

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

—◆—  
Ордена Ленина Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта

Г.И. РЕЙСНЕР, Л.И. ИОГАНСОН,  
М.Г. РЕЙСНЕР, Ю.Е. БАРАНОВ

ТИПИЗАЦИЯ  
ЗЕМНОЙ КОРЫ  
И СОВРЕМЕННЫЕ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОЦЕССЫ

Москва — 1993

К38918

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Ордена Ленина Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта

Светлой памяти В.В. Белоусова  
посвящаем

Г.И. РЕЙСНЕР, Л.И. ИОГАНСОН,  
М.Г. РЕЙСНЕР, Ю.Е. БАРАНОВ

ТИПИЗАЦИЯ  
ЗЕМНОЙ КОРЫ  
И СОВРЕМЕННЫЕ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОЦЕССЫ

См. в. ИС  
сб. Геол. Моск.  
В.В. Белоусов

К38918

св. 20

Москва — 1993

## ТИПИЗАЦИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Рейснер Г.И., Иогансон Л.И., Рейснер М.Г., Баранов Ю.Е.

Предлагаются новые подходы к комплексной типизации и районированию земной коры по совокупности признаков, характеризующих ее современное состояние и строение. Обработка исходных данных проводилась с использованием процедуры кластерного анализа, позволяющей в многомерном пространстве рассматривать всю их совокупность и получать типизации земной коры, использовавшиеся для решения задач фундаментального и прикладного характера.

Рассматриваются результаты, полученные в развитии нового направления в геотектонике, связанного с выявлением современных эндогенных режимов, стадий их проявления и фаз состояния. Они существенно отличаются от данных традиционного тектонического районирования, свидетельствуя о проявлении новых тенденций в развитии земной коры, связанных с завершающей фазой этапа неотектонической активизации.

Типизация земной коры послужила сейсмотектонической основой, на которой базируется предлагаемый новый внерегиональный подход к выявлению зон с различной максимальной магнитудой ожидаемых землетрясений. Полученные результаты также отличаются от достигнутых в этом направлении ранее.

Типизация и районирование земной коры, современных эндогенных режимов, прогнозов оценок магнитуды землетрясений выполнены для Европейского континента, Средней Азии и смежных акваторий.

208 стр., 6 табл., 11 рис.

Ответственный редактор — доктор геол.-мин. наук В.Н. Жолпо.

© Институт физики Земли, РАН, 1992 г.

## ВВЕДЕНИЕ

В тектонике давно уже разрабатываются представления о разных тектонических режимах и закономерностях их пространственно-временных взаимоотношений. Эмпирически обобщив эти сведения, В.В. Белоусов [4] разработал учение об эндогенных режимах, каждому из которых отвечало индивидуальное сочетание тектонических, метаморфических и магматических процессов, происходящих в земной коре. Были выделены следующие основные режимы: геосинклинальный, платформенный, орогенный, магматической активизации платформ и окраин материков. Вместе с тем отмечалось, что все эндогенные режимы объединяет их непосредственная связь с величиной теплового воздействия из мантии на земную кору. Поэтому все они были разделены на возбужденные (активные) и спокойные.

Дальнейшее развитие учения об эндогенных режимах привело к выделению нового их вида — тафрогенного, для обозначения которого другие авторы [22, 25] употребляют термины пелагогенный, или лабигенный. Было высказано предположение, что термическая активизация верхней мантии приводит к воздействию на земную кору двоякого рода: конструктивному, когда ее мощность увеличивается, и деструктивному, при котором она уменьшается. В группу деструктивных режимов были, наряду с тафрогенным, включены также режимы рифтовый и глыбовой тектоно-магматической активизации [5-7].

Выделение различных эндогенных режимов. выяснение их пространственно-временных взаимоотношений является, следовательно, одной из важнейших проблем современной геотектоники, поскольку с их проявлением связываются разные пути эволюции земной коры в целом.

В принципе разработка этой проблемы возможна несколькими путями. Один из них — восстановление и картирование эндогенных режимов в различные периоды геологической истории с использованием геологических и геохимических данных. Второй — выявление и картирование современных эндогенных режимов с привлечением данных о современном состоянии и структуре земной коры, разработка которого началась в 1985 г.

Достаточно очевидно, что процессы, происходящие в настоящее время в земной коре и более глубоких слоях, протекают медленнее по сравнению с возможностями их измерения и наблюдения методами наук о Земле. Иными словами, такие особенности этих процессов, свойственных разным режимам, как магматизм и метаморфизм в глубоких частях земной коры, характерные осадочные формации, тип складчатости и разрывов, не могут быть выявлены полностью на основании материалов "сиюминутных" (с геологической точки зрения) наблюдений и измерений. Разрыв между тем, что возможно наблюдать и измерять сегодня, и тем, что доступно восстановлению из геологического прошлого, оказывается чрезвычайно велик.

Возникает, следовательно, задача наведения мостов между настоящим и прошлым, между палео- и современными эндогенными режимами.

Эта задача может быть решена в методологическом отношении по

разному. В первом приближении возможно несколько раздвинуть временные рамки понятия современный эндогенный режим, подключив в анализ данные по новейшему этапу развития и структурам, сформированным на этом этапе. Это позволит, с одной стороны, использовать для характеристики эндогенных режимов более полный комплекс необходимых геологических и геохимических материалов и тем самым полнее охарактеризовать отмеченные особенности эндогенных режимов. С другой стороны, это позволит описать эндогенные режимы комплексом геофизических и геодезических данных о современном состоянии, структуре и подвижности земной коры. Далее возможно новейшие структуры выстроить в определенный эволюционный ряд, отражающий стадии развития того или иного эндогенного режима. Такой прием позволяет серию статичных обстановок представить в виде процесса эволюции земной коры. Именно этот прием был использован при выделении нового класса эндогенного режима — тафогенного [6].

Тем не менее имеются определенные ограничения на возможности использования указанного подхода. Во-первых, остается открытым вопрос о правомерности экстраполяции во времени данных о современных физических полях, поскольку неизвестны скорости их изменения. Во-вторых, может вызвать возражения и сам сконструированный эволюционный ряд, состоящий из разобщенных в пространстве структур.

По-видимому, это обстоятельство обусловило постановку другого подхода к выявлению современных эндогенных режимов. "Сперва, конечно, надо ставить вопрос о выделении типов коры по их структуре. Но если выделенные типы коры будут подобраны так,

чтобы они отражали разные типы развития коры, т.е. разные эндогенные режимы, то такая картина позволит судить не только о современном строении коры, но и о закономерностях ее развития" (5, стр.4).

Иными словами, в изучении современных эндогенных режимов определяются три основных направления исследования:

1. Типизация земной коры по комплексу данных о ее современном состоянии и строении.
2. Районирование (картирование) земной коры по выделенным ее типам.
3. Выявление современных эндогенных режимов и их районирование (картирование).

Все три направления тесно связаны между собой и представляет этапы общего исследования, конечной целью которого является выявление генеральных закономерностей эволюции земной коры. Первые два имеют и самостоятельное значение. Они разрабатываются многими исследователями, но, как будет показано, по-разному. Что касается третьего направления, то до сих пор здесь не найдено приемлемых решений. В настоящей работе предлагается новая методика анализа исходных данных о строении и современном состоянии земной коры, позволяющая восполнить этот пробел.

Современные эндогенные режимы, как и прошлые, невозможно наблюдать вочью, и тем более непосредственно картировать - их можно только выявлять на основе специально разработанных методов. При этом главной задачей в проблеме современных эндогенных режимов становится выделение и картирование объемных геологических тел разного ранга, связанных между собой в

пространстве и образующих закономерные ассоциации. Такими телами являются типы земной коры.

Под типом земной коры понимается объемное геологическое тело, занимающее всю ее мощность и характеризующееся сходными особенностями современного строения и состояния. Хотелось бы подчеркнуть, что в этом самом общем определении авторы не ставят никаких ограничений ни по размерам данного геологического тела (типа земной коры), ни по степени близости значений тех параметров, которые характеризуют особенности его строения и состояния.

