

## СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ

В работе отображены результаты сейсмотектонических исследований по выявлению геолого-геофизических и сейсмологических закономерностей проявления сейсмичности на территориях древних платформ Земли. Для платформенной части Украины выделены сейсмотектонические провинции, внутри них – зоны ВОЗ, выполнена оценка сейсмической опасности.

**Ключевые слова:** сейсмотектонические исследования; древние платформы; сейсмотектонические провинции; зоны ВОЗ; оценка сейсмической опасности.

### *Постановка проблемы*

Для того, чтобы обоснованно выделять зоны ВОЗ (возникновение очагов землетрясений) в пределах платформенной части Украины, необходимо представить, какова связь геолого-геофизических особенностей строения среды и проявлений сейсмичности. Интерес к возникновению сильных землетрясений на территориях древних платформ возник в связи с интенсивным строительством на них экологически опасных объектов (АЭС, химических предприятий и т.д.).

Под платформами понимаются значительные по площади участки материков с трехмерной континентальной корой со средней мощностью порядка 35–45 км. Их принято разделять на древние и молодые. От смежных молодых платформ и океанов древние платформы отделены зонами разломов, а от складчатых областей – краевыми прогибами или надвигами. Древние платформы составляют ядра материков, занимают большую часть их площади, иногда несколько миллионов квадратных километров. В их пределах мощность литосферы достигает 150–200 км, а по некоторым данным – до 400 км [1]. В плане древние платформы имеют полигональную изометричную форму. Они занимают около 40% площади континентов. Древние платформы принято разделять на две основные группы: северную и южную. В северную входят Североамериканская, Восточно-Европейская (ВЕП), Сибирская платформы. В южную – Южноамериканская, Африкано-Аравийская, Индостанская, Австралийская, Антарктическая, промежуточное положение занимают Южно-Китайская и Китайско-Корейская [1–4].

Одним из основных тектонических методов при геотектонических исследованиях является метод сравнительной тектоники. Он используется для сравнения параметров однотипных структур, например, древних платформ, с целью выявления наиболее общих для них закономерностей или при сравнении родственных типов структур, с целью установления последовательности их эволюции. К данному методу исследований по смыслу примыкает метод аналогий, который позволяет выявлять особенности малоизученных структур определенного

типа по хорошо изученным структурам того же типа [1].

### *Анализ исследований и публикаций*

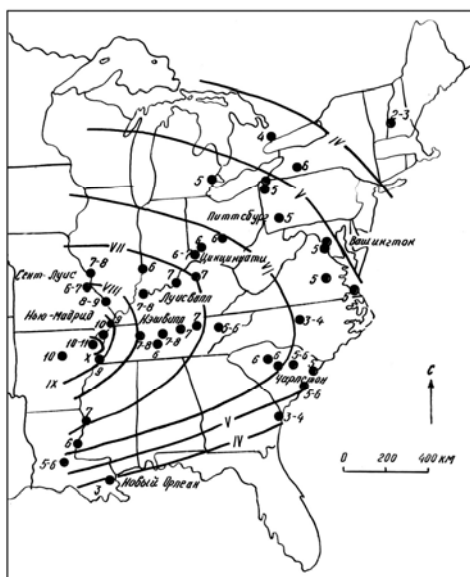
В 1989 году О.Н. Сафроновым для изучения сейсмичности и сейсмотектоники платформенной части Украины [5] был предложен методический подход, основанный на сравнительном анализе сейсмичности и геотектоники 7-ми основных древних платформ земного шара – метод сравнительных сейсмотектонических аналогий для древних платформ. Поэтому для сравнительного сейсмотектонического анализа распределения сейсмичности по древним платформам Земли составлялись каталоги исторических и инструментально зарегистрированных землетрясений из всех возможных опубликованных источников.

Нами были отобраны 7 древних платформ [1–4, 6–10] со сходными: геологическим строением и историей геологического развития – Северо-Американская, Южно-Американская, Восточно-Европейская, Сибирская, Афро-Аравийская, Индостанская, Австралийская. Антарктида не принималась в расчет из-за очень слабой геолого-геофизической и сейсмологической изученности, а Китайская платформа – в связи с тем, что отдельные участки Китайской платформы окружены зонами кайнозойской активизации, оказывающими очень сильное геодинамическое влияние на эти участки платформы. В процессе составления каталогов были получены данные об исторических землетрясениях типа Нью-Мадридских 1811–1812 гг. с магнитудами 7,8 и 7,3 соответственно [9].

Для представления о том, какой силы землетрясения могут возникать на древних платформах и какую громадную территорию может захватывать сейсмическое воздействие от них, приведен рисунок 1, характеризующий сильнейшее из известных на древних платформах землетрясение 1811 года. В дальнейшем этот метод нашел применение при сейсмическом районировании Украины, Беларуси, Литвы, Латвии, Эстонии и Европейской части России.

В плане оценки возможности возникновения сильных землетрясений на территориях со стабильной континентальной корой, представ-

ляет определенный интерес работа Арч. С. Джонстона и Лизы Р. Кантер [10]. В этой работе приведена таблица (табл. 1) наиболее сильных



**Рис. 1.** Карта изосейст Нью-Мадридского (штат Миссури) землетрясения 16 декабря 1811 года, в баллах модифицированной шкалы Меркалли (интенсивность сотрясений к западу от эпицентра неизвестна); здесь: 1 – значения интенсивности в отдельных пунктах; 2 – изосейсты (балы изосейст – римскими цифрами) [9]

Таблица 1  
Наиболее сильные землетрясения  
в пределах стабильной континентальной  
коры (из работы [10])

Землетрясения (место, год)	Вмещающая структура	Магнитуда
Базель, 1356	Рифт	7.4
Тайваньский пролив, 1604	Контр. окр.	7.7
Хайнань, 1605	Рифт	7.3
Нью-Мадрид, 1811	Рифт	8.2
Нью-Мадрид, 1812	Рифт	8.3
Нью-Мадрид, 1812	Рифт	8.1
Кач, 1819	Рифт	7.8
Море Баффина, 1833	Контр. окр.	7.7
Португалия, 1858	Контр. окр.	7.1
Южная Каролина, 1885	Контр. окр.	7.6
Плато Экемаус, 1906	Контр. окр.	7.2
Нанай, 1916	Контр. окр.	7.4
Большие балки, 1929	Контр. окр.	7.4
Ливия, 1935	Контр. окр.	7.1
Южное Тасамайское поднятия, 1951	Контр. окр.	7.0

землетрясений, известных в пределах стабильной континентальной коры, под которой понимают щиты (возрастом более 3 млрд. лет), образующие древнейшую сердцевину материков и окружающие их древние и молодые платформы, покрытые осадочным чехлом. В качестве магнитуды (М) в этой таблице использована “моментная” магнитуда, прямо пропорциональная логарифму сейсмического момента. Пятнадцать самых сильных землетрясений, зарегистрированных в стабильной коре, по мнению авторов [10], произошли там, где за последние 250 млн. лет кора подвергалась растяжению и стала тоньше.

