

Аномалии электропроводности и внутриплитовые землетрясения западной части Украинского щита и Вольно-Подольской плиты

© А. Н. Кушнир, Т. К. Бурахович, 2012

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 2 апреля 2012 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Тривимірна геоелектрична модель земної кори та верхньої мантії Могилів-Подільсько-Новодністровської сейсмонебезпечної ділянки характеризується електропровідними зонами на глибинах від 3 до 5 км з $\rho=10$ Ом·м, від 15 до 30 км з $\rho=30$ Ом·м та від 50—70 до 120 км з $\rho=30$ Ом·м. На основі результатів геоелектричних досліджень доповнено та деталізовано характеристики Могилів-Подільсько-Новодністровської сейсмонебезпечної зони, яка приурочена до зчленування глибинних Подільського, Білоцерківського, Жмеринського та інших розломів нижчого порядку.

Three-dimensional geo-electric model of the Earth's crust and upper mantle of the Mogilev-Podol-Novodnistrovian seismically dangerous area is characterized by electro-conducting zones at the depths from 3 to 5 km with $\rho=10$ Ohm·m, from 15 to 30 km with $\rho=30$ Ohm·m and from 50—70 to 120 km with $\rho=30$ Ohm·m. On the base of the results of geo-electric studies, characteristics of Mogilev-Podol-Novodnistrovian seismically dangerous zone which is confined to joint areas of Podolian, Belotserkovian, Zhmerynskiy and other ones of deep faults with lower range have been replenished and specified.

Введение. Платформенная территория Украины относится к регионам со слабой сейсмической активностью, малыми скоростями сейсмотектонических деформаций, неравномерно распределенными по площади землетрясениями различной энергии, вплоть до сильных. Сейсмичность таких областей представляет наибольший интерес и является одним из наиболее ярких проявлений современной тектонической активности.

Без сомнения, существует взаимосвязь между сейсмическими процессами и геолого-геоэлектрическими параметрами, которые отражают современное состояние земных недр. Региональные аномалии высокой электропроводности в условиях древних платформ связаны с проявлениями сейсмической активности [Кулик, 2004; Кулик, Кушнир, 2007]. Землетрясения такого рода в основном коррелируют с зонами сочленения геологических структур и активными глубинными тектоническими разломами.

На территории платформенной части Украины выделены регионы, в которых установлена взаимосвязь землетрясений платформенной части Украины с аномальнопроводящими структурами земной коры и верхней мантии:

а) Донбасс и восточная часть Днепровско-Донецкой впадины; б) восточная окраина Ингулецко-Криворожской шовной зоны в районе Криворожско-Кременчугской разломной зоны; в) западная часть Приазовского мегаблока; г) западная граница Украинского щита (УЩ) и его склон; д) северная Добруджа и Преддобруджский прогиб.

Взаимосвязь между эпицентрами сейсмических событий и пространственным расположением Черновицко-Коростенской аномалии электропроводности. Основное количество землетрясений на платформенной части Украины приурочено к ее западным регионам, где сосредоточены Черновицко-Коростенская, Яворовская, Вольнская и Коростенская аномалии электропроводности (рис. 1). Черновицко-Коростенская аномалия характеризуется повышенной проводимостью земной коры и верхней мантии. Землетрясения сконцентрированы на юго-западе в контурах коровой аномалии. За ее пределами сейсмические события расположены в пределах пространственного распределения мантийной аномалии высокой электропроводности [Кушнир, Зайцев, 2009; Зайцев, Кушнир, 2009].