Иными словами, тип коры - понятие подвижное, и в каждом данном случае оно определяет разные геологические тела в зависимости от масштаба, в котором проводится их рассмотрение. В соответствии с изложенным, типом земной коры может быть и геологическое тело самого минимального размера, который поддается описанию, или, наоборот, тело с любыми другими объемными параметрами. Важно лишь одно - чтобы оно, при рассмотрении в данном масштабе, имело отличающиеся от соседствующих с ним в пространстве других геологических тел характеристики.

Под современным эндогенным режимом, следовательно, понимается совокупность протекающих в земной коре процессов, отраженных в характеристиках ее современного состояния и строения.

Геофизические данные являются главным источником информации о современном глубинном строении и состоянии земных недр. Их обобщение для выделения определенных типов земной коры и ее районирование на комплексной основе всегда было и до сих пор

остается одной из важнейших задач при решении проблем тектонического районирования и выявления закономерностей эволюции земной коры. Общепринятых правил ее решения до сих пор также пока не найдено. Сложность задачи обусловлена многими причинами, некоторые из которых достаточно очевидны.

При любом масштабе изучения зон разного тектонического устройства выясняется, что каждый вид геофизической информации на очень коротком расстоянии по латерали и глубине изменяется в широком диапазоне значений.

Эта ситуация отражает реально существующую в природе обстановку, в которой любая сравнительно небольшая часть земной коры обладает своей неповторимой индивидуальностью. Следовательно, объединение таких частей земной коры, ее типизация, неизбежно влечет определенные издержки за счет обобщения исходных данных [3].

Один из наиболее распространенных приемов типизации — ограничение количества видов информации, принимаемых во внимание [3,5,38]. Обычно при этом используется анализ парных корреляций каких-то признаков, из которых наиболее часто рассматриваются данные о мощности земной коры, ее расслоенности, средней скорости в консолидированной части, тепловом потоке и гравиметрических аномалиях. Этот путь необходим при выявлении самых общих закономерностей строения и состояния земной коры.

Сокращение видов привлекаемых к анализу исходных данных до 2-3-х позволяет проводить типизацию земной коры без предварительной формализации этого исходного материала и привлечения математических методов его обработки. Увеличение

числа признаков требует разработки новых способов типизации коры, поскольку без использования специальных приемов ни один исследователь не в состоянии выстроить многомерное пространство.

Некоторые приемы учета большого количества видов исходной информации использовались при решении задач в сейсмотектонике и при обобщении данных о современном состоянии земной коры [3,8,15,40,56]. Они заключались в том, что классификация по комплексу признаков заменялась классификацией по одному синтезированному. Этот путь оказался не слишком перспективным — преодолевая одну сложность решения задачи, исследователи столкнулись с рядом других (необходимость введения весовых коэффициентов для признаков, формулировкой сущности выбранного синтетического признака и т.д.).

Представляется, что может быть применен еще один метод типизации земной коры по комплексу исходных данных. Он основан на использовании процедуры кластерного анализа, в рамках которой решается задача распознавания без обучения. Процедура позволяет объединить объекты данного ранга, описанные комплексом исходных данных, в объекты более низких рангов.

При решении поставленной задачи соблюдались следующие условия:

1. Исходная информация не должна в целом подвергаться какой бы то ни было предварительной обработке — разбиению признаков на градации, выделению средних значений для каких-то структур, экстремумов и т.д.

2. Классификация должна основываться на комплексном подходе. С одной стороны, она должна принимать во внимание многообразие

видов исходной информации, отражающих современное строение и состояние земной коры. С другой — полученные в результате проведения классификации объекты должны характеризоваться тем же комплексом признаков, в той же количественной мере. Иными словами, в течение всей процедуры проведения классификации анализ должен иметь дело с одними и теми же количественными данными.

3. Ни один из видов исходной информации не должен быть доминирующим — все они должны быть равнозначными и приниматься с равным весом.

4. В анализе не должны использоваться те виды исходной информации, которые хорошо коррелируют между собой [3,5].

Проведение типизации земной коры на комплексной основе представляется весьма актуальной задачей. И без нее невозможно продвинутся дальше в решении проблемы выявления современных эндогенных режимов. Как справедливо заметили В.В.Белоусов и Н.И.Павленкова [5], такая типизация является лишь первым этапом работы. На следующем "очень важно было бы использовать типизацию особенностей глубинного строения коры для выяснения причинно-следственных взаимоотношений между процессами в коре".

Таким образом основные цели нашего исследования возможно сформулировать следующим образом.

1. Типизация земной коры на многопризнаковой основе.
2. Районирование избранной для анализа территории по выделенным типам земной коры.
3. Выявление принадлежности тех или иных типов земной коры к определенным классам современных эндогенных режимов, стадиям их

проявления, фазам активности, а также взаимоотношений этих режимов с режимами предшествующей стадии геологического развития.

4. Районирование избранной для анализа территории по принадлежности к современным эндогенным режимам.

5. Анализ распределения современных эндогенных режимов в пределах изучаемой территории и выявление закономерностей их пространственных взаимоотношений.

6. Анализ связи между пространственным распределением современных эндогенных режимов и соответствующим распределением тектонических элементов, выделяемых в рамках проведения традиционного тектонического (неотектонического) районирования с целью выявления общих закономерностей эволюции земной коры.

В связи с этим в данной работе, как и в ряде других (например, [3]), в качестве исходных не привлекались данные тектонических (в том числе и неотектонических) построений.

Вместе с тем при разработке нового направления, связанного с изучением современных эндогенных режимов, не следовало ограничиваться лишь решением чисто научных, фундаментальных проблем. Новое знание в геотектонике должно было привести к появлению новых подходов и в решении задач прикладного характера. К их числу относятся те прогностические, которые могут решаться с использованием исходных данных, характеризующих современное строение и состояние земной коры.

Следовательно, могут быть дополнительно сформулированы и некоторые прикладные задачи, которые непосредственно лежат в сфере проводящихся исследований. Это — прогнозирование

пространственного распределения сейсмотектонического потенциала (М<sub>max</sub>), а также некоторых видов полезных ископаемых, формирование которых может обоснованно связываться с последними стадиями эволюции земной коры.

Разработка направления, связанного с изучением современных эндогенных режимов, началась в 1985 г., и за последующие годы был проделан значительный путь. Первоначально современные эндогенные режимы рассматривались для сравнительно небольшой территории, включавшей Карпатский и Кавказский регионы. На второй стадии площадь исследований уже включала практически почти всю территорию Европейского континента (за исключением его северной и самой западной частей), а также акватории Средиземноморья (в том числе Черного и Каспийского морей). На третьей стадии в анализ была также включена значительная часть Средней Азии, в основном охватывавшая горную область и смежные части Туранской плиты.

Постепенно расширялся и круг задач, которые ставились в ходе проведения исследований. Если на начальных стадиях основное внимание уделялось фундаментальным проблемам выявления современных эндогенных режимов, то несколько позже стали ставиться и отмеченные выше прикладные задачи.

В работе принята следующая последовательность изложения и распределение обязанностей между авторами. Раздел, описывающий избранную авторами процедуру проведения типизации земной коры на комплексной основе подготовил М. Г. Рейснер (Институт Геохимии и аналитической химии РАН - ГЕОХИ). Разделы, посвященные проблемам интерпретации данных типизации земной коры, выявления

современных эндогенных режимов, анализу их пространственного распределения, обсуждению сейсмотектонических проблем, связанных с прогнозом сейсмотектонического потенциала (М<sub>max</sub>), подготовлены Л. И. Иогансон и Г. И. Рейснером (лаборатория Сейсмотектоники Института физики Земли РАН - ИФЗ). Введение и Заключение написаны авторами совместно. Указанное авторство относится лишь к окончательному оформлению работы. На самом деле работы проводились совместно, и вклад каждого автора в любой раздел практически невозможно выяснить.

Исследования по изучению современных эндогенных режимов проводились под непосредственным руководством члена-корреспондента РАН В. В. Белоусова до самой его смерти в 1990 году. Поддержка рождающегося нового направления и непосредственная помощь, оказанная авторам на первых шагах их исследования, были исключительными. Без преувеличения можно утверждать, что без научного обогащения идеями В. В. Белоусова и его непосредственного влияния на ход исследований вряд ли авторам удалось бы существенно продвинуться в разработке поставленных задач. Эти обстоятельства побудили авторов посвятить свой труд светлой памяти В. В. Белоусова.