### Изложение основного материала исследований

Анализ составленных каталогов по древним платформам показал, что на их территориях в разных регионах земного шара произошло свыше 500 землетрясений с магнитудой  $M \geq 4,9-5,0$  (рис. 2) [11].

На рис. 3 представлена карта эпицентров землетрясений древней Южно-Американской платформы с элементами тектоники, подобные карты были составлены для всех 7-ми древних платформ. Сущность выполненных исследований сводится к тому, что совместный анализ данных о землетрясениях по 7-ми древним платформам [11] и данных об их геологическом строении и истории развития [1–11] позволил выявить общие для всех древних платформ сеймотектонические закономерности [5, 12–14]. Эти закономерности состоят в следующем:

- наблюдается определенная приуроченность землетрясений к основным типам структур (краевым прогибам, окраинным щитам, авлакогенам, антеклизам и т.д.);
- наибольшая сейсмическая активность проявляется в резко выступающих углах древних платформ и участках изометричных полигональных очертаний, окруженных орогенными и кайнозойскими рифтогенными областями;
- степень современной активизации краевых участков древних платформ зависит от их геологического строения, истории развития и во многом от геодинамической обстановки, тектонической и сейсмической активности окружающих орогенных и рифтогенных зон;
- сейсмичность центральных областей древних платформ значительно ниже краевых участков;
- наиболее активны в сейсмическом отношении крупные структурные элементы, примыкающие к складчатым областям: краевые прогибы разного возраста – по мере убывания сейсмической активности (кайнозойские, мезозойские, палеозойские); шовные зоны; участки древних платформ и цепочки впадин, примыкающие к краевым прогибам; окраинные щиты древних

платформ (Балтийский, Алданский, Австралийский и др.);

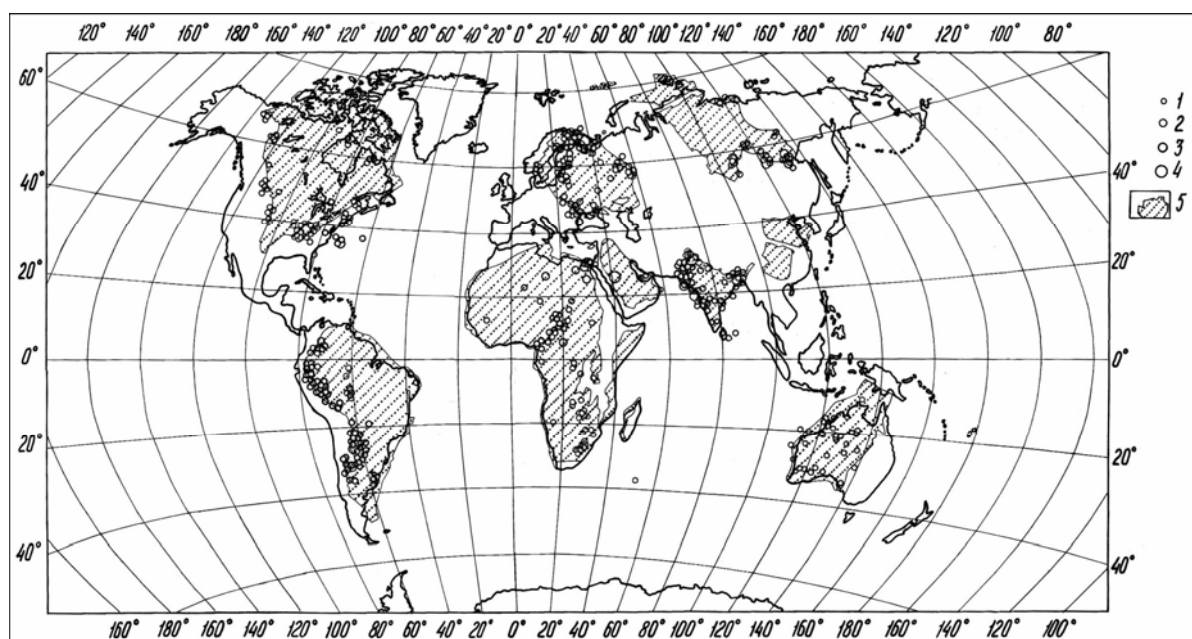
– наблюдается определенная приуроченность землетрясений к долгоживущим зонам разломов, служащих геологическими границами основных структурных элементов древних платформ;

– рифтогенные зоны разного времени заложения (кроме кайнозойских, типа Африканского, которые относятся к сейсмоактивным областям); авлакогены – для которых характерно то, что наиболее сильные землетрясения (с магнитудой до  $M=5,0-5,5$ ), в подавляющем большинстве приурочены к бортовым зонам;

– проделанный анализ показывает, что наиболее важными и потенциально сейсмоактивными следует считать краевые разломы, огра-

нивающие вышеперечисленные структуры.

Участки древних платформ, объединенные сходными: геологическим строением; историей развития; сеймотектоническим режимом; с повышенной тектонической и сейсмической активностью по отношению к остальной территории можно объединить под единым понятием – сеймотектонические провинции древних платформ [5]. Внутри “Сеймотектонических провинций – щитов, рифтогенных зон и авлакогенов, краевых прогибов, краевых частей платформ т.д. наблюдаются свои закономерности в распределении сейсмичности, которые необходимо учитывать при выделении потенциально сейсмоактивных структур более низкого ранга.



**Рис. 2.** Карта эпицентров сильных землетрясений древних платформ Земного шара с  $M \geq 4,9$  (для ВЕП – с  $M \geq 4,5$ ). Составлена О.Н. Сафроновым на основе каталогов землетрясений по 7-ми древним платформам (здесь: 1–4 – градация по магнитуде: 1 –  $4,5 \leq M < 4,9$ ; 2 –  $4,9 \leq M \leq 5,5$ ; 3 –  $5,5 < M \leq 6,0$ ; 4 –  $M > 6,0$ ; 5 – территории древних платформ, тектоническая основа по [4])