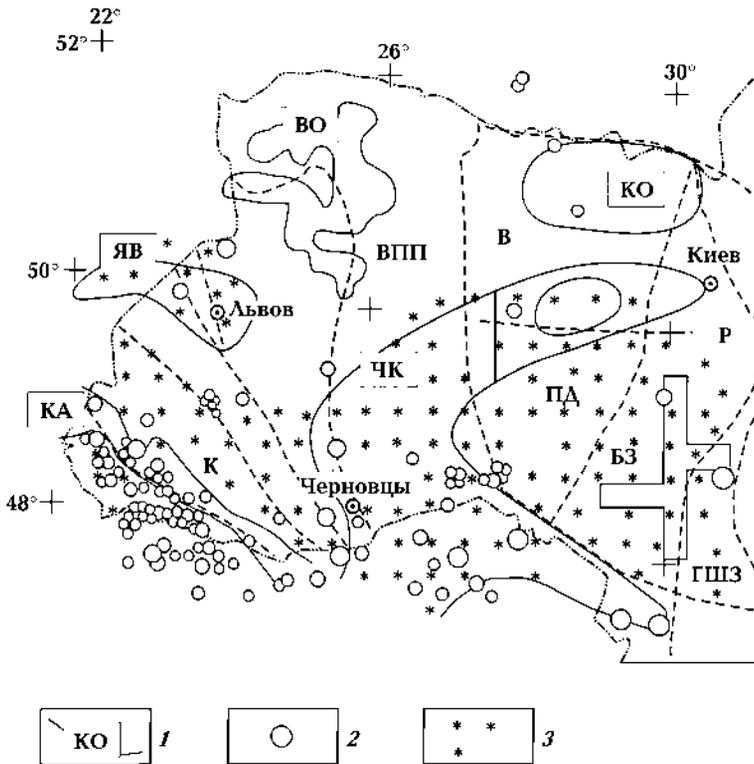


Рис. 1. Схема аномалий электропроводности и эпицентров землетрясений: 1 — контуры аномалий электропроводности (КО — Коростенская; ВО — Волынская; ЧК — Черновицко-Коростенская; ЯВ — Яворовская; КА — Карпатская); 2 — эпицентры землетрясений; 3 — аномалии электропроводности верхней мантии. Тектонические структуры: К — Карпаты; ВПП — Волино-Подольская плита. Геоблоки: В — Волынский; ПД — Подольский; Р — Росинский; БЗ — Бутский. ГШЗ — Голованевская шовная зона.

Сейсмические события ($M=4,2\div5,3$) на территории западной части Украины проявились с силой сотрясений выше 5 баллов по оценкам, приведенным в работе [Кутас и др., 2006] (см. рис. 1). Эпицентры землетрясений 1984, 1989 и 2000 гг. с $M=2,5\div3,5$ и 2003 г. с $M=1,0$ территориально совпадают с Подольской глубинной разломной зоной, а также с пересекающим ее Жмеринским разломом.

Житомирский, Могилев-Подольский и Хмельникско-Шепетовской сейсмоопасные участки пространственно коррелируют с Черновицко-Коростенской аномалией повышенной электропроводности.

По результатам 3D геоэлектрического моделирования [Бурахович, Кулик, 2009] на юге Волино-Подольской плиты (ВПП) и западе УЩ в интервале глубин от 6—15 до 30 км в земной коре выявлена большая по площади и сложная по своему строению Черновицко-Коростенская аномалия электропроводности (см. рис. 1). Северная часть аномалии с удельным электрическим сопротивлением $\rho=5$ Ом·м

располагается в пределах Росинского и Подольского блоков УЩ. Западная часть ($\rho=20$ Ом·м) выходит за границы УЩ и простирается в двух направлениях — на юг и юго-восток вдоль Подольского глубинного регионального разлома.

В этом же интервале глубин в зоне контакта Бутского мегаблока и Голованевской шовной зоны выделена субмеридиональная проводящая зона с $\rho=10$ Ом·м. Она трассируется вдоль Тальновского регионального разлома — западного ограничения Голованевской шовной зоны.

В мантии УЩ также наблюдается существенно неоднородное распределение геоэлектрических параметров (см. рис. 1). В юго-западной части УЩ обнаружен проводник с верхней кромкой на глубине 70 км с удельным сопротивлением 25 Ом·м. Его северная границы проходит по 50° с.ш., восточная — между 31° и 32° в.д., западная — по 26° в.д., южная — не установлена (южнее 48° с.ш.). На западе проводник погружается до глубины 90—100 км и гальванически связан с аномалией в верхней мантии Карпатского региона.

Внутриплитовая сейсмичность Могилев-Подольско-Новоднестровского сейсмоопасного участка. Возникновение землетрясений в 1984 г. связывалось с нарушением геодинамического равновесия в приповерхностной части земной коры, обусловленным возведением Новоднестровской ГЭС. Эпицентры землетрясений локализовались в двух направлениях: в 15—20 км восточнее плотины (г. Могилев-Подольский) и в 5—10 км западнее (г. Новоднестровск). В случае наиболее сильных толчков магнитуда достигала значений 3,5—3,8, а интенсивности сотрясений вблизи эпицентра — 5 баллов. Согласно известному соотношению между M , I_0 и h_0 , глубина очага соответствует 5 км [Кутас и др., 2006].

На юго-восточном продолжении протяженной глубинной Подольской разломной зоны находится узел пересечения ее с региональным глубинным Белоцерковским разломом, который следует учитывать при определении размеров сейсмоактивного района. Зона воз-

никновения очагов землетрясений, возможно, захватывает и область пересечения Белоцерковского и Бершадского разломов на северо-востоке, Жмеринского и Летичевского на северо-западе. Условное название выделяемого потенциально сейсмоопасного участка — Могилев-Подольский.

Согласно работе [Андрущенко и др., 2010], вблизи эпицентров землетрясений 22.10.2006 г. ($MD=2,4$) и 18.11.2007 г. ($ML=2,7$; $I_0=4$ балла) в 2005—2007 гг. отмечено более 8 событий меньшей магнитуды ($1,4 \leq MD < 2,0$). В данной зоне к востоку от очагов новоднестровских землетрясений 09.06.2007 г. зарегистрировано сейсмическое событие ($ML=2,2$), эпицентр которого расположен вблизи г. Могилев-Подольский, где при землетрясении 24.02.1984 г. интенсивность сотрясений в эпицентре достигала 5 баллов. Магнитуда MSH двух сильнейших толчков из серии 24.02—29.02.1984 г. равна 3,6; по оценке сейсмической станции «Кишинев» — 3,8; по записям карпатских станций — 3,4; 3,5.

