли дала богатый экспериментальный материал. Анализ полученной геофизической информации дает основания полагать, что процесс генерации аномальных возмущений определяется, в первую

очередь, структурой трансформируемых дилатантных образований в зоне подготовки землетрясения. Это подтверждается характерной структурой волновых форм для отдельных сейсмоопасных районов Земли [Собисевич, 2012].

В случае очага рассматриваемого Сычуанского землетрясения 2013 г. важно отметить, что ось сжатия при реконструкции фокального механизма ориентирована на северо-запад, т. е. в направлении Восточной Европы, в пределах которой расположены аппаратурные комплексы Северо-Кавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН и научного стационара ИЗМИРАН. Ось растяжения при этом вертикальна. Именно такое расположение осей напряжений в очаговой области главного толчка определило структуру трансформируемых дилатантных образований в зоне подготовки землетрясения, что и способствовало возникновению аномальных магнитных возмущений перед сейсмическим событием, зарегистрированных на огромном расстоянии от эпицентра.

Заключение. Проведенный геолого-геофизический анализ аномальных возмущений в вариациях магнитного поля Земли, зарегистрированных в период подготовки и развития землетрясения в провинции Сычуань 20 апреля 2013 г., позволяет расширить знания в области изучения сложных механизмов подготовки и развития сильных землетрясений.

Существует мнение, что аномальные магнитные сигналы могут быть использованы при построении прогностических алгоритмов [Копытенко и др., 2000]. Однако сегодня пока трудно говорить об использовании этих сигналов при краткосрочном прогнозе коровых землетрясений, так как, если даже выделить в геомагнитном или гидродинамическом поле характерные структуры, предшествующие началу сильного сейсмического события, остаются

неопределенными его координаты и время в очаге [Собисевич и др., 2012, 2013а, б].

Возмущения в период сильных магнитных бурь ограничивают практическую значимость прогностического мониторинга в сейсмически активных областях с целью выделения аномальных возмущений. Недавние оригинальные работы группы исследователей из Калифорнии (сеть магнитных обсерваторий QuakeFinder для наблюдения УНЧ магнитных вариаций непосредственно над очаговой зоной) свидетельствуют о необходимости более широкого подхода к оценке рассматриваемого явления [Bleier et al., 2010].

Таким образом, регистрация, выделение и анализ отдельного класса УНЧ магнитных сигналов на этапе подготовки и развития крупных сейсмических событий позволяет продвинуться в понимании электромагнитных процессов, формирующихся при трансформации геологических структур в очаговой зоне.

Основания для проведения работ. Исследования проведены в рамках российско-украинского проекта «Экстремальные геофизические процессы и техногенные катастрофы: поиск путей снижения негативных последствий на основе анализа результатов мониторинга геофизических полей, новых данных о строении и геодинамике геологической среды, прогнозирование опасности от землетрясений и других угрожающих явлений эндогенного происхождения на территории Украины и России», осуществляемого в рамках Программы фундаментальных исследований № 4 Президиума РАН и гранта РФФИ (проект 13-05-91168-ГФЕН_а).

Основанием для проведения работ явились:
– Распоряжение Президиума НАН Украины от 13.03.2012 г. № 149.

– Решение Совета Программы фундаментальных исследований № 4 Президиума РАН.

Список литературы

Алексеев А. С., Глинский Б. М., Имомназаров Х. Х., Ковалевский В. В., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Хайретдинов С. М., Цибульчик Г. М. Мониторинг геометрии и физических свойств «поверхностной» и «очаговой» дилатантных зон методом вибросейсмического просвечивания сейсмоопасных участков земной коры. В кн.: *Изменения природной среды и климата. Природные катастрофы*. Ч. 1. Москва: ИФЗ РАН, 2008. Т. 1. С. 179—222.

Гохберг М. Б., Пилипенко В. А., Похотелов О. А. О

сейсмических предвестниках в ионосфере. *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1983. № 10. С. 17—21.

Гохберг М. Б., Шалимов С. А. Воздействие землетрясений и взрывов на ионосферу. Москва: Наука, 2008. 295 с.

Гульельми А. В., Зотов О. Д. О магнитных возмущениях перед сильными землетрясениями. *Физика Земли*. 2012. № 2. С. 84—87.