Большое техническое содействие на разных стадиях исследований авторам оказали лаборатории Математических методов Геологического Института РАН (ГИН), Геохимии магматических и метаморфических пород (ГЕОХИ), Эндогенных режимов и Сейсмотектоники (ИФЗ), а также Сектор информационных систем (ГЕОХИ). В процессе проведения исследований и подготовки рукописи авторы неоднократно обсуждали различные аспекты работы

со многими геологами, геофизиками, сейсмологами, математиками и специалистами других областей знаний, особенно с М.Е.Артемьевым, В.Г.Гитисом, В.Г.Леви, Н.И.Николаевым, А.А.Никоновым, Н.И.Павленковой, В.Н.Страховым, В.С.Хромовских, Н.В.Шебалиным, В.Н.Шолпо, Ю.К.Щукиным, Ф.Л.Яковлевым а также многими другими сотрудниками ИФЗ, ГЕОХИ, ГИНа и других академических и производственных организаций.

Часть исходных материалов по территории Европейского континента и обрамляющим акваториям была любезно предоставлена авторам сотрудниками Отдела сравнительного изучения тектоносферы континентов и океанов ИФЗ М.Е.Артемьевым и Н.И.Павленковой. Большая же их часть почерпнута из литературных и фондовых материалов, сбор и первичную обработку которых по территории Европы провели Г.И.Рейснер и М.Г.Рейснер, а по территории Средней Азии - Ю.Е.Баранов (Институт минералогии и геохимии редких элементов РАН и Российского Геолкомитета - ИМГРЭ).

Всем перечисленным лицам и организациям авторы приносят свою искреннюю благодарность за дружескую критику, ценные советы, поддержку и помощь. Особую признательность авторы выражают Л.М.Дубинскому за создание первого варианта используемой программы кластерного анализа, В.А.Груздеву, Э.Я.Ашкалиеву и Г.Г.Айвазову за предоставление ряда программ.

Начиная с конца 1985 года, результаты исследований регулярно обсуждались на семинарах лабораторий Эндогенных режимов и Сейсмотектоники Отдела сравнительного изучения тектоносферы континентов и океанов и Ученом совете ИФЗ, в Комиссии по неотектонике и современной геодинамике Тектонического комитета

РАН, Комиссии по Международным тектоническим картам РАН, на Всесоюзных и Международных совещаниях. Результаты этих исследований частично опубликованы [38-48].

## 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТИПИЗАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

### 2.1. Характеристика исходных данных

Проблема отбора исходных данных для решения задачи районирования современных эндогенных режимов является чрезвычайно сложной, поскольку идентификация их с древними режимами затруднительна. Дело в том, что признаки, характеризующие последние (формации, тип складчатости, разрывные нарушения и т.д.), формируются длительно и для выявления современных режимов их невозможно использовать. Поэтому следовало стремиться к тому, чтобы исходные данные по возможности полно отражали сущность тех процессов в земной коре (тектонических, магматических, метаморфических), по которым сами древние эндогенные режимы были выделены.

Контрастность и интенсивность тектонических движений земной коры в настоящее время поддается непосредственным измерениям геодезическими методами. В соответствии с этими данными в принципе возможно определение общих тенденций развития тектонических движений и выделение областей поднятий и опусканий разного масштаба.

Однако есть некоторые ограничения на их привлечение в анализ. Данные по современным движениям отсутствуют для акваторий, что не позволяет проводить их сравнение на комплексной основе с данными по континентам. Между тем сегодня достаточно очевидно, что одни и те же современные режимы развиты как на континентах, так и на акваториях [44,45,64]. Кроме того, анализ данных, суммированных

на картах современных движений, показывает, что результат существенно зависит и от сроков проведения измерений. Так, для Большого Кавказа в его осевой части на одной из карт указываются скорости современных поднятий, превышающие 11 мм/год, а на другой для тех же районов показаны нулевые значения [17,23]. Эти сведения, следовательно, лишь частично отражают долговременные тенденции тектонического развития. Для горных областей также наблюдения проводятся на ограниченном числе профилей, а полученные результаты широко экстраполируются, как правило, с оглядкой на имеющееся распределение высот современного рельефа. Проведенный ранее анализ показал, что коэффициент корреляции между указанными двумя признаками  $r=75\%$  [40]. И, наконец, у некоторых исследователей вызывает также озабоченность, что результат измерений относится к движениям не земной коры, а земной поверхности [29].

Все это заставило нас заменить данные о современных движениях на сведения о высоте (глубине) современного рельефа [40]. Хотя эта замена и не является равноценной, избежать ее не удалось. Данные о контрастности и интенсивности современных движений могут частично восполняться и материалами о современном положении (глубине залегания) поверхности консолидированного фундамента.

О глубинных процессах регионального метаморфизма, гранитизации и магматизма, возможно судить только по ряду косвенных признаков, дающих представление о температурных условиях и давлениях в глубоких частях земной коры. К числу таких признаков относятся мощность земной коры, глубина залегания фундамента, тепловой поток, средняя сейсмическая скорость в консолидированной коре и

распределение в ее пределах аномалий силы тяжести. Эти же данные в определенной степени могут характеризовать и степень проницаемости земной коры.

Из числа дополнительно возможной следует еще упомянуть лишь о сейсмологической информации. Она не рассматривалась в качестве исходных данных, по которым проводилась типизация земной коры, исходя из двух соображений. Во-первых, этот признак подвижен и развивается непосредственно сегодня, внося существенные изменения в среду остальных признаков более длительного времени действия. Пример с двумя сильнейшими землетрясениями Кавказа с  $M > 7$  1988г. в Армении и 1991г. в Грузии хорошо иллюстрируют это положение. Во-вторых, сейсмотектонические проблемы, как уже отмечалось, в том числе и прогнозирование сейсмотектонического потенциала ( $M_{max}$ ), являются объектом нашего исследования и поэтому не могут быть одновременно и предметом описания при проведении типизации земной коры.

В целом, если не иметь в виду геомагнитные данные, неадекватно описывающие районы с разной глубиной залегания фундамента, перечисленными признаками вообще ограничены наши возможности описания современной структуры и состояния коры.

Оптимальным было бы привлечение к анализу единообразно и равномерно изученного исходного материала в пределах рассматриваемого объекта. Однако выполнить это условие для больших по площади регионов в настоящее время совершенно нереально. Из-за отсутствия данных о средней скорости сейсмических волн в консолидированной коре по территории Средней Азии в данной работе этот параметр был исключен из анализа.

Точно так же было бы совершенно нереальным пытаться иметь дело не с существующими интерпретациями исходных данных, а с первичными материалами. И это несмотря на то, что именно такой подход рекомендовали В.В.Белоусов и Н.И.Павленкова: "Важно, чтобы признаки вытекали непосредственно из наблюдений без применения априорных представлений о модели среды и субъективно избираемых методов интерпретации" [5, стр.4].

Авторы отдадут себе отчет в том, что любые исходные данные не являются идеальными и в них уже содержится элемент творческого обобщения, причем в большинстве случаев с оглядкой на существующие представления о тектоническом устройстве того или иного региона. Однако, учитывая методический характер работы, здесь не ставилась задача переинтерпретации исходных данных: это - особая проблема, выходящая за рамки решаемых вопросов. Авторы лишь стремились к тому, чтобы использованные виды исходной информации были бы с единообразных позиций обобщены. Ибо только при анализе внутренне непротиворечивых материалов полученные результаты могут сравниваться между собой и быть осмыслены.

Представляется, что перечисленным условиям удовлетворяет следующая исходная информация, привлеченная к анализу:

1. Плотность теплового потока ( $Q$ ). Эти данные почерпнуты из работ [50,59].
2. Мощность земной коры ( $T$ ). Как уже отмечалось, для территории Европы эти данные были предоставлены Н.И.Павленковой, а для территории Средней Азии - получены из других опубликованных источников [18-19].
3. Высота (глубина) современного рельефа ( $R$ ). Для всей

исследованной территории Европы и Средней Азии эти данные непосредственно сняты с гипсометрических карт обзорного масштаба (от 1:2500000 до 1:1000000).