Экспериментальные геоэлектрические исследования в районе Днестровского водохранилища. В Могилев-Подольском сейсмоопасном участке (район Днестровского водохранилища) выполнялись экспериментальные работы методами МТЗ и МВП в 12 пунктах наблюдений (рис. 2). Обработка проведена с помощью программного комплекса PRC_MTMV

[Varentsov et al., 1997; 2000]. Получены распределения реальной VEC_{Re} и мнимой VEC_{Im} части типперов, а также амплитудные и фазовые значения импеданса и кривых кажущегося сопротивления в меридиональном (ρ_{xy}) и широтном (ρ_{yx}) направлениях на периодах от 120 до 3500 с.

Кроме этих новых экспериментальных данных, при построении 3D модели использовались результаты предыдущих исследований [Ингеров, 1987; 1988; Ingerov et al., 1999].

По результатам исследований [Ингеров, 1988] на периоде геомагнитных вариаций 150 с были построены диаграммы распределения модулей индукционных параметров $|C_x|$ и $|C_y|$.

Значения модуля $|C_x|$ характеризуются максимальными значениями 0,4—0,45 в центральной части и минимальны 0,1—0,2 на западе и востоке планшета. Минимальные величины модуля $|C_y| = 0,1 \div 0,15$ выстраиваются в вытянутую структуру с северо-запада на юго-восток и растут к северо-востоку и юго-западу до 0,2—0,35.

Построение 3D модели основывалось на анализе магнитовариационных параметров поля геомагнитных вариаций $T=150$ с (рис. 3), типперов для периодов 150, 400, 1200, 3400 с (см. рис. 1) и магнитотеллурических зондирований в диапазоне периодов до 3400 с в 12 пунктах [Ингеров, 1987; Ingerov et al., 1999; Кушнір, Зайцев, 2009].

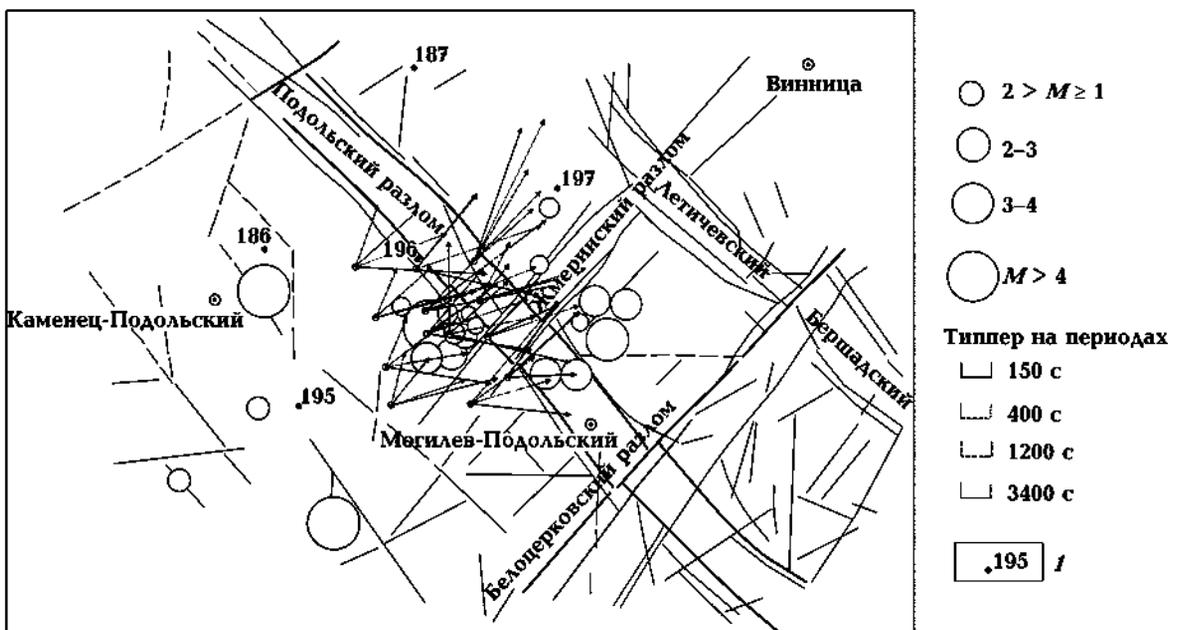


Рис. 2. Область построения трехмерной геоэлектрической модели Могилев-Подольско-Новоднестровского сейсмоопасного участка, наблюдаемые типперы и пункты МТЗ по данным [Кушнір, Зайцев, 2009]; 1 — пункты МТЗ по данным [Ингеров, 1987].

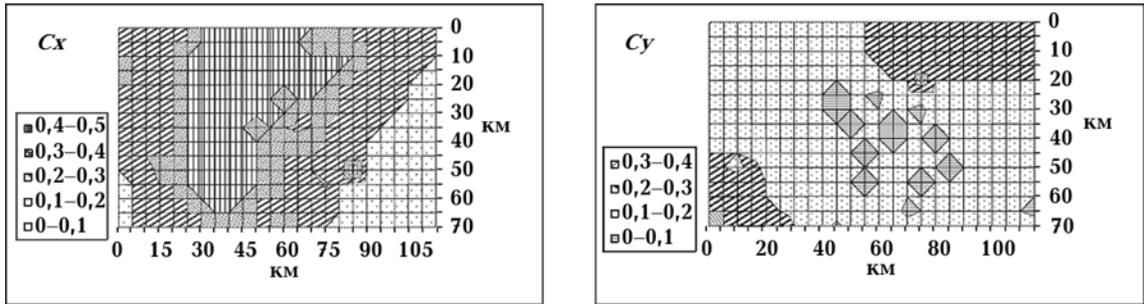


Рис. 3. Модули индукционных параметров на периоде геомагнитных вариаций 150 с.