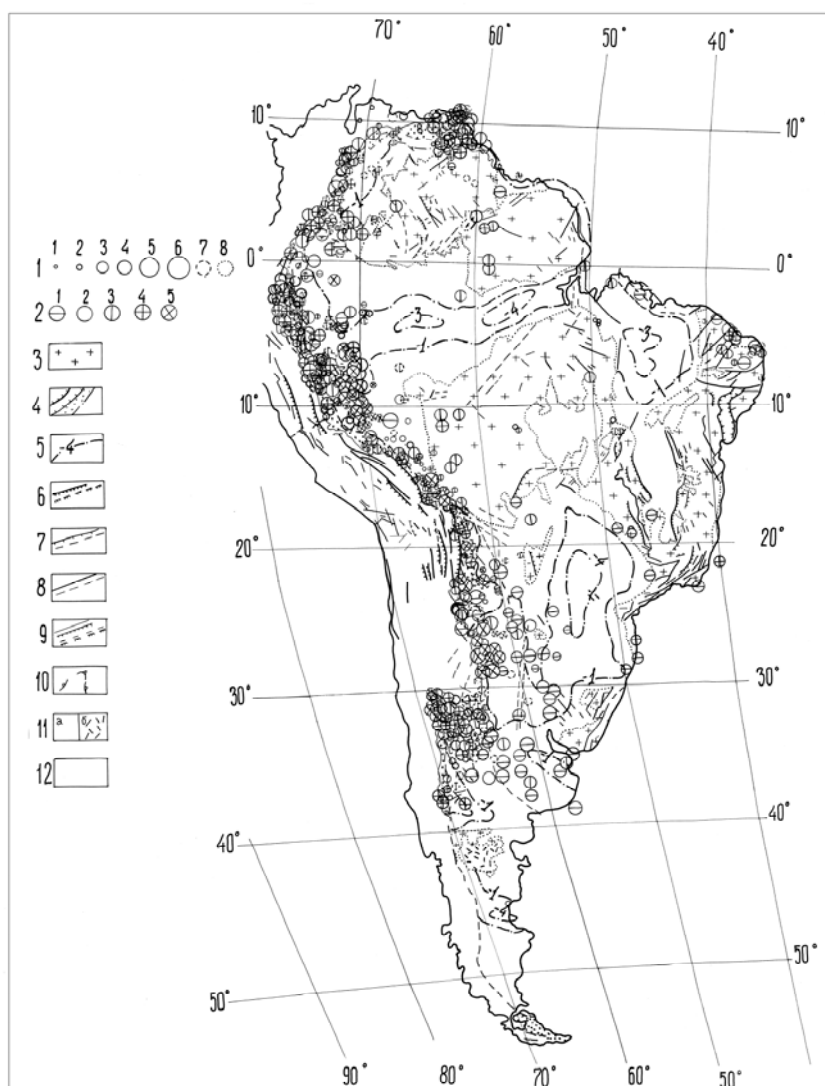
**Щиты.** Почти все крупные щиты древних платформ, и в том числе Воронежский массив, в той или иной степени сейсмичны.

Для большинства землетрясений щитов характерно то, что они приурочены к зонам активизированных в неоген-четвертичное время разломов, разделяющих крупные единые литолого-стратиграфические комплексы пород, слагающих щиты. Кроме того, землетрясения, возникающие на щитах, приурочены к рифтогенным зонам и местам пересечения активных коровых структур одного направления. Чаше всего эти направления почти взаимно перпендикулярны или кратны  $45^\circ$  (см. карты эпицентров землетрясений древних платформ с элементами тектоники).

Украинский щит в связи с отсутствием данных как об исторических, так и об инструментальных землетрясениях, представляется практически асейсмичным, кроме мощной Подольской зоны разломов, ограничивающей щит с юго-запада. К этой зоне приурочен целый ряд землетрясений. Она выделяется как самостоятельная сеймотектоническая провинция. Щиты, примыкающие к орогенным областям, например, Балтийский, Алданский, отличаются повышенной сейсмичностью – на них отмечены землетрясения с магнитудой выше 5,0; редко, но возникают землетрясения и с магнитудой несколько выше 6,0 (карты эпицентров землетрясений древних Восточно-Европейской и Сибирской платформ с элементами тектоники).

**Рифтогенные зоны разного возраста и авлакогены.** Нельзя сказать, что все структуры древних платформ этой группы сейсмичны, но

практически на всех 7-ми древних платформах в структурах этой группы возникают землетрясения разной силы. Характерно, что более силь-



**Рис. 3.** Карта эпицентров землетрясений древней Южно-Американской платформы с элементами тектоники. Составили: Сафронов О.Н., Седова В.И., Соркина О.Н.

Условные обозначения: 1 – градация по магнитуде: 1 –  $M \leq 3,0$ ; 2 –  $3,0 < M \leq 4,0$ ; 3 –  $4,0 < M \leq 5,0$ ; 4 –  $M > 5,0$ ; 5 –  $M$ ,  $K$  не определены; 2 – глубины эпицентров: 1 – не определены; 2 –  $H$  до 8 км; 3 –  $8 < H \leq 60$  км; 4 –  $60 < H \leq 300$  км; 5 –  $300 < H < 700$  км. Тектоническая основа из работы [14]: 3 – щиты древних платформ; 4 – зоны сочленения древних платформ и складчатых областей (чешуйчато-надвиговые зоны и краевые прогибы); 5 – изолинии по поверхности фундамента платформ и молассовых впадин в км; 6 – шарьяжи и крупные надвиги; 7 – крупные сбросы, предположительно сдвигового происхождения; 8 – разрывы и зоны разрывов; 9 – флексуры и флексурно-сбросовые зоны; 10 – контуры поднятий и крупных положительных структур на платформах; 11 – чехлы древних платформ, сложенные: а) осадочными породами, б) траппами; 12 – чехлы платформ и доплитные комплексы древних платформ.

ные землетрясения, как правило, возникают в консолидированном кристаллическом фундаменте в прибортовых зонах, ограниченных разломами с большими амплитудными смещениями по поверхности “М” и по фундаменту. Вероятность землетрясений в рифтовых и рифтоподобных структурах обусловлена геодинамической активностью территории в целом, степенью тектонической активности образу-

ющих зон разломов, близостью к орогенным системам, интенсивностью процессов в верхней мантии под этими структурами. В местах пересечения глубинных структур и коровых (которые представляют собой зоны разломов, ограничивающие геологические структуры) вероятность возникновения землетрясений повышена. Например, для систем авлакогенов Индостанской платформы – Годавари, Камбейского, Кар-

мада-Сон-Дамодар максимальные значения магнитуд равны соответственно:  $M=5,3$ ;  $M=5,2$ ;  $M=5,1$  (карта эпицентров землетрясений древней Индостанской платформы с элементами тектоники). Из весьма значительного количества рифтогенных структур Восточно-Европейской платформы проявление сейсмичности пока известно только в районах Кажимского, Абдулинского, Припятско-Днепрово-Донецкого авлакогенов с  $M=4,2\pm 0,5$  (карта эпицентров землетрясений древней Восточно-Европейской платформы с элементами тектоники). В Австралии в районе рифтогенных структур и авлакогенов: Баттен, Фатурой, Офисер, Амадиес и др. за последние тридцать лет зарегистрировано свыше 100 землетрясений (карта эпицентров землетрясений древней Австралийской платформы с элементами тектоники).