4. Изостатические аномалии силы тяжести (I). Данные по этому параметру были предоставлены М.Е. Артемьевым для всей исследованной территории [2,3,48].

5. Глубина залегания консолидированного фундамента (F), или мощность осадочного чехла. Основными источниками получения этой информации были работы [20,57,61]. Использовались данные не о сейсмическом фундаменте со скоростью 6.0 км/сек, а сведения о глубине залегания разновозрастного "геологического" фундамента.

В качестве предмета комплексного описания и рабочей точки при счете на ЭВМ использовалась элементарная ячейка 20'x 30' градусной сетки. Она соответствует по размеру одному листу топографической карты масштаба 1:100000.

Выбор площадки такого размера диктовался следующими соображениями.

1. Было бы неправильно придерживаться какой-либо из существующих схем тектонического районирования, которое является целью анализа, и делать предметом описания составляющие его структурные элементы.

2. При масштабах карт, содержащих исходную информацию (от 1:1000000 до 1:7500000), избранный размер элементарной ячейки представляется оптимальным. Его уменьшение привело бы к детализации, не обеспеченной исходным материалом. Увеличение размеров ячейки привело бы к сильному осреднению исходных данных и их несоответствию реальной обстановке.

3. Избранный размер элементарной ячейки примерно соответствует средней мощности земной коры. В этом случае, как справедливо указывал Н.В. Шебалин (устное сообщение), избранная площадь осреднения служила фильтром, через которой не проходили шумы, характеризующие как мелкие локальные приповерхностные, так и мелкомасштабные подкоровые неоднородности.

4. Поскольку ставилась задача решения и определенных сейсмотектонических проблем, немаловажным было то обстоятельство, что элементарная ячейка примерно соответствует размерам очагов землетрясений с магнитудой около 5.5-6.5.

Общее число элементарных ячеек, которые анализировались при проведении типизации земной коры и решении последующих задач, составляло около 4500, а их распределение в пространстве показано на рис.2. Характеристика исходной выборки приведена в табл.1.

Таблица 1  
Характеристика исходной выборки

Q(mVt/v2)			T(km)			R(km)			I(усл.ед.)			F(km)		
Q1	Q2	Q3	T1	T2	T3	R1	R2	R3	I1	I2	I3	F1	F2	F3
57	20	110	37	15	76	0.3	-3.5	5.6	3	-115	68	3.8	0	22

Примечание: цифра 1 у символа параметра означает среднее, 2 - минимальное, 3 - максимальное значение.

Для выборки в целом отмечается низкий уровень корреляции между

признаками, что хорошо иллюстрируется материалами, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

Корреляционная матрица исходных признаков по территории Европы

	Q	T	R	I	F
Q	1.00	-	-	-	-
T	-0.35	1.00	-	-	-
R	0.17	0.55	1.00	-	-
I	0.23	-0.16	0.08	1.00	-
F	-0.34	-0.14	0.54	-0.42	1.00

Что касается отдельных регионов, то их корреляционные матрицы чрезвычайно индивидуальны. Полное отсутствие корреляций на уровне  $r > 0.5$  отмечается для Мизийской и Скифской плит, а на уровне  $r > 0.6$  - для Русской платформы, а также активизированных в новейшее время герцинид Западной Европы. Для большинства регионов Европы (12 из 20) отмечается корреляция между 1-3 признаками на уровне  $r > 0.5$ . В остальных количество пар признаков с корреляцией на уровне  $r > 0.5$  возрастает до 5 в Паннонском регионе, 6 - в

Тирренском, 8 - в Лигурийском, Черноморском, Падано-Венецианском, Крымско-Кавказском.

В целом количество коррелирующих на определенном уровне признаков является, вероятно, важным критерием выделения областей, в которых в настоящее время продолжается процесс интенсивного структурообразования. Это следует хотя бы из того факта, что наименьшее количество коррелирующих между собой признаков отмечается в пределах областей, традиционно считающихся платформенными, а увеличение этого количества характерно для так называемых подвижных территорий. Однако анализ такого рода не является задачей нашего исследования и требует разработки специальных методов.

Следовательно, в целом для территории Европы привлеченные к анализу исходные параметры коррелируют между собой слабо. Вместе с тем они достаточно хорошо дифференцируют ее, изменяя в большом диапазоне свои значения при переходах от одного района к другому в пределах любого региона, а также при межрегиональных переходах.

В табл. 3 указаны региональные характеристики исходных параметров. Там же отмечено количество элементарных ячеек, входящих в пределы каждого региона и процент площади, занимаемой им в исследованной области.

Еще до начала работ предполагалось, что имеющийся материал позволит провести его региональную статистическую обработку. Поэтому заранее было проведено тектоническое районирование изучаемой территории по данным работ [9, 16, 20, 21, 24, 57, 61], результаты которого также представлены в табл. 3.

Таблица 3

Региональные средние характеристики параметров

исходной выборки

Регионы	число ячеек	% рег.	Q	T	R	I	F
Пиренейский	30	1	78	34	0.9	-8	0.3
Паданский	37	1	46	36	0.3	-16	3.6
Мизийский	59	1	54	35	0.2	4	2.3
Тирренский	74	2	96	25	-1.1	23	3.6
Малокавказско-							
Понтийский	75	2	53	40	0.8	27	1.9
Адриатический	86	2	47	37	-0.2	4	8.8
Балканский	87	2	59	38	0.6	31	0.5
Динарский	90	2	49	41	0.9	6	3.0
Апеннинский	103	3	68	31	0.5	7	2.4
Каспийский	116	3	52	40	-0.1	-10	6.6
Паннонский	126	3	90	30	0.2	15	3.8
Лигурийский	127	3	74	21	-1.6	16	5.4
Крымско-							
Кавказский	143	3	54	47	1.2	2	0.2
Скифский	157	4	63	42	0.1	-11	3.1
Альпийский	172	4	77	38	1.5	3	0.4
Карпатский	174	4	66	38	0.8	6	0.8
Прикаспийский	235	6	51	38	0.0	-20	12.3
Черноморский	281	7	37	30	-1.1	-2	8.8

Таблица 3 (продолжение)

Неактивизирован- герцинид	328	8	65	34	0.1	-3	2.6
Активизирован- ных герцинид	345	8	71	30	0.4	11	0.4
Русской плат.	507	12	43	42	0.1	3	2.1
Горный Средн.	378	9	61	46	1.2	3	5.4
Туранский	447	11	62	39	0.2	4	3.4

## 2.2. Алгоритм кластерного анализа

Типизация с применением процедуры кластерного анализа основана на построении многомерного пространства, в котором количество измерений соответствует числу используемых для ее проведения признаков. Объединение точек в группу (кластер) проводится в зависимости от их близости в этом пространстве. Мерой близости может служить расстояние между ними в определенном виде (декартово, логарифмическое, расовый критерий Пирсона), а также величина угла между векторами или какая-либо другая мера.

Использовалась процедура кластерного анализа, аналогичная применявшейся ранее [40]. Проводился ряд одинаковых по технике итераций (шагов), на каждом из которых в кластер объединялись точки, имеющие между собой наименьшее расстояние в многомерном пространстве признаков. Процедура начиналась, когда число кластеров было равно числу исходных объектов, а завершалась при объединении всех исходных объектов в один кластер. На каждом шаге и для каждой точки проверялось условие ее вхождения в кластер:  $MIN L MEQ < MIN L KEQ$ , где  $L$  - мера близости по всем признакам;  $M$

- точки, вошедшие в кластер Q; K - точки, не принадлежащие кластеру Q (Q - дополнение Q до всей выборки).

При проведении итерации в программе предпринимаются следующие действия:

- всем объектам приписывается ссылка на один ближайший к ним объект и расстояние до него ( в начале работы - на самого себя и очень большое расстояние );

- просматриваются все объекты попарно и, если расстояние меньше ранее полученного, то запоминается новый сосед и расстояние до него;

- по полученной информации о соседях проводится объединение объектов в кластеры.