Построение 3D геоэлектрической модели Могилев-Подольско-Новоднестровского сейсмоопасного участка. Инструментом для создания и расчета электрических и магнитных компонент магнитотеллурического поля, типперов и кривых ρ_k послужила широко распространенная программа 3D моделирования [Maski et al., 1994].

На магнитотеллурическое поле в локальной области большое влияние оказывают геоэлектрические свойства и параметры глубинного «нормального» горизонтально-слоистого разреза и региональной латерально-неоднородной структуры, внутри которых расположен район исследования.

Для построения модели распределения ρ пород земной коры и верхней мантии была сформирована область моделирования, состоящая из 26250 параллелепипедов. Ось x — направлена на восток, ось y — на север, ось z — к центру Земли. В соответствии с направлением осей расположены ячейки ($35 \times 25 \times 30$), каждая из которых характеризуется однородным ρ . Эта область была разделена на аномальную, содержащую локальные неоднородности, и окружающую ее нормальную (горизонтально-слоистую) среды. Горизонтальные размеры ячеек в аномальной области модели составляют 5 км, ячейки на окраинах области моделирования имеют большие размеры для более точного описания затухания горизонтальных аномальных полей. Вертикальные размеры ячеек изменялись от 20 м (в верхних) до 20 км (в глубинных) слоях. Границы глубинных аномальных объектов описывались ячейками с размерами не более 500 м. Такое сложное описание модели связано с резкими изменениями параметров электропроводности региона и соответственно с необходимостью подробного описания границ раздела на глубинах и разных расстояниях от исследуемой аномальной структуры.

В 3D модели были заложены параметры электропроводности осадочных отложений,

суммарная продольная проводимость которых изменяется от 5—50 См на северо-востоке планшета, что соответствует суммарной проводимости УЩ, до 300 См на юго-западе планшета, где находятся осадочные толщи Предкарпатского прогиба. Мощность до кристаллического фундамента (поверхностного проводящего слоя) колеблется от 20 до 1500 м. Распределение ρ по слоям и их мощности приняты условно, исходя из данных о значениях суммарных продольных проводимостей осадочных отложений и глубины до консолидированного фундамента.

Девять верхних горизонтальных слоев модели описывают распределение ρ осадочных отложений и части консолидированной коры региона. В первом слое (мощностью 20 м) удельное электрическое сопротивление варьирует от 1 до 7 Ом·м. Во втором слое той же мощности сопротивление изменяется от 2,5 до 1000 Ом·м. Последний слой, описывающий проводимость осадочных отложений, имеет мощность 500 м и сопротивление 5, 30, 1000 Ом·м.

Региональная и локальная аномальные модели рассматривались на фоне хорошо известного для УЩ одномерного разреза [Бурахович, Кулик, 2009].

Прежде всего были рассчитаны и проанализированы индукционные параметры для модели, которая состоит только из неоднородного поверхностного слоя проводящих осадочных отложений на фоне «нормального» разреза. Оказалось, что распределение и величины модулей индуктивных параметров и кривых МТЗ существенно отличаются от наблюдаемых данных, т. е. в консолидированной коре должны присутствовать аномалии высокой электропроводности.

Следующий шаг моделирования заключается в введении в модель коровых и астеносферных объектов высокой проводимости, соответствующих региональному распределению электропроводности и определению влияния этой структуры на локальную область построе-

ния модели. Параметры этих структур и их пространственное расположение описано выше.

Рассчитанные для этих моделей изолинии $|C_y|$ простираются в основном в субширотном направлении и не соответствуют наблюдаемой структуре северо-западного—юго-восточного простирания.

Согласно результатам сопоставления магнитуды землетрясений с плотностью теплового потока в приповерхностном слое земной коры и расчетам M , проведенным с использованием длины разрывных нарушений в местах пересечения разломов в выделенных потенциально сейсмоопасных районах, предполагается небольшая глубина (2—5 км) залегания очагов землетрясений [Кутас и др., 2006].

Геоэлектрический разрез, полученный по результатам инверсий кривых МТЗ методом ОССАМ [Гордиенко и др., 2005], в районе пикетов 600 и 500 км геотраверса IV, проходящего южнее области исследования, содержит проводники с $\rho < 100$ Ом·м на глубинах с верхними кромками 2—3 и 15 км.

Было рассчитано и проанализировано огромное количество моделей, в которых рассматривалось несколько вариантов электропроводящих структур:

– пространственное распределение прово-

дника на глубине 2—5 км, для которого ρ менялось от 1 до 500 Ом·м;

– в разных частях региональной аномалии ρ изменялось от 1 до 100 Ом·м. Рассматривались модели с отсутствием проводника в Коростенской части и со смещением восточной границы на запад на 5—15 км;

– изменение глубины залегания верхней кромки проводника в верхней мантии от 50 до 70 км и ρ от 30 до 100 Ом·м, смещение северной границы на юг.