**Краевые прогибы.** Зоны сочленения древних платформ с подвижными областями играют важную роль в строении земной коры [15]. Определяющую роль в формировании структурно-морфологических особенностей ограничений древних платформ играет характер тектонических напряжений и направленность движений земной коры. Самый распространенный тип структур сочленения древних платформ и подвижных поясов – это краевые чешуйчато-надвиговые зоны (краевые прогибы).

По глубине залегания они разделяются на два типа – Верхоянский и Скандинавский. В первом случае деформации охватывают лишь осадочный чехол и имеют наложенный характер, а во втором – деформации подвергаются не только осадочный чехол, но и более глубокие горизонты коры, в некоторых случаях, по видимому, и верхи мантии [15].

В связи с тем, что Карпатский краевой прогиб относится к чешуйчато-надвиговым зонам Верхоянского типа, для выяснения сейсмотектонических закономерностей возникновения землетрясений, были изучены следующие чешуйчато-надвиговые зоны: Карпатская; Нельканская в южном Верхоянье; Приленская; западное Приуралье; западная окраина южных Аппалачей; внешний фронт Канадских Скалистых гор, примыкающий к впадине Альберта и др. (карты эпицентров землетрясений древних Северо-Американской, Восточно-Европейской и Сибирской платформ с элементами тектоники).

Собранные сейсмологические данные в сопоставлении с присущими зонам сочленения и тектоническими закономерностями позволили сделать выводы об общих для них сейсмотектонических закономерностях:

1. Землетрясения, возникающие в собственно чешуйчато-надвиговой зоне, во внутренней части краевого прогиба. В этом случае преобладающая глубина возникновения землетрясений меньше 10 км и обусловлена мощностью

пород, слагающих саму чешуйчато-надвиговую зону. Регистрируемые землетрясения часто группируются в одних и тех же местах. Магнитуда землетрясений колеблется в пределах 3,0–4,0, в большинстве случаев значительно ниже, за редким исключением – выше 4,0.

Более сильные землетрясения отмечаются на самой крайней границе внутренней части чешуйчато-надвиговой зоны со складчатой системой. В этом случае они тяготеют к сейсмоактивным центрам внутри складчатых поясов и носят более глубокий коровый характер с  $H \geq 10$ –15 км, с магнитудой  $M \geq 4,5$  (пример – район зоны Вранча в Карпатах и южная оконечность Канадских Скалистых гор);

2. Землетрясения, возникающие во внешней части краевого прогиба, носят преимущественно коровый характер, возникают в кристаллическом фундаменте и приурочены к основным зонам “оживления” разломов. Магнитуда может достигать 4,5. Отмечаются зоны группировки землетрясений.

**Краевые части древних платформ.** Обычно краевые части древних платформ рассматриваются в едином тектоническом плане с краевыми прогибами и чешуйчато-надвиговыми зонами – как единые зоны сочленения древних платформ с подвижными областями. На заключительной стадии развития подвижных поясов, в период их консолидации, краевые части платформ испытывают интенсивное горизонтальное сжатие [15]. Эта закономерность отмечается практически для всех платформ, независимо от их тектонической природы и возраста смежного подвижного пояса. Обстановка сжатия и горизонтального перемещения масс горных пород из подвижной области в сторону платформы – важный фактор в формировании зон сочленения платформ и подвижных поясов.

Погруженная окраинная часть древней платформы, в пределах которой кристаллический фундамент перекрыт мощной толщей терригенно-карбонатных пород, испытывает интенсивное сжатие, обусловленное горизонтальными силами, вызванными формированием складчатой области. В результате сжатия возникают послонные срывы в осадочном чехле, смятие его, образование надвигов и тектонических покровов.

Одновременно, в той или иной мере, оживают зоны древних разломов в кристаллическом фундаменте, по которым происходят незначительные перемещения блоков. В преобладающем большинстве они простираются почти параллельно складчатой области. Эти зоны разломов как бы выполняют роль экранов, здесь послонные надвиги становятся крутыми, переходя во взбросы. В процессе горизонтального перемещения зоны поперечных древних разломов служат плоскостями крупных сдвигов.

Магматические процессы практически не развиваются.

Землетрясения, связанные с этими, почти субпараллельными, зонами разломов, возникают в кристаллическом фундаменте краевой опущенной части древней платформы на незначительном удалении от внешней зоны краевого прогиба (первые десятки километров, реже 100–150 км). Это коровые землетрясения с глубиной возникновения  $H > 10$  км и с магнитудой  $M > 5,0$  (как, например, Червоноградское землетрясение 17 августа 1875 г. в Предкарпатье с  $M_{LN} = 5,3$  или Аппалачское землетрясение 27 июля 1980 г. с  $M_b = 5,1$ ). В краевых частях платформ также отмечается группировка землетрясений (карты эпицентров землетрясений платформ с элементами тектоники).

К узлам пересечения молодых коровых структур чешуйчато-надвиговой зоны и параллельных им “оживленных” древних разломов с зонами древних поперечных разломов приурочены группы слабых и единичные, сильные землетрясения. Видимо по этим, почти перпендикулярным к складчатым зонам, поперечным разломам осуществляются подвижки за счет горизонтальных напряжений, вызванных тектоническими процессами в складчатой зоне.

Подобные сейсмотектонические закономерности характерны для древних платформ, в целом, и для Восточно-Европейской платформы, в частности.

#### ***Оценка сейсмотектонических условий платформенной части Украины***

Имея представление о пространственном распределении сейсмичности по территориям древних платформ, выявив общие сейсмотектонические связи сейсмичности с определенными типами структур древних платформ, выявив приуроченность землетрясений к определенным границам, характеризующим строение этих структур, можно перейти к выделению потенциальных зон ВОЗ внутри этих структур.

Полученные результаты позволили сделать вывод, что при выделении сейсмогенных зон внутри сейсмотектонических провинций, землетрясения на древних платформах возникают не повсеместно и хаотически, а закономерно, также как и в сейсмоактивных областях [16–17], в зонах, обусловленных активизированными разломами.

Это позволяет, на основе общих сейсмотектонических закономерностей распределения сейсмичности по основным типам структур древних платформ, выделять внутри них, используя традиционные сейсмогеологические подходы, зоны ВОЗ и потенциальные зоны ВОЗ.