При таком алгоритме из тождественных объектов выбирается только тот, который раньше остальных стоял в списке исходных данных. Это относится и к случаю, когда два объекта равноудалены от третьего. При изменении порядка следования исходной информации мы будем получать несколько отличающиеся друг от друга результаты. Это - один из недостатков применявшегося алгоритма.

На каждом шаге после объединения точек в кластеры вычислялись средние значения признаков в них и запоминались вошедшие в те или иные кластеры точки. При этом все рассматриваемые точки попадают в какой-то кластер. Однако те из них, которые находятся на периферии облака, формирующего кластер, могут сильно исказить типизацию. Этому препятствует небольшое усложнение алгоритма, названное "коррекция". Оно заключается в следующем: после расчета средних значений признаков всех кластеров данного шага проводится их новое объединение (объединение второго уровня - фактически

последующий шаг) и рассчитывается мера дисперсии кластера - среднее расстояние между всеми входящими в него точками на обоих уровнях. Затем проверялось условие:

$$R_A < R_B,$$

где  $R_A$  - среднее расстояние в кластере "А" первого уровня;  $R_B$  - среднее расстояние в кластере "В" второго уровня, причем кластер "А" на втором уровне вошел в кластер "В".

Если это условие не выполняется, из кластера первого уровня выводится точка с наибольшим расстоянием, образуя самостоятельный кластер того же уровня. Затем вновь пересчитываются средние расстояния в кластере первого уровня, и проверка повторяется до того момента, пока условие не будет соблюдено.

После коррекции всех кластеров проводится расчет средних значений признаков в них, данный шаг считается завершенным, а результат выводится в файл. На следующей итерации кластер предыдущей рассматривается как самостоятельная точка. Процедура повторяется до объединения всех исходных точек в один кластер.

В применяемом алгоритме расстояние между двумя точками определялось в евклидовом пространстве признаков. В этом случае упрощалась задача уравнивания влияния признаков на расстояние между точками. Дело в том, что в данном случае признаки, характеризующие положение точек в пространстве, измеряются в разных единицах. В соответствии с этим расстояние между точками будет определяться значением признака с максимальным числовым значением. Чтобы избежать этого все признаки были масштабированы, т.е. нормированы на размах их проявления в исходной выборке. При

этой области изменения значений была заменена шкалой в 32000 единиц. Как показала типизация, такой шкалы достаточно для обеспечения точности. Тем самым, казалось бы, все признаки в процедуре использовались с равным весом. Однако это не так.

Масштабирование привело к тому, что признак с большим размахом, т.е. большими экстремальными значениями, оказывает влияние на классификацию только при достижении этих экстремальных значений. Когда же его значения близки к среднему уровню, его вклад в классификацию мал. Таким признаком на этот раз оказались изостатические аномалии.

В настоящее время продолжают работы по усовершенствованию алгоритма. Уже сейчас возможно оценить относительный вклад признаков в применявшемся, используя имеющийся набор исходных данных. Все последующие рассуждения при этом имеют смысл только для конкретного примера (Кавказ), так как вклад признаков зависит от характера исходных данных в пределах тестового региона.

Для нормировки определяется размах и рассчитывается цена 1/20 диапазона изменения или 1600 единиц применяемых при кластерном анализе. Эквивалентные для процедуры обработки значения признаков сведены в табл. 4.

Данные таблицы показывают, что при нормировке две пары объектов имели одинаковое расстояние в паре, если в одной, при прочих равных условиях, значение теплового потока отличалось на 3.5 мВт/м<sup>2</sup>, а во второй – высота рельефа на 0.31 км. Иными словами, в рассматриваемом примере вклад в 3.5 мВт/м<sup>2</sup> теплового потока равен вкладу в 0.31 км высоты рельефа. Следовательно вклад признаков при проведении процедуры оказывался реально различным.

Табл. 4

Эквивалентные значения признаков

Признак и ед. изм.	Нормировки на размах	
	Физические	При анализе
Q мВт/м <sup>2</sup>	3.50	1600
T км	1.50	1600
R км	0.31	1600
I усл. ед.	9.85	1600
F км	1.00	1600

В соответствии с этим может быть определен порядок чуткости признаков:  $R - F - T - Q - I$ . Заметим, что при нормировке относительные веса признаков сопоставимы с точностью снятия значения признака с карты: для теплового потока – около 3-мВт/м<sup>2</sup>, для рельефа – около 0.3 км и т.д.

Физически алгоритм реализован в виде трех отдельных программ, обмен между которыми осуществляется с помощью бесформатных файлов на магнитном диске. Первая – готовит исходную выборку для обработки и формирует файл для загрузки, вторая – проводит кластерный анализ и формирует файл с результатом типизации, третья, используя вышеупомянутые файлы, проводит простейшую статистическую обработку, готовит печать и ряд вспомогательных файлов для последующей обработки и графического представления результатов с помощью других программ. Программы работают в пакетном режиме.

Программа обеспечивает распечатку результата кластерного анализа и дает возможность дополнительно обработать полученные результаты. Она сообщает общее число итераций и число кластеров на каждой из них. Затем в специальном файле указывается режим работы программы. Возможно указать номера итераций, для которых надо приготовить распечатку, ее конкретный вид, наименование необходимых дополнительных файлов. Программе доступна исходная выборка, поэтому для каждого кластера можно посчитать размах значений признаков (минимальные и максимальные значения), их средние значения (естественно отличающиеся от средних значений для кластера, полученных при классификации), стандартные отклонения. Эта информация выводится в реальных, а не масштабированных, цифрах.

Кроме этого, могут быть сформированы файлы, по одному для итерации, для построения графиков и диаграмм по всем вышеуказанным видам информации. А также файл с координатами точек для построения карт пространственного распределения выделенных кластеров (типов коры). Для каждого кластера может быть создан файл с фактическими значениями всех точек его образующих. Эти файлы можно использовать для проведения дискриминантного анализа между кластерами.

В начале распечатки приводится список файлов выборки, число точек в каждом из них, их порядковые номера и общее число точек в выборке. Для каждого кластера приводятся нужные числовые характеристики признаков и дополнительно - матрица корреляции признаков в кластере. После числовой информации идут имена файлов

с числом точек, вошедших в кластер с отсортированными их номерами.

В программе предусмотрено сравнение объектов высокого ранга (например, регионов Кавказа и Карпат), при большом их количестве, по гистограммам частот встречаемости кластеров для разных регионов. Программа готовит такие гистограммы для каждого из файлов, участвующих в обработке, и выводит их в файл стандартного формата. Требования к ресурсам у этой программы такие же, как и у программы кластерного анализа, скорость работы зависит от времени сортировки номеров точек разных файлов. В целом, она работает несколько быстрее.

Кроме указанной ранее, при использовании алгоритма возникли и некоторые другие трудности, связанные со следующими его особенностями:

- для каждого объекта предусмотрен только один ближайший сосед, а в исходных данных таких близнецов множество;
- не была заложена возможность изменения веса признаков, если есть необходимость изменить их вклад в расстояние между объектами;
- для проведения одной результативной итерации фактически выполнялось два шага, что связано с реализацией коррекции; это почти удваивало время счета на ЭВМ;
- приходилось выполнять процедуры преобразования исходных данных при переносе информации с IBM/PC на MicroVAX для проведения расчетов, и обратно.

Знание этих недостатков позволит в дальнейшем усовершенствовать алгоритм и получить более надежные результаты для интерпретации.

Наиболее распространенный в настоящее время вариант кластерного анализа – бинарный. Самое существенное его отличие от примененного в настоящей работе следующее: расстояния между точками рассчитываются только один раз – в начале обработки, а матрица расстояний хранится, что создает трудности при реализации алгоритма на малых ЭВМ. Кроме того, на каждой итерации объединяются только две самые ближайшие точки, а расстояния от объединенных точек до всех остальных пересчитываются в соответствии с выбранной стратегией. Необходимость хранения матрицы расстояний ограничивает число обрабатываемых точек на используемой ЭВМ (физический предел – около 100–150 точек). Главное достоинство бинарного анализа – наглядность: выдача результата происходит в виде дендрограммы – дерева объединения точек. Это полезное свойство использовалось для дополнительной интерпретации результатов основного метода.