В результате этих исследований, можно предположить, что в области Днестровского водохранилища и г. Могилев-Подольский существуют электропроводящие зоны на разных глубинах:

– в приповерхностном слое (до 70 м) были выделены несколько проводящих локальных объектов как субширотного, так и субмеридионального простираний с небольшими (до 40×5 км²) пространственными размерами ($\rho = 1 \div 2,5$ Ом·м);

– вытянутая структура с юго-востока на северо-запад расположена на глубине 3—5 км ($\rho = 10$ Ом·м);

– практически не были изменены пространственные параметры в земной коре региональной Черновицко-Коростенской ано-

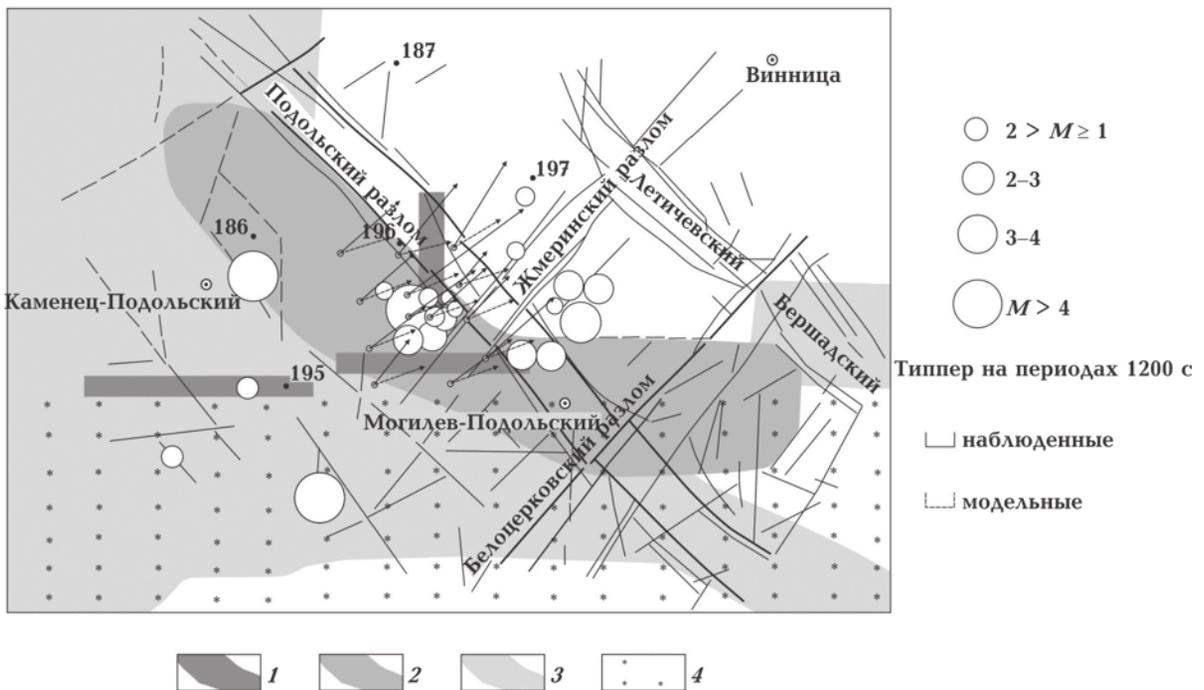


Рис. 4. Аномальные зоны трехмерной модели Могилев-Подольско-Новоднестровского сейсмоопасного участка, типперы на периоде 1200 с (наблюдаемые и рассчитанные): 1 — глубина залегания от 0 до 70 м, $\rho = 1$ Ом·м; 2 — от 3 до 5 км, $\rho = 10$ Ом·м; 3 — от 15 до 30 км, $\rho = 30$ Ом·м; 4 — от 50 до 120 км, $\rho = 30$ Ом·м.

малии (только в коростенской части принято $\rho=10$ Ом·м);

– в модели почти повсеместно на глубине 70 км присутствует проводник в верхней мантии, и в южной части планшета происходит поднятие его верхней кромки до 50 км ($\rho=30$ Ом·м).

Рассчитанные параметры такой модели хорошо соответствуют наблюдаемым индукци-

онным параметрам для периода геомагнитных вариаций 150 с и типперам в широком диапазоне периодов (рис. 4).

В результате подбора и сравнения с наблюдаемыми данными было получено удовлетворительное согласование кривых ρ_K (рис. 5).