Гуфельд И. Л., Гусев Г. А., Матвеева М. И. Метастабильность литосферы как проявление восходя-

- щей диффузии легких газов. Докл. АН. 1998. Т. 365. № 5. С. 677—680.
- Копытенко Ю. А., Исмагилов В. С., Копытенко Е. А., Воронов П. М., Зайцев Д. Б. Магнитная локация источников геомагнитных возмущений. Докл. АН. 2000. Т. 371. № 5. С. 685—687.
- Николаевский В. Н. Катакластическое разрушение пород земной коры и аномалии геофизических полей. Физика Земли. 1996. № 4. С. 41—50.
- Николаевский В. Н. Очаг землетрясения — события и предвестники удара. В кн.: Экстремальные процессы и катастрофы. Т. 2. Геология урана, геоэкология, гляциология. Москва: ИФЗ РАН, 2011. С. 316—332.
- Орлюк М. И. Пространственные и пространственно-временные магнитные модели разноранговых структур литосферы континентального типа. Геофиз. журн. 2000. Т. 22. № 6. С. 148—165.
- Орлюк М. И., Роменец А. А. Новый критерий оценки пространственно-временной возмущенности магнитного поля Земли и некоторые аспекты его использования. Геофиз. журн. 2005. Т. 27. № 6. С. 1012—1023.
- Пашкевич И. К., Мозговая А. П., Орлюк М. И. Объемная магнитная модель Крыма и сопредельных регионов применительно к сейсмическому районированию. В кн.: Геодинамика и глубинное строение сейсмогенных зон Украины. Киев: Наук. думка, 1993. С. 9—18.
- Руденко О. В., Собисевич Л. Е., Собисевич А. Л. Электромагнитное поле вращающегося воздушного винта. Докл. АН. 1996. Т. 351. № 2. С. 260—263.
- Собисевич А. Л. Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. Москва: ИФЗ РАН, 2012. 510 с.
- Собисевич А. Л., Гриднев Д. Г., Собисевич Л. Е., Канониги К. Х. Аппаратурный комплекс Северокавказской геофизической обсерватории. Сейсм. приборы. 2008. Т. 44. С. 12—25.
- Собисевич Л. Е., Собисевич А. Л., Канониги К. Х. Аномальные геомагнитные возмущения, навденные катастрофическими цунамигенными землетрясениями в районе Индонезии. Геофиз. журн. 2012. Т. 34. № 5. С. 22—37.
- Собисевич Л. Е., Канониги К. Х., Собисевич А. Л. Наблюдения УНЧ геомагнитных возмущений, отражающих процессы подготовки и развития цунамигенных землетрясений. Докл. АН (Геофизика). 2010. Т. 435. № 4. С. 548—553.
- Собисевич Л. Е., Канониги К. Х., Собисевич А. Л. Ультранизкочастотные электромагнитные возмущения, возникающие перед сильными сейсмическими событиями. Докл. АН (Геофизика). 2009. Т. 429. № 5. С. 688—672.
- Собисевич Л. Е., Канониги К. Х., Собисевич А. Л., Мисеюк О. И. Геомагнитные возмущения в вариациях магнитного поля Земли на этапах подготовки и развития Турецкого (08.03. 2010 г.) и Северокавказского (19.01.2011 г.) землетрясений. Докл. АН (Геофизика). 2013а. Т. 449. № 1. С. 93—96.
- Собисевич А. Л., Старостенко В. И., Собисевич Л. Е., Кенгзера А. В., Шуман В. Н., Вольфман Ю. М., Потемка Э. П., Канониги К. Х., Гарифулин В. А. Черноморские землетрясения конца декабря 2012 г. и их проявление в геомагнитном поле. Геофиз. журн. 2013б. Т. 35. № 6. С. 54—71.
- Шуман В. Н., Савин М. Г. Математические модели геоэлектрики. Киев: Наук. думка, 2011. 240 с.
- Bleier T., Dunson C., Alvarez C., Freund F., Dahlgren R., 2010. Correlation of pre-earthquake electromagnetic signals with laboratory and field rock experiments. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1965—1975. doi:10.5194/nhess-10-1965-2010.
- Huang J. L., Zhao D. P., 2006. High-resolution mantle tomography of China and surrounding regions. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 111, B09305. doi: 10.1029/2005JB004066.
- Ji C., Hayes G., 2008. Finite Fault Model. Preliminary Result of the May 12, 2008, Mw 7.9, Eastern Sichuan, China Earthquake. http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2008/us2008ryan/finite_fault.php
- Lifen Z., Fatchurochman I., Wulin L., Jिंगgang L., Qiuliang W., 2013, Source rupture process in version of the 2013 Lushan earthquake, China. *Geodesy and Geodynamics* 4(2), 16—21. doi:10.3724/SP.J.1246.2013.02016.
- Purucker M. E., 2007. Magnetic Anomaly Map of the World. *Eos Trans. AGU* 88(25), 263. doi:10.1029/2007EO250003.