В использованном алгоритме заключен эвристический подход к решению проблем типизации по комплексу признаков и в общем виде реализована задача распознавания без обучения. Как следует из ее сути, интерпретация полученного результата невозможна без привлечения дополнительной информации. Созданные образы (типы земной коры, протекающие в ней процессы) должны быть сопоставлены с представлениями, полученными независимыми способами анализа. Такое сопоставление проведено в последующих разделах.

### 3. ТИПИЗАЦИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ.

#### 3.1. Результаты предыдущих исследований.

В более ранних работах [39–43], когда метод только начал разрабатываться на относительно небольших выборках, авторы стремились к более обобщенному результату. В этих случаях интерпретировались относительно удаленные шаги процедуры, на которых выделялось сравнительно небольшое число типов коры (около 30). На большей выборке [44–46, 64] для интерпретации использовались менее удаленные от начала процедуры шаги, на которых выделялось такое же число типов коры. Полученные грубые типизации земной коры не всегда нас удовлетворяли. Из-за того, что некоторые типы в подвижных областях включали большое количество элементарных ячеек, структура описывалась слишком обобщенно. В связи с этим мы в некоторых случаях вынуждены были разделять их на "подтипы".

Поэтому в дальнейшем интерпретировались более ранние шаги процедуры при работе с выборками любого объема. Тем более, что при интерпретации (выявлении современных эндогенных режимов, например) все равно происходит объединение типов коры в ассоциации. С другой стороны, при решении практических задач также необходимо использовать данные ранних шагов процедуры. В этом случае дисперсия значений параметров для совокупности элементарных ячеек, входящих в данный тип коры, не будет сильно отличаться от точности их определения. И, следовательно, при решении прогнозных задач уменьшается возможность возникновения

ошибок типа "ложная тревога".

Типизации земной коры, полученные для территории Европы и смежных акваторий, не противоречат данным других исследователей [5,12,14,16,20-22,24,53,57,61], хотя в деталях можно найти и существенные различия. Наибольшее сходство полученных результатов с данными тектонического и неотектонического районирования характерно для платформенных областей (т.е. территорий с унаследованной эндогенной обстановкой). Этот факт свидетельствует, что избранный подход к типизации земной коры на многопризнаковой основе является правомочным. Имеющиеся различия определяются тем, что результаты тектонического и неотектонического районирования базируются на исходных данных, отражающих суммарный эффект долговременно действующих признаков, а предложенные типизации отражают их "сиюминутный" срез. С другой стороны, они определяются также и тем, что ранее ни одна из классификаций земной коры Европы не базировалась на совместном рассмотрении такого числа исходных признаков.

Особенностью нового подхода было то, что структуры различного ранга (например, такие регионы, как Кавказ, Карпаты) не определяются каким-то одним заранее заданным типом коры ("кавказский", "карпатский"). Они выявляются как определенная совокупность некоторого числа выделенных типов коры. Раньше исследователи стремились охарактеризовать разные параметры структур, выделенных по данным тектонического или неотектонического районирования. Здесь же ставилась прямо противоположная задача выявления существующих в природе структур по материалам о современном строении и состоянии земной коры. В

этом смысле подход близок к принятому при составлении тектонических карт (например, [57]), при котором данная структура представляет собой совокупность определенных знаков легенды.

### 3.2. Районирование по типам земной коры

Представляемая в работе типизация земной коры охватывает территорию Европы с обрамляющими южными морями, а также Среднюю Азию. Всего с использованием процедуры кластерного анализа было пройдено 8 шагов, на каждом из которых было выделено следующее количество типов коры: 1-1558, 2-560, 3-219, 4-56, 5-32, 6-13, 7-5 и 8-1. Ранее уже обосновывались причины, по которым для интерпретации был избран 2 шаг процедуры. Характеристика небольшого количества основных типов коры этого шага приводится в табл.5, а их пространственное распределение показано на рис.1.

Таблица 5  
Характеристика некоторых основных типов коры, выделенных на 2 шаге процедуры кластерного анализа

тип коры	п р и з н а к и				эндогенный режим (знак легенды рис.3)
	Q mVt/m <sup>2</sup>	T км	R км	F км	
1	45.0	43.0	.2	2.2	1
2	45.0	36.7	.1	1.3	4
5	44.0	31.3	.1	2.1	7

Таблица 5 (продолжение)

7	50.4	45.6	.3	1.5	2
15	60.0	30.6	.1	2.5	8
16	65.0	34.8	.3	1.2	5
17	82.5	29.2	.1	4.4	9
20	70.0	37.4	.8	.4	26
24	55.0	32.9	.4	.3	31
26	80.0	27.9	.5	.4	34
28	36.3	43.1	1.0	9.1	20
35	51.1	44.3	1.5	.2	24
36	76.2	40.7	2.2	.6	35
41	45.0	50.6	1.2	1.5	15
43	48.1	32.7	.5	.4	29
46	65.0	36.5	.6	.1	23
49	70.9	39.9	.2	2.2	32
56	73.4	40.0	0.0	1.7	3
57	52.2	49.2	.5	2.5	13
66	72.3	36.0	.1	5.6	6
121	85.0	26.2	.7	.2	37
133	83.6	20.8	-1.1	4.0	11
141	60.6	17.5	-2.2	4.1	10
155	72.0	29.6	1.4	0.0	38
157	71.8	45.1	1.5	.1	27
174	76.0	46.7	2.8	0.0	36
176	72.4	53.8	2.5	.2	17
179	54.6	49.5	1.1	1.6	16
181	72.3	45.4	.7	2.0	14
193	56.6	52.9	2.7	2.9	25

Таблица 5 (окончание)

196	47.0	49.7	2.5	7.6	21
200	63.2	55.9	4.1	.0	33
202	70.8	52.0	2.8	0.0	28
205	49.9	48.3	2.7	1.0	22
225	43.3	39.2	1.4	0.0	30
298	72.1	67.6	4.2	.1	19
367	40.0	45.0	1.9	1.5	12
399	75.0	40.0	3.3	1.5	39
514	43.0	62.0	2.5	0.0	18

Примечание: представлена характеристика типов коры, каждый из которых отвечает определенному современному эндогенному режиму, распределение которых указано на рис. 3. Знаки легенды этого рисунка отмечены в последней колонке таблицы.

Результаты сопоставления полученной типизации с основными структурными элементами рассмотренной области по данным работ [20, 57] проведено нами на детальном уровне для Западного, Центрального и Восточного суперрегионов, границы между которыми мы проводим по линии Торнквиста-Тейсейра и акватории Каспийского моря. Здесь, однако, мы можем представить их лишь в сжатом виде.

### 3.3. Закономерности пространственного распределения различных

#### групп типов земной коры

Из проведенного анализа возможно заключить следующее.

Выделяемое в пределах рассмотренных структур разного ранга





Большое количество типов земной коры является тривиальным следствием избранного для интерпретации второго шага процедуры кластерного анализа. В пределах каждой такой структуры типы коры формируют определенную пространственную ассоциацию, для которой характерна близость значений всех параметров типов коры, ее образующих. Вместе с тем в пределах каждой структуры по некоторым из этих параметров типы коры имеют существенные различия, что позволяет индивидуализировать структуры разного ранга или отдельные их части. Достаточно вероятным представляется также, что присутствие в пределах разных структур одинаковых типов коры свидетельствует о том, что они в соответствующих районах сформированы сходными процессами структурообразования в земной коре.