Возможная природа аномальной проводимости Могилев-Подольско-Новодрестровского сейсмоопасного участка. По результа-

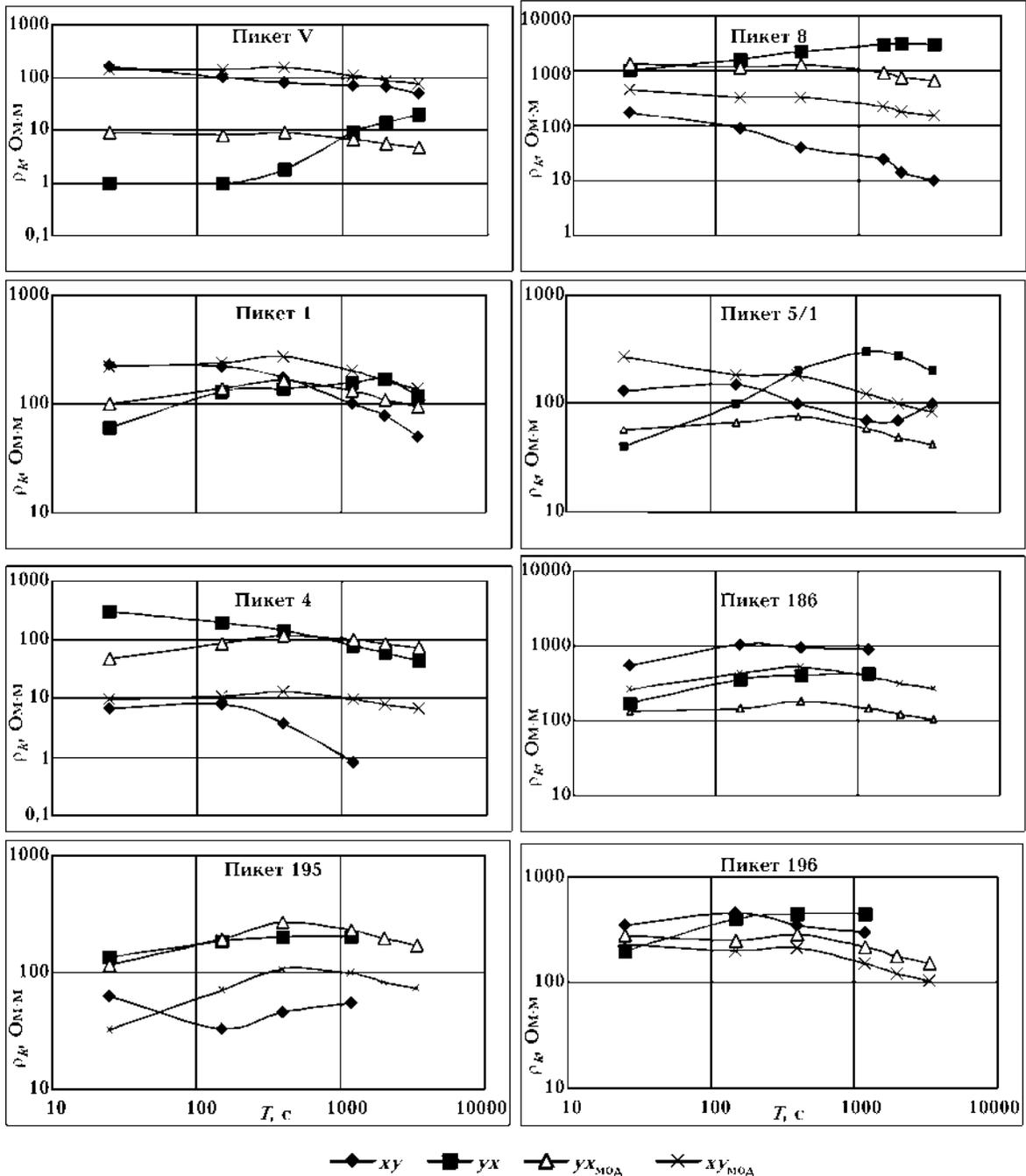


Рис. 5. Примеры сравнение модельных и экспериментальных кривых МТЗ.

там моделирования была выделена проводящая структура на глубине 3—5 км с $\rho=10$ Ом·м. Она соответствует системе разломов различного ранга, ориентированных в разных направлениях (диагональных и ортогональных). Выделенная проводящая структура на западе планшета имеет ориентацию с северо-запада на юго-восток и с севера ограничивается Подольским глубинным разломом. Далее структура меняет свое направление на субширотное и вмещает узел сочленения зон глубинных разломов (Подольского, Немировского (Белоцерковского), Жмеринского) и разломов более низкого порядка.

Подольский тектонический разлом проходит параллельно долине р. Днестр, его длина составляет 250 км и выделяется как естественный уступ с амплитудой смещения 150—200 м. На поверхности разлом проявляется как зона интенсивного дробления пород кристаллического фундамента [Тектоника..., 1986].

Земная кора исследуемого региона характеризуется проводящими областями, которые соответствуют региональной Черновицко-Коростенской аномалии, особенно в области Подольского глубинного разлома, который проявляется на глубине от 15 до 30 км повышенной проводимостью с $\rho=30$ Ом·м. Глубинность Подольского разлома подтверждается и другими геофизическими данными. В области пересечения этого разлома (несколько южнее территории исследования) трансектом Вранча — Южно-Украинская АЭС по сейсмологическим данным отмечается смена мощности земной коры и скоростного разреза мантии [Харитонов и др., 1993].