При выполнении настоящей работы автор столкнулся с теми же трудностями, которые встречаются при сейсмическом районировании

участков древних платформ в других регионах: неравномерная и недостаточная геолого-геофизическая изученность территории; различная рисовка одних и тех же тектонических нарушений разными авторами под определенные концепции и несовпадения их в плане при сопоставлении карт; выделение разными авторами, по разным методам большого количества тектонических нарушений без необходимой геолого-геофизической проработки; необоснованное и недоказанное в достаточной степени выделение землетрясений (особенно по историческим данным), что затрудняет определение их параметров, особенно координат эпицентров и энергетических характеристик, а это приводит к субъективизму при выделении зон ВОЗ и оценке их параметров; отсутствие необходимой для обеспечения районирования такого масштаба сети инструментальных сейсмологических наблюдений.

Разломы, образовавшиеся в коре древних платформ и определяющие ее современное блоковое строение, в течение многих миллионов лет могут оставаться пассивными, постепенно покрываясь осадочным чехлом и почти не проявляясь в отложениях его наиболее “молодой” толщи. Однако, за счет процессов, происходящих в верхней мантии под древними платформами и передачей сжимающих напряжений от краевых областей во внутренние, может произойти активизация разломов, возобновление движений по ним либо по вертикали, либо по горизонтали.

Основной задачей комплексных геолого-геофизических исследований при оценке сейсмической опасности особо важных экологически опасных объектов и сейсмическом районировании разных масштабов является выделение тектонически активных разрывных нарушений.

По современным представлениям в очаге землетрясения образуется разрыв, по которому в течение долей или первых секунд происходит смещение крыльев с выделением упругой сейсмической энергии в виде упругих колебаний.

За геологическое время, измеряемое десятилетиями и сотнями миллионов лет, в результате неоднократных сейсмогенных и асейсмичных перемещений амплитуды вертикальных смещений по разломам (поверхность Мохо) могут достигать 10–20 км, а горизонтальные вдоль разломов по некоторым оценкам – несколько десятков и сотен километров [9, 18].

К потенциально сейсмотектоническим структурам относятся разломы земной коры различного масштаба и генезиса, представляющие собой разрывы сплошности горных пород от нескольких – до сотен и тысяч километров.

В большинстве случаев протяженные разломы земной коры являются границами физи-

ческих неоднородностей и сохраняют активность длительное время, подавляющее большинство – до современного этапа. Под действием приливных, температурных, гидродинамических процессов в различных по физико-механическим свойствам и значительных по размерам геологических блоках и структурах возникают различные деформации. Максимальная реализация этих деформаций осуществляется по разломам, разделяющим геологические неоднородности.

На территории Украины в формировании геологических структур, в том числе разломов, и проявлении ими геодинамической активности, принимают участие тектонические силы разных рангов – глобального, вызванного взаимодействием Земли с окружающими ее физическими полями (ротационная гипотеза структурообразования в земной коре); планетарного, обусловленного движением литосферных плит, и регионального, связанного с зональной активизацией верхней мантии [19–22]. Одним из основных индикаторов геодинамических процессов и современной тектонической активности геологических структур и разрывных нарушений, которые могут представлять опасность для АЭС и других экологически опасных объектов, являются землетрясения. Для построения схемы геодинамических обстановок территории Украины и прилегающих регионов с эпицентрами землетрясений (рис. 4) были использованы опубликованные литературные и картографические материалы, а также сейсмологические данные по платформенной части Украины и прилегающим территориям, в том числе данные о механизмах очагов землетрясений, которые использовались для геодинамических построений.

Тектонические движения планетарного и регионального плана в пределах Карпатского альпийского складчатого пояса направлены с юго-запада на северо-восток в сторону юго-западной оконечности ВЕП, а на акватории Черного моря они имеют двойную диагональную направленность с юго-востока на северо-запад и с юго-запада на северо-восток. С тектоническими нарушениями глубокого заложения, имеющими такую же направленность, связано проявление сейсмичности в активных областях и краевой части ВЕП.

Для платформенной части Украины характерно следующее:

1. Существует несколько систем основных диагональных и ортогональных разрывных нарушений, дополненных направлениями менее значимых разрывных нарушений, с которыми не связана сейсмичность.

2. С тектоническими нарушениями диагональной ориентации, юго-запад – северо-восток и юго-восток – северо-запад, и местами их

пересечения связано проявление сейсмичности [17, 21, 23].

3. С удалением от областей альпийской складчатости к центру платформы сейсмическая активность убывает. Все большую роль начинают играть местные факторы, что приводит к современной активизации локальных тектонических нарушений, входящих в крупные супер-региональные или региональные зоны разрывных нарушений [22, 23].

Разломы, образовавшиеся в коре древних платформ и определяющие ее современное блоковое строение, в течение многих миллионов лет могут оставаться пассивными, постепенно покрываясь осадочным чехлом и почти не проявляясь в отложениях его наиболее “молодой” толщи. Однако, за счет процессов, происходящих в верхней мантии под древними платформами, и передачей сжимающих напряжений от краевых областей во внутренние, может произойти активизация разломов, возобновление движений по ним либо по вертикали, либо по горизонтали.

Для понимания того, какая же исходная информация о тектонических нарушениях необходима для сейсмостектонических построений, даем расширенное толкование понятия – тектонически активный разлом.

Тектонически активными или потенциально сейсмоактивными принято считать разломы глубокого заложения, разделяющие крупные блоки земной коры (выделенные по комплексу геофизических методов и подтвержденные геологическими методами исследований). Эти разломы должны быть выражены в поверхности Мохо, т.е. иметь некоторую вертикальную амплитуду смещения, должны проявляться в консолидированном фундаменте и, по возможности, подтверждены бурением и сейсморазведкой. Кроме того, эти разломы должны проявляться в осадочном чехле и быть подтверждены прямыми геолого-геофизическими методами. Должна быть доказана их четвертичная активизация и, по возможности, зафиксированы инструментально (геодезическими методами) современные движения по ним.

В качестве геолого-геофизических признаков для сейсмогеологического выделения сеймогенерирующих зон были выбраны:

1. Принадлежность к определенному виду сейсмостектонических провинций древних платформ, а внутри сейсмостектонической провинции – к определенному типу сейсмогенных зон.