Проведенная типизация земной коры оказалась лишь частично совпадающей с данными тектонического и неотектонического районирования. В рамках этой типизации выявляются структуры различного иерархического уровня со свойственными им ассоциациями типов коры. Они хорошо различаются между собой, но вместе с тем каждая состоит из типов коры, в которых значения параметров варьируют в очень широких пределах. Такими ассоциациями наиболее низкого уровня являются свойственные трем выделенным суперрегионам - Западному, Центральному и Восточному. Можно наметить и границы пространственного распространения каждой из этих ассоциаций. Первая ограничена с востока зоной Торнквиста-Тейсейра, и ее существование достаточно хорошо известно по результатам предшествующих работ. В.В.Гордиенко и Н.И.Павленкова [10], в частности, указывали: "Характерным для

геофизических полей Европы является четкое их деление на два типа - восточно-европейский и западно-европейский. Граница между ними проходит по краю Восточно-Европейской платформы по так называемой линии Торнквиста-Тейсейра" (стр.86). Аналогичным образом эти ассоциации существенно отличаются и от характерной для Восточного суперрегиона, границу которой следует провести в пределах акватории Каспийского моря.

На более высоких иерархических уровнях можно представить такие же региональные или внутрирегиональные ассоциации. В регионах, принадлежащих орогенному поясу, например, также часто наблюдаются ассоциации из весьма различных и даже контрастных по своему содержанию типов. Каждая из них является индивидуальной (явно отличается от другой в пределах пояса по свойственному набору типов коры) и вместе с тем не представляется единой именно из-за того, что выявляется как ассоциация типов коры. Этот факт показывает, что невозможно, как это делается обычно, объединять под единым названием такие ассоциации (например, выделять "альпийский", "карпатский", "пиренейский" или "кавказский" тип коры). Это же замечание относится и к платформенным областям, в рамках которых даже вроде бы кажущиеся гомогенными структуры характеризуются специфическими ассоциациями составляющих их типов коры.

Пространственное распределение различных типов земной коры обусловлено значениями характеризующих их параметров. Ранее уже отмечалось, что некоторые типы развиты только в пределах одной структуры, другие же распространены в пределах многих структур различного иерархического уровня. Представляется целесообразным

проанализировать это явление подробнее и выделить при этом, в зависимости от характера их площадного распространения, некоторые группы типов коры. Эта их пространственная привооченность будет рассматриваться относительно данных традиционного тектонического и неотектонического районирования рассматриваемой области.

В соответствии с указанными оговорками, можно выделить следующие две группы типов коры (рис. 2): "эндемичных" (знак 1), распространенные исключительно в пределах какого-то одного региона и "трансрегиональных" (знаки 2-6), представленные в различных тектонических обстановках.

Вторую группу возможно подразделить на 5 подгрупп:

- "западную" (знак 2), состоящую из типов коры, представленных исключительно западнее линии Торнквиста-Тейсейра, но встречающихся там в любой тектонической обстановке;

- "восточную" (знак 3), состоящую из типов коры, развитых исключительно восточнее линии Торнквиста-Тейсейра, но также встречающихся там в любой тектонической обстановке;

- "платформенную" (знак 4), состоящую из типов коры, распространенных исключительно в пределах платформ разного возраста в пределах всех трех суперрегионов;

- "орогенную" (знак 6), состоящую из типов коры, представленных исключительно в пределах различных регионов

области неотектонической активизации в пределах всех трех суперрегионов;

- "независимую" (знак 5), состоящую из типов коры, представленных в любой тектонической обстановке в пределах всех трех суперрегионов;

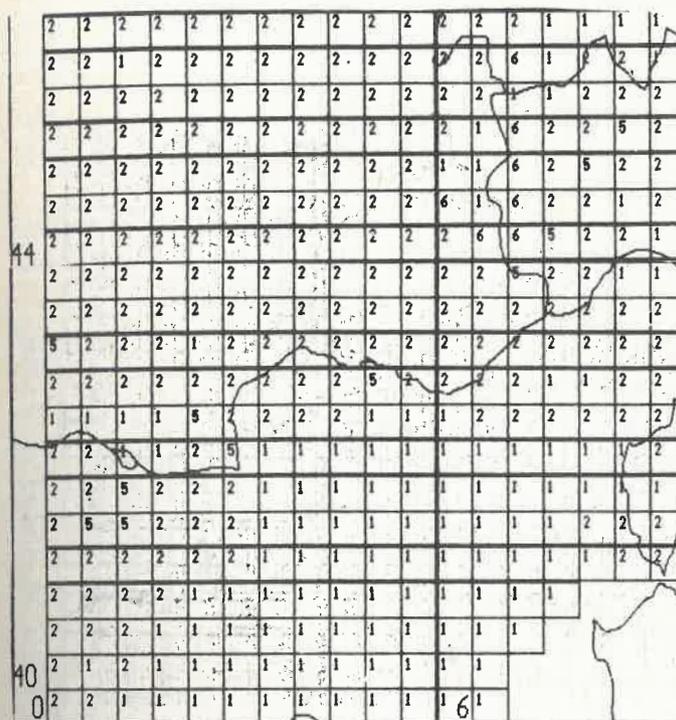


Рис. 2. Пространственное распределение различных групп типов земной коры. Цифрами обозначены следующие группы типов земной коры: 1 - "эндемики", 2 - "западная", 3 - "восточная", 4 - "платформенная", 5 - "независимая", 6 - "орогенная".





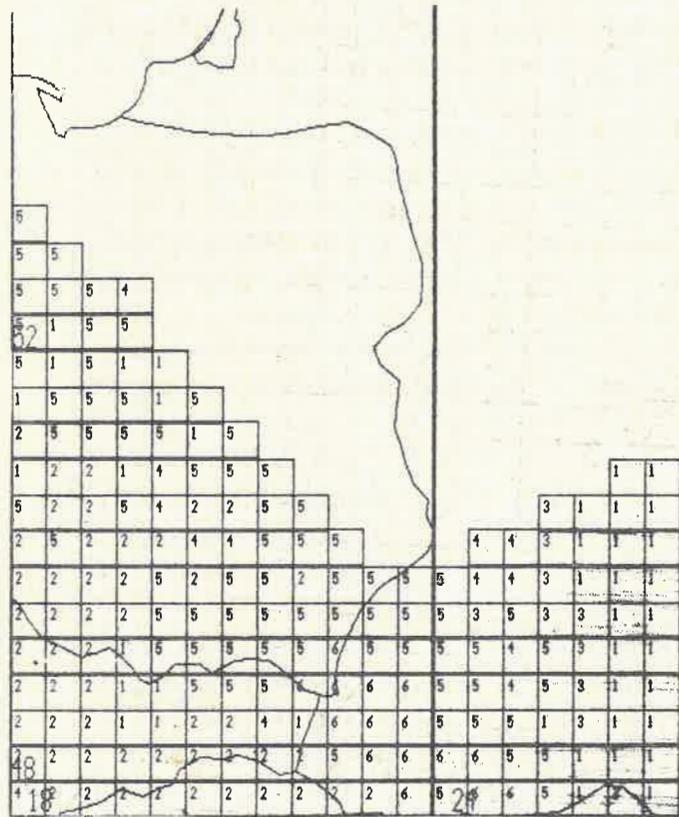


Рис 2. (продолжение)