Скорее всего, возникновение сейсмичности связано не с резким изменением глубины залегания границы М (на 5—15 км), которое проявляется в нарушенных зонах литосферы, а с особенностями изменения мощности земной коры вблизи разломов в ограниченном диапазоне расстояний [Кутас и др., 2007].

Большой интерес вызывает вопрос о природе аномально высокой электропроводности в верхней мантии западной части Украины (глубина залегания кровли проводника — 70 км, мощность — 50 км, ρ — 20 Ом·м). В детальной трехмерной геоэлектрической модели Могилев-Подольско-Новоднестровского сейсмоопасного участка наблюдается подъем кровли проводника вдоль субширотного простирания Сокиряны—Могилев-Подольский на глубину 50 км. Удельное электрическое сопротивление мантийного проводника — 30 Ом·м.

Западная часть УЩ характеризуется относительно пониженными значениями скоростей распространения продольных сейсмических волн на глубине более 50 км примерно до 250 км по сравнению с Ингульским и Среднеприднепровским мегаблоками УЩ [Гейко и др., 2005; 2006]. В статье [Гейко и др., 2006] указывается, что «под окраинными блоками на западе, Волынским и Днестрово-Бугским, мощность литосферы увеличивается до 400 км» (среднее значение для УЩ около 300 км). Однако по данным [Nolet, Zielhuis, 1994] в сейсмической модели для поперечных волн здесь фиксируется увеличение скорости с севера на юг на глубине 80 км, а на глубине 300 км уменьшение скорости в том же направлении. Обе модели на глубине свыше 300 км согласуются между собой.

Таким образом, многие данные согласованно свидетельствуют об аномальности земной коры и верхней мантии южной части ВПП и запада УЩ по сравнению с распределением физических параметров в докембрийских щитах.

Возможно, электропроводящие слои в верхней мантии могут быть связаны не только с тектонической активностью и наличием частично расплавленной электропроводящей фазы, но и с графитизированными зонами деплетированной мантии.

Предположение, что высокая электропроводность нижней части коры объясняется только тонкими пленками графита на поверхности зерен — маловероятно, потому что пленка должна быть достаточной толщины.

Появление воды в глубинных частях коры может быть связано и с процессами окисления водорода и углеводородов, выделяющихся при дегазации мантии [Гуфельд, 2007]. Примерно при тех же термобарических условиях возможно частичное плавление пород средней части коры. Можно предположить комбинацию электропроводящих включений и флюида, которые образуют сеть проводящих каналов и создают аномальные области высокой электропроводности.

В районе Среднего Приднестровья характерно развитие разрывных нарушений, среди которых преобладают разломы северо-восточного и северо-западного простираний, проявляющие активность в неоген-четвертичное время. Суммарная амплитуда неоген-четвертичных движений составила здесь от –200 до +100 м [Палиенко, 1990].

Приднепровская морфоструктура относится к зоне знакопеременных движений с пре-

обладанием поднятий [Палиенко, 1992]. Максимальные суммарные амплитуды движений от +300 до +360 м.

Таким образом, район исследований находится вблизи линии, где происходит изменение знака современных движений, что свидетельствует о возможности образования новых зон сейсмической активности.

Кроме того, район исследований характеризуется уникальной аномалией концентрации гелия, превосходящий нормальный уровень на три порядка, и своеобразным химизмом подземных вод, указывающим на поступление глубинных флюидов [Крайнов, Швец, 1980].

Согласно работам [Гордиенко и др., 2005], в районе Подольского разлома установлены следы недавнего подъема мантийных флюидов. Из этого же источника стало известно, что в исследуемом районе присутствует аномалия теплового потока, достигающего 80 мВт/м².

Выводы. Построена 3D геоэлектрическая модель земной коры и верхней мантии, которая характеризуются аномально низкими значениями электрического сопротивления. В недрах Могилев-Подольско-Новоднестровского сейсмоопасного участка выделена проводящая

структура в земной коре на глубине от 3 до 5 км ($\rho=10$ Ом·м), от 15 до 30 км ($\rho=30$ Ом·м) и верхней мантии от 50—70 до 120 км ($\rho=30$ Ом·м).

По результатам геоэлектрических исследований дополнены и детализированы характеристики Могилев-Подольско-Новоднестровской сейсмоопасной зоны, которые приурочены к сочленению глубинных (Подольского, Немировского (Белоцерковского), Жмеринского) и разломов более низкого порядка.

Присутствие повышенного теплового потока, сейсмической активности и аномалии высокой электропроводности свидетельствует о наличии вторичного метаморфизма, который в свою очередь генерирует образование флюидов разного генезиса, способных формировать обширные трещинно-поровые массивы, заполненные этим же флюидом.

Наличие флюида в трещинно-поровом пространстве может ослаблять горные породы, а в сочетании с изменением динамических нагрузок как техногенного, так и естественного характера — вызывать изменения в геологической среде, что проявляется в виде быстрого или медленного выделения накопившейся сейсмической энергии.