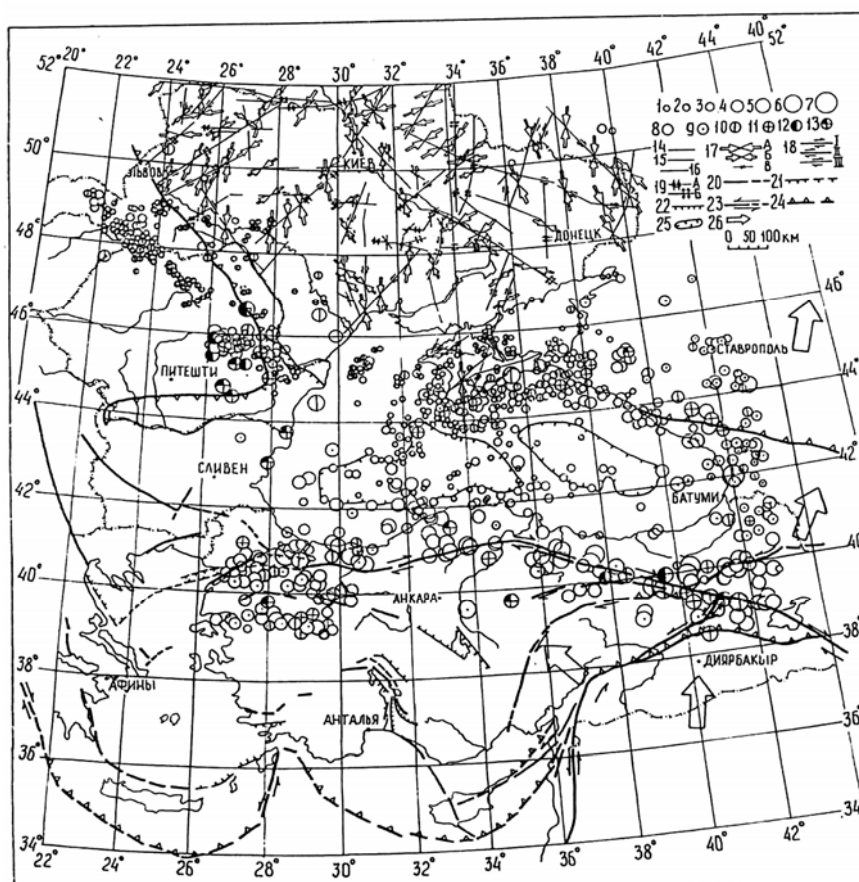
2. Геофизические характеристики: 2.1. Поле силы тяжести – наличие гравитационных ступеней или резких градиентов; 2.2. Магнитное поле; 2.3. Амплитуды смещения поверхности Мохо; 2.4. Проявление в фундаменте и чехле по комплексу геофизических методов; 2.5. Границы блоков земной коры по комплексу

геофизических методов.

3. Геологические характеристики: 3.1. Проявление разрывных нарушений в фундаменте; 3.2. Проявление разрывных нарушений в чехле; 3.3. Изменение мощностей отложений, литофаций, гипсометрии рельефа опорного горизонта четвертичных отложений; 3.4. Выделение космо- и тополинеаментов и линеаментных зон; 3.5. Наличие узлов пересечения зон разрывных нарушений и линеаментных зон разных рангов и ориентировки; 3.6. Элементы неотектоники; 3.7. Структура опорных горизонтов и изменение мощностей литофаций и гипсометрии подошвы неогеновых и четвертичных отложений по флангам тектонических нарушений. 3.8. Данные об активизации тектонических нарушений в неоген-четвертичное время [22, 24–25].

В ходе исследований по оценке сейсмической опасности АЭС Украины и построения карты сейсмического районирования запада Восточно-Европейской платформы был составлен ряд исходных карт: сеймотектоники платформенной части Украины и прилегающих территорий; сеймотектонического потенциала в значениях  $M_{\max}$  запада ВЕП.

На основе этих карт, с учетом сейсмогеологического выделения зон ВОЗ по 14-ти геолого-геофизическим признакам, составлена карта зон ВОЗ и сейсмической опасности платформенной части Украины м-ба 1:2500000, на которой выделены сеймотектонические провинции: Предкарпатско-Днестровская, Припятьско-Днепровско-Донецкая, Северо-Азовско-



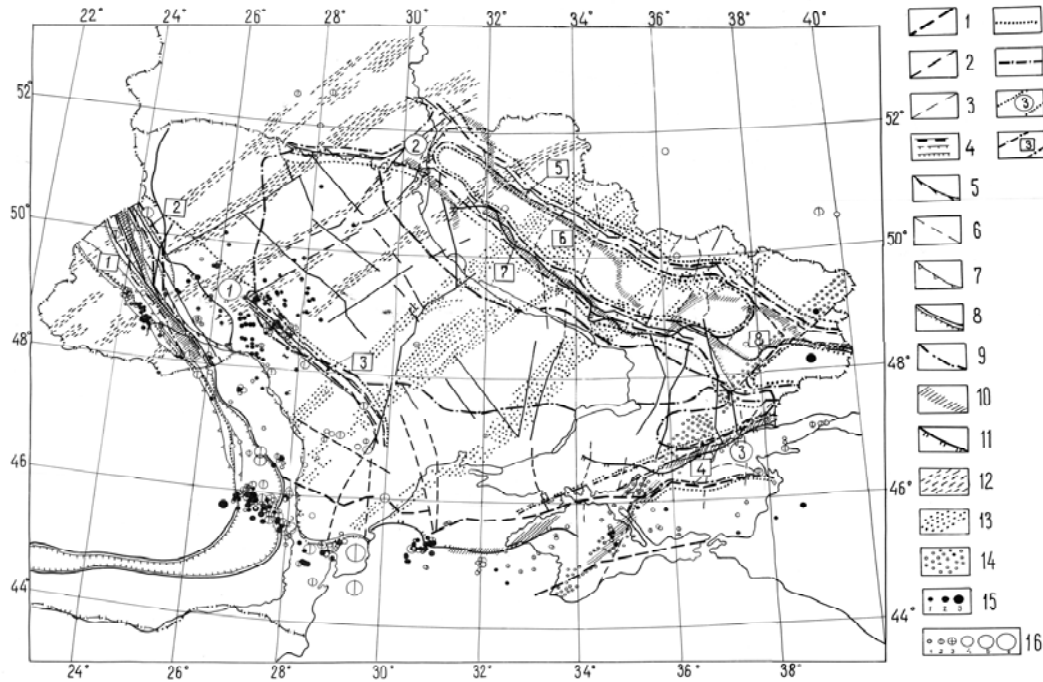
**Рис. 4.** Схема геодинамических обстановок территории Украины и прилегающих регионов с эпицентрами землетрясений [22]

Условные обозначения: Очаги землетрясений с магнитудами: 1 –  $1,5 \leq M \leq 2,4$ ; 2 –  $2,5 \leq M \leq 3,4$ ; 3 –  $3,5 \leq M \leq 4,4$ ; 4 –  $4,5 \leq M \leq 5,4$ ; 5 –  $5,5 \leq M \leq 6,4$ ; 6 –  $6,5 \leq M \leq 7,4$ ; 7 –  $M \geq 7,5$ . Глубины очагов в км: 8 – глубина не установлена; 9 – 0–15; 10 – 15–30; 11 – 30–50; 12 – 50–100; 13 – 100–150. Неотектонические разломы юго-западной оконечности ВЕП: 14 – крупные, 15 – средние, 16 – мелкие (локальные); 17 – оси сжатия в горизонтальной плоскости (по данным структурно-геоморфологических исследований) для разломов соответствующих рангов: а – крупных, б – средних, в – мелких; 18 – сдвиги: I – крупные, II – средние, III – мелкие; 19 – разломы, формирующиеся в обстановке сжатия (а) и растяжения (б). Тектонические структуры (пунктир – погребенные и предполагаемые) в зоне взаимодействия литосферных плит (по [20], с дополнениями): 20 – разломы не установленных морфокинематических типов; 21 – сбросы на бортах крупных грабенов; 22 – надвиги; 23 – главные сдвиги; 24 – главные надвиги; 25 – граница “безграничной” части Черноморской впадины; 26 – направления позднечетвертичных движений.