Geomagnetic field disturbances produced by Sychuan earthquake on April 20th 2013 ($M_s=7,0$)

© A. L. Sobisevich, E. A. Rogozhin, L. E. Sobisevich, K. H. Kanonidi,
A. V. Kendzera, A. V. Marchenko, M. I. Orlyuk, 2014

Results of observations on location of wave disturbances registered during the preparation and development of the earthquake in the territory of China in Sychuan province on April 20th 2013 are analyzed. Experimental data have been obtained at the North Caucasian geophysical observatory, a part of Laboratory of Applied geophysics and volcanology of the IEPH RAS, situated in the area of the Elbrus volcanic center (North Caucasus) [Sobisevich, Gridnev et al., 2008] and the scientific stationary IZMIRAN (Karpogory, subauroral area) as well as magnetic observatories «Odessa» and «Kiev» in the territory of Ukraine. In the structure of observed abnormal magnetic disturbances in variations of the earth's magnetic field, precursors of the earthquake, specific magnetic pseudo-wave forms of ULF range have been distinguished and partly analyzed, which reflect the processes of preparation and development of the crustal earthquake under examination. Materials on macroseismic and seismologic manifestations of the processes of preparation of the earthquake source as well as brief information on its tectonic location have been presented.

Key words: heterogeneous geological environment, geophysical fields, lowfrequency electromagnetic disturbances, fluid activity, seismicity, volcanism, non-linearity, models are mathematical, short-term precursors, earthquakes.

References

- Alekseev A. S., Glinskij B. M., Imomnazarov H. H., Kovalevskij V. V., Sobisevich A. L., Sobisevich L. E., Hajretidinov S. M., Cibul'chik G. M., 2008. Monitoring the geometry and physical properties of the «surface» and «focal» dilatancy zones by seismic Vibroseismic the earth's crust. In: *Change the environment and climate. Natural disasters*. P. 1. Moscow: IPE RAS Publ., Vol. 1, P. 179—222 (in Russian).
- Gohberg M. B., Pilipenko V. A., Pohotelov O. A., 1983. On seismic precursors in the ionosphere. *Izvestija AN SSSR. Fizika Zemli* (10), 17—21 (in Russian).
- Gohberg M. B., Shalimov S. L., 2008. The effects of earthquakes and explosions on the ionosphere. Moscow: Nauka, 295 p. (in Russian).
- Gul'el'mi A. V., Zotov O. D., 2012. On magnetic disturbances before strong earthquakes. *Fizika Zemli* (2), 84—87 (in Russian).
- Gufel'd I. L., Gusev G. A., Matveeva M. I., 1998. Metastability of the lithosphere as a manifestation of rising diffusion of light gases. *Doklady AN* 365(5), 677—680 (in Russian).
- Kopytenko Ju. A., Ismagilov V. S., Kopytenko E. A., Voronov P. M., Zajcev D. B., 2000. Magnetic location sources of geomagnetic disturbances. *Doklady AN* 371(5), 685—687 (in Russian).
- Nikolaevskij V. N., 1996. Cataclastic destruction of crustal rocks and geophysical anomaly fields. *Fizika Zemli* (4), 41—50 (in Russian).
- Nikolaevskij V. N., 2011. The earthquake — the harbinger of events and stroke. In: *Extreme processes and catastrophes. Vol. 2. Uranium geology, geo-ecology, glaciology*. Moscow: IPE RAS, 316—332 (in Russian).
- Orlyuk M. I., 2000. Spatial and spatio-temporal models of magnetic structures of different ranks of the lithosphere of the continental type. *Geofizicheskij zhurnal* 22(6), 148—165 (in Russian).
- Orlyuk M. I., Romenec A. A., 2005. A new criterion for evaluating spatial and temporal disturbance of the magnetic field of the Earth and some aspects of its use. *Geofizicheskij zhurnal* 27(6), 1012—1023 (in Russian).
- Pashkevich I. K., Mozgovaja A. P., Orlyuk M. I., 1993. Volumetric magnetic model Crimea and adjacent regions in relation to seismic zoning. In: *Geodynamics and deep structure of the seismogenic zones of Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, 9—18 (in Russian).
- Rudenko O. V., Sobisevich L. E., Sobisevich A. L., 1996. Electromagnetic field of a rotating propeller. *Doklady AN* 351(2), 260—263 (in Russian).
- Shuman V. N., Savin M. G., 2011. Mathematical models geoelectrics. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
- Sobisevich A. L., 2012. Selected problems of mathematical geophysics, Volcanology and Geo. Moscow: IPE RAS, 510 p. (in Russian).
- Sobisevich A. L., Gridnev D. G., Sobisevich L. E., Kanonidi K. H., 2008. Hardware complex of the North Caucasus Geophysical Observatory. *Sejsmicheskie pribory* 44, 12—25 (in Russian).