Список литературы

- Андрущенко Ю. А., Кутас В. В., Кенгзера А. В., Омельченко В. Д., Гордиенко Ю. А., Калитова И. А. Природа сейсмических событий, зарегистрированных на западе Украинского щита в 2005—2007 гг. // Геофиз. журн. — 2010. — 32, № 2. — С. 64—74.
- Бурахович Т. К., Кулик С. Н. Трехмерная геоэлектрическая модель земной коры и верхней мантии западной части Украинского щита и его склонов// Геофиз. журн. — 2009. — 31, № 1. — С. 88—99.
- Гейко В. С., Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. 3-D P-скоростное строение верхней мантии Украины// Геофиз. журн. — 2006. — 28, № 1. — С. 3—16.
- Гейко В. С., Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Региональная 3-D скоростная модель мантии Сарматии (юго-запад Восточно-Европейской платформы)// Геофиз. журн. — 2005. — 27, № 6. — С. 927—939.
- Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Ковачикова С., Логвинов И. М., Тарасова В. Н., Усенко О. В. Украинский щит (Геофизика, глубинные процессы). — Киев: Корвін пресс, 2005. — 210 с.
- Гуфельд И. Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты. — Королев: ЦНИИМаш, 2007. — 160 с.
- Зайцев Г. Н., Кушнир А. Н. Связь проводящих структур с областью повышенной сейсмической активности в районе Днестровского водохранилища: Матер. XX Рос. конф. молодых ученых, посвященной памяти К. О. Кратна. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. — С. 162—165.
- Ингертов А. И. Карта магнитных параметров МТЗ и МВП юго-восточной части Украинского щита. — 1:1 000 000. — Киев: Укргеолфонд, 1988. — № 50034.
- Ингертов А. И. Результаты региональных исследований МТЗ вдоль геотраверса Ужгород — Ворошиловград: Отчет Центр. геофиз. экспедиции «Укргеология» № 248/87. — 1987.
- Крайнов С. Р., Швец В. М. Основы геохимии подземных вод. — Москва: Недра, 1980. — 288 с.
- Кулик С. Н., Кушнир А. Н. Внутриплитовые землетрясения и аномалии электропроводности: Наук. пр. Ин-ту фундамент. досліджень. — Киев: Логос, 2007. — С. 16—25.
- Кутас В. В., Кенгзера А. В., Омельченко В. Д., Дрогич-

- кая Г. М., Калитова И. А. Проявления сейсмичности в XVIII—XX вв. и потенциально сейсмически опасные зоны западной части Украины // Геофиз. журн. — 2006. — **28**, № 4. — С. 3—15.
- Кутас В. В., Омельченко В. Д., Кензера А. В., Дрогичкая Г. М., Калитова И. А. Сейсмичность западной части Восточно-Европейской платформы в пределах Украины // Геофиз. журн. — 2007. — **29**, № 5. — С. 59—72.
- Кушнір А. М., Зайцев Г. М. Результати профільних спостережень магнітотелуричного поля в районі Дністровського водосховища / Тези доп. Першої міжнар. конф. «Проблеми електромагнітних зондуючих систем», 27—30 вересня 2009 р., Київ.
- Палиенко В. П. Отражение динамики блоков движения в новейшей тектонике и современном рельефе // Геотектоника Вольно-Подольи. — Киев: Наук. думка, 1990. — С. 203—209.
- Палиенко В. П. Новейшая геодинамика и ее отражение в рельефе Украины. — Киев: Наук. думка, 1992. — 115 с.
- Тектоника Украинских Карпат (Объяснительная записка к тектонической карте Украинских Карпат, масштаб 1:200 000) / Отв. ред. С. С. Круглов. — Киев: УкрНИГРИ, 1986. — 152 с.
- Харитонов О. М., Красовский С. С., Куприенко П. Я., Кутас В. В., Сологуб Н. В., Дрогичкая Г. М., Тимошенко В. И., Шляховский В. А. Литосферный трансект Вранча-Южно-Украинская АЭС // Геофиз. журн. — 1993. — **15**, № 5. — С. 23—31.
- Varentsov Iv. M., Golubev N. G., Martanus E. R., Sokolova E. Yu., Nalivaiko K. V. Magnetotelluric processing system PRC-MTMV its applications // Russian-German Seminar «Actual Problems in Deep EM Studies» (Extended Abstracts). — Moscow: OIFZ RAN, 1997. — P. 51—52.
- Varentsov Iv. M., Sokolova E. Yu., the BEAR Working Group. Data processing techniques for the array EM sounding // XV Working on EM Induction in the Earth. Cabo Frio. — Brazil. — 2000. — P. 79.
- Ingerov A. I., Rokityansky I. I., Tregubenko V. I. Forty years of MTS studies in the Ukraine // Earth Planet. Space. — 1999. — **51**. — P. 1127—1133.
- Kulik S. N. High conductivity anomalies in the Continental Earth Crust // Proceedings of the institute of fundamental studies. — Киев: Логос, 2004. — С. 14—21.
- Macki R. L., Smith J. T., Madden T. R. Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: The magnetotelluric example // Radio Sci. — 1994. — **29**, № 4. — P. 923—935.
- Nolet G., Zielhuis A. Low S-velocities under the Tornquist-Teisseyer zone: Evidence for water injection into the transition zone by subduction // J. Geophys. Res. — 1994. — **99**, № 15. — P. 813—820.