Причерноморская, а внутри них – сейсмогенерирующие зоны: Донузлавско-Северо-Азовская; Прибортовые зоны Днепровско-Донецкой впадины; Южно-Припятская зона разломов; Подольская зона разломов, активизированные разрывные нарушения Предкарпатского прогиба и краевой части платформы. Для всех зон ВОЗ определены сейсмогеологические параметры:  $M_{max}$ ;  $H_{min}$ ; размеры зон и т.д. [24–26].

Оценка  $M_{max}$  для выделенных зон ВОЗ осуществлялась комплексно на основе: детерминистского подхода; метода сейсмотектонических аналогий; метода учета протяженности зон ВОЗ; методов формализованного расчета сейсмотектонического потенциала. На рис. 5 приведена сводная сейсмотектоническая карта юго-западной оконечности ВЕП с сейсмотектоническими провинциями и зонами ВОЗ.



**Рис. 5.** Сейсмотектоническая карта юго-западной оконечности Восточно-Европейской платформы с сейсмотектоническими провинциями и зонами ВОЗ

Условные обозначения: Разрывные нарушения. Выделенные по комплексу геолого-геофизических данных и материалов космических съемок (сплошная линия – выделенные уверенно, пунктиром – предположительно): 1 – краевые швы; 2 – региональные мантийные. Ограничивающие крупные блоки докембрийского фундамента складчатых и платформенных структур: 3 – субрегиональные внутрикоровые; 4 – покровы, надвиги, взбросы; 5 – флексурно-разломная зона; 6 – локальные; 7 – границы чешуйчато-надвиговые зоны Предкарпатского прогиба; 8 – границы Предкарпатского прогиба; 9 – выходы дорифейского складчатого основания на поверхность или область его неглубокого залегания.

Элементы структуры геофизических полей: 10 – гравитационные ступени; 11 – границы областей положительных значений силы тяжести (и относительных гравитационных максимумов). Основные зоны линеаментов, выделенные по космическим снимкам: 12 – (трансконтинентальные и региональные, связанные с зонами мантийного заложения, неотектонически активные): “древние”, архейско-протерозойского заложения; 13 – “молодые”, проявляющиеся повышенной трещиноватостью с мезозоя; 14 – то же, с палеозоя. Параметры землетрясений: 15 – эпицентры землетрясений, произошедших на территории юго-западной оконечности ВЕП с 1992 по 2006 гг.; 16 – градация по магнитуде: 1 –  $M \leq 2,9$ ; 2 –  $3,0 \leq M \leq 3,9$ ; 3 –  $4,0 \leq M \leq 4,9$ ; 4 –  $5,0 \leq M \leq 5,9$ ; 5 –  $6,0 \leq M \leq 6,9$ ; 6 –  $7,0 \leq M \leq 7,5$ ; градация по глубине: 1 –  $H$  до 8 км; 2 –  $8 \leq H \leq 60$  км; 3 –  $60 \leq H \leq 300$  км; 17 – границы сейсмотектонических провинций; 18 – границы зон ВОЗ внутри них; 19 – индекс сейсмотектонической провинции: 1 – Предкарпатско-Днестровская; 2 – Припятско-Днестровско-Донецкая; 3 – Северо-Азовско-Причерноморская; 20 – индекс сейсмогенных зон (зон ВОЗ): 1 – Рава-Русская; 2 – Белз-Балучско-Рогатинская; 3 – Подольская (Днестровская); 4 – Северо-Азовско-Сивашская и Азовская; 5 – Северо-Восточная прибортовая; 6 – Черниговско-Полтавская (Центральная); 7 – Припятско-Юго-Западная прибортовая; 8 – Новошахтинская.

В Предкарпатско-Днестровской сейсмотектонической провинции сейсмичность связана со структурами зоны сочленения ВЕП с Карпатской складчатой системой. Сильные землетря-

сения тяготеют к зонам пересечения структур северо-западного и северо-восточного направлений. Здесь выделяются три сейсмогенные зоны: первая связана с Белз-Балучинским и

Рогатинским разломами; ко второй относятся Росточская зона дислокаций и Рава-Русский разлом; третья отождествляется с зоной Подольского разлома, который как бы ограничивает Украинский щит с юго-запада. Восточной границей служит флексурно-разломная зона, ограничивающая Предкарпатский прогиб. Для первой из этих зон максимально возможной принята  $M_{\max}=5,5$ , для второй и третьей зон –  $M_{\max}=5,0$ . В пределах Припятско-Днепровско-Донецкой сейсмотектонической провинции бортовые зоны тектонических нарушений выделяются как потенциально-сейсмогенные зоны с магнитудой до 4,5, а внутренняя часть – с магнитудой до 3,5. В пределах Северо-Азовско-Причерноморской тектонической провинции выделяется единая сейсмогенная зона. В тектоническом плане она может быть приурочена к сложной системе бортовых разломов, ограничивающих почти субширотную полосу краевых прогибов: Северо-Азовского, Каркинитско-Сивашского и далее на запад. Для землетрясений этой зоны принята  $M_{\max}=4,0$ . Основные исследования по этой теме были завершены к 2004 году.

### Выводы

Участки древних платформ, объединенные сходным геологическим строением, историей развития, сейсмотектоническим режимом, с повышенной тектонической и сейсмической активностью по отношению к остальной территории, можно объединить под единым понятием – сейсмотектонические провинции древних платформ [5]. Внутри Сейсмотектонических провинций – щитов, рифтогенных зон и авлакогенов, краевых прогибов, краевых частей платформ наблюдаются свои закономерности в распределении сейсмичности, которые необходимо учитывать при выделении потенциально сейсмоактивных структур более низкого ранга.

Подобное сейсмотектоническое районирование было выполнено и для юго-западной оконечности древней Восточно-Европейской платформы (платформенная часть Украины).