- Sobisevich L. E., Sobisevich A. L., Kanonidi K. H.*, 2012. Anomalous geomagnetic perturbations induced catastrophic tsunamigenic earthquake near Indonesia. *Geofizicheskij zhurnal* 34(5), 22—37 (in Russian).
- Sobisevich L. E., Kanonidi K. H., Sobisevich A. L.*, 2010. Observations of ULF geomagnetic disturbances, reflecting the processes of preparation and development of the tsunami earthquakes. *Doklady AN (Geofizika)* 435(4), 548—553 (in Russian).
- Sobisevich L. E., Kanonidi K. H., Sobisevich A. L.*, 2009. Ultra electromagnetic disturbances occurring before strong seismic events. *Doklady AN (Geofizika)* 429(5), 688—672 (in Russian).
- Sobisevich L. E., Kanonidi K. H., Sobisevich A. L., Misejuk O. I.*, 2013a. Geomagnetic disturbances in the Earth's magnetic field variations on the stages of preparation and development of the Turkish (08.03.2010) and the North Caucasus (19.01.2011) earthquakes. *Doklady AN (Geofizika)* 449(1), 93—96 (in Russian).
- Sobisevich A. L., Starostenko V. I., Sobisevich L. E., Kendzera A. V., Shuman V. N., Vol'fman Ju. M., Potemka Je. P., Kanonidi K. H., Garifulin V. A.*, 2013b. Black Sea earthquake end of December 2012, and their manifestation in the geomagnetic field. *Geofizicheskij zhurnal* 35(6), 54—71 (in Russian).
- Bleier T., Dunson C., Alvarez C., Freund F., Dahlgren R.*, 2010. Correlation of pre-earthquake electromagnetic signals with laboratory and field rock experiments. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1965—1975. doi:10.5194/nhess-10-1965-2010.
- Huang J. L., Zhao D. P.*, 2006. High-resolution mantle tomography of China and surrounding regions. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 111, B09305. doi: 10.1029/2005JB004066.
- Ji C., Hayes G.*, 2008. Finite Fault Model. Preliminary Result of the May 12, 2008, Mw 7.9, Eastern Sichuan, China Earthquake. http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2008/us2008ryan/finite_fault.php
- Lifen Z., Fatchurochman I., Wulin L., Jinggang L., Qiu-liang W.*, 2013. Source rupture process in version of the 2013 Lushan earthquake, China. *Geodesy and Geodynamics* 4(2), 16—21. doi:10.3724/SP.J.1246.2013.02016.
- Purucker M. E.*, 2007. Magnetic Anomaly Map of the World. *Eos Trans. AGU* 88(25), 263. doi:10.1029/2007EO250003.