Изучение проявления сейсмичности в последние 10 лет в пределах платформенной части Украины, Восточно-Европейской платформы в целом, а также других древних платформ показало, что часть землетрясений возникает на более мелком региональном уровне и не объясняется в целом предложенной выше концепцией [8–9]. Поэтому, для более детальной и уверенной оценки сейсмической опасности территории Украины и площадок особо важных объектов необходимо провести сравнительный сейсмотектонический анализ структур древних платформ и платформенной части Украины на региональном уровне.

### Литература

1. Хаин В.Е., Ломидзе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М.: изд. МГУ, 1995. – 480 с.
2. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). – М.: Научный мир, 2001. – 606 с.
3. Тектоника континентов и океанов. (Объяснительная записка к международной тектонической карте Мира м-ба 1:15000000) / Отв. ред. Ю.Г. Леонов, В.Е. Хаин. – М., 1988. – 245 с.
4. Карта новейшей тектоники мира м-ба 1:15000000 / Под ред. Н.И. Николаева, Ю.Я. Кузнецова, А.А. Наймарка – Москва: МГУ, 1981.
5. Сафронов О.Н. Сейсмотектоника и сейсмогенные зоны платформенной части УССР в свете геолого-геофизических данных // Сб. Сов. “Геолого-геофизические исследования в сейсмоопасных зонах СССР”. – Тезисы докладов Всесоюзной школы-семинара. 5–14 сентября. – Фрунзе: Илим. – 1989. – С. 33–34.
6. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. – М., 1971. – 543 с.
7. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Азия и Австралия. – М., 1979. – 356 с.
8. Международная тектоническая карта мира м-ба 1:15000000 / Под ред. В.Е. Хаина. – М., 1981.
9. Болт Б. Землетрясения. – М.: Изд-во Мир, 1981. – 256 с.
10. Арч С. Джонстон, Лиза Р. Кантер. Землетрясения в стабильной континентальной коре // В мире науки. – М.: Мир, 1990. – №4. – С. 68–76.
11. Сафронов О.Н., Соркина О.Н., Бушмакина Г.Н. и др. Каталоги землетрясений по 7-ми древним платформам Земного шара. – Отдел сейсмологии ИГФ НАН Украины, – Симферополь, 2003. (Рукопись и компьютерные каталоги).
12. Борисенко Л.С., Сафронов О.Н. О сейсмическом районировании платформенной части УССР // “Сейсмологические и геотермические исследования на Западе СССР”. – Минск: Наука и техника. – 1993. – С. 37–42.
13. Боборыкин А.М., Гарецкий Р.Г., Сафронов О.Н. О методике сейсмического районирования древних платформ // Сейсмологические исследования”. – Вып. 1. – Минск: ИГФ АН Беларуси. – 1995. – С. 5–9.
14. Ставцев А.Л. Тектоника и полезные ископаемые зон сочленения древних платформ и подвижных поясов. – М.: Недра, 1983. – 144 с.

15. Губин И.Е. Сейсмогенные тектонические процессы // Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. – М.: Наука. – 1987. – С. 5–21.
16. Борисенко Л.С., Сафронов О.Н., Пустовитенко Б. Г. Сейсмогенные зоны платформенной части Украины и Азово-Черноморского региона // Геодинамика и сейсмопрогностические исследования на Украине. – Киев: Наук. думка, – 1992. – С. 31–41.
17. Степанов В.В. Геодинамическая опасность промышленных объектов. – Москва, 2001. – 100 с.
18. Тяпкин К.Ф., Кивелюк Т.Т. Изучение разломных структур геолого-геофизическими методами. – М.: Наука, 1982. – 239 с.
19. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР: В 2 кн. – М.: Недра, Кн. 2, 1990. – 334 с.
20. Сим Л.А. Неотектонические напряжения Восточно-Европейской платформы и структур обрамления. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. – М.: МГУ, 1996. – 41 с.
21. Сафронов О.Н., Сим Л.А. Неогеодинамика юго-западной оконечности Восточно-Европейской платформы // Будівельні конструкції. Будівництво в сейсмічних районах України. – Київ: НДІБК, – 2004. – Вип. 60. – С. 65–68.
22. Рейснер Г.И., Иогансон Л.И., Сафронов О.Н., Седова В.И. Сейсмостектоническое районирование платформенных областей (на примере южной части В-Е платформы) // Белорусский сейсмологический бюллетень. – Минск. – 1991. – Вып.1. – С. 86–108.
23. Сафронов О.Н., Бушмакина Г.Н. Геолого-геофизические и сейсмостектонические условия мест возникновения сильных землетрясений платформенной части Украины // Сб. Материалов международной конференции “Уроки и следствия сильных землетрясений” к 80-летию разрушительных землетрясений в Крыму. Ялта, 25–28 сентября, 2007, Ялта. – 2007. – С.191–193.
24. Сафронов О.Н., Бушмакина Г.Н. Динамика изменения сейсмичности платформенной части Украины и связь с геологическим строением // Сб. Материалов Международной конференции “Активные геологические и геофизические процессы в литосфере” Методы, средства и результаты изучения”. – Воронеж, – 2006. – Т. II – С. 132–135.
25. Сафронов О.Н. Оценка сейсмической опасности особо важных объектов в условиях древней платформы для территории Украины // Материалы V Севастопольского Международного семинара “Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза природных, техногенных и социальных катастроф” “СТИХИЯ – 2002”. Крым. Севастополь. 14–22 сентября, – Севастополь. – 2002. – С. 59–64.

## БУДОВА ЗЕМНОЇ КОРИ І СЕЙСМІЧНІСТЬ ДАВНІХ ПЛАТФОРМ

О.М. Сафронов

У роботі відображені результати сейсмостектонічних досліджень з виявлення геолого-геофізичних і сейсмологічних закономірностей прояву сейсмічності на територіях давніх платформ Землі. Для платформної частини України виділені сейсмостектонічні провінції, всередині них – зони ВВЗ, виконана оцінка сейсмічної небезпеки.

**Ключові слова:** сейсмостектонічні дослідження; давні платформи; сейсмостектонічні провінції; зони ВВЗ; оцінка сейсмічної небезпеки.

## EARTH CRUST STRUCTURE AND SEISMICITY OF ANCIENT PLATFORMS

O.N. Safronov

In the article the results of seismotectonic studies to reveal of geological-geophysical and seismological regularities the manifestation of seismicity in the territories of the ancient platforms of the Earth are represented. For the platform part of the Ukraine the seismotectonic provinces are pick out, inside them are pick out the origin centre earthquakes zones, the seismic danger estimation is realized.

**Key words:** seismotectonic studies; ancient platforms; seismotectonic provinces; origin centre earthquakes zones; seismic danger estimation.