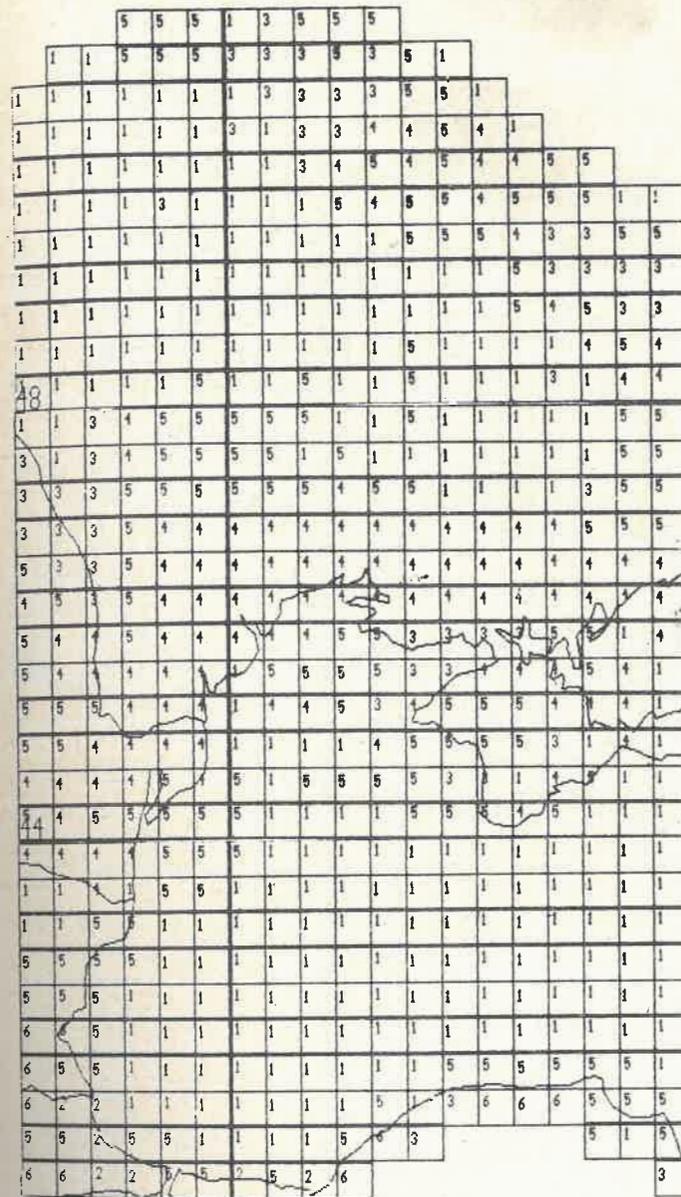


Рис 2. (продолжение)

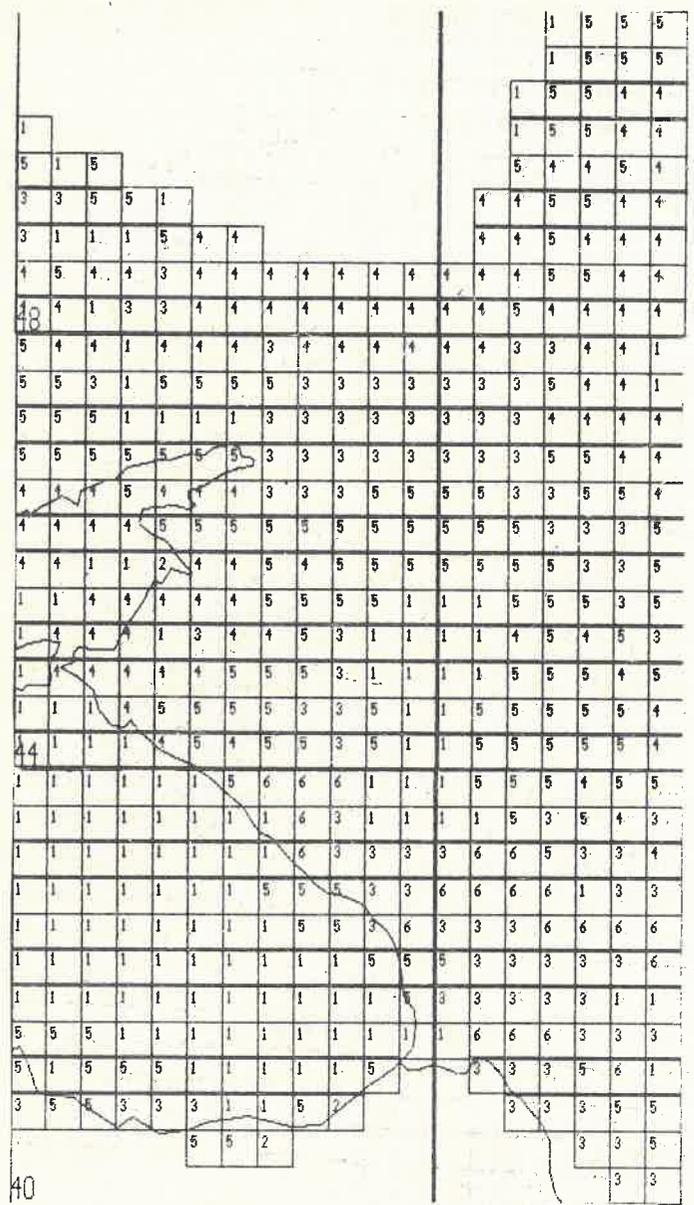


Рис 2. (продолжение)

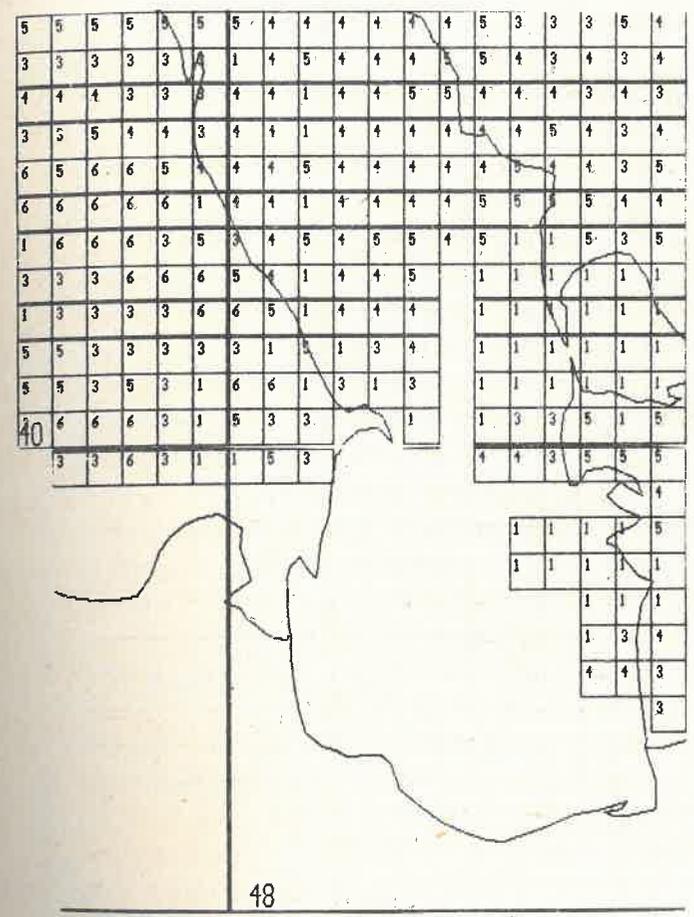


Рис 2. (продолжение)

3	3	3	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5
4	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5
5	4	4	5	4	4	3	5	5	1	1	3	4	4
5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1
4	4	4	4	1	4	3	3	3	1	1	1	1	1
4	4	4	1	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1
4	4	4	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	4	4	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	4	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4
48	1	1	1	1	4	4	4	4	4	5	5	5	4
1	1	4	4	4	4	1	3	3	4	5	4	5	5
1	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	5	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	5	4	4	4	4	4	4	1	4	4	4	4	
5	5	5	4	4	4	4	4	1	1	4	4	4	
3	3	5	5	5	4	4	4	5	3	1	4	4	5
5	3	4	3	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5
4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3
44	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	5	5	4

Рис 2. (продолжение)

44	3	3	3	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	5	3	4	4	4	4	4	4	4	4	1	
4	4	3	3	4	1	1	1	3	1	1	5	5	1
3	5	3	3	4	4	1	1	1	1	5	5	5	4
4	3	4	3	3	4	4	4	4	1	5	5	5	4
5	5	5	5	5	4	4	4	4	1	4	1	5	1
4	4	4	4	4	5	5	3	4	4	3	1	1	1
5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	4	5	
1	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	4	4
1	1	4	5	4	4	5	5	5	5	5	4	4	5
1	1	1	1	1	5	4	5	5	5	5	3	3	5
1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	4	3	3
5	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	4	3	3
5	3	3	3	4	5	1	5	5	5	5	5	3	3
4	1	3	3	3	5	4	5	5	5	4	1	5	5
5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4
1	5	3	3	5	4	4	5	4	5	5	4	4	5
1	4	5	5	5	4	3	3	4	5	5	5	4	5
4	4	1	5	5	5	5	3	3	4	4	4	5	1
3	4	1	5	5	5	5	1	4	4	5	5	1	1
3	4									3	5	5	1
										1	4	1	1
										1	1	1	1
										1	1	1	1
										3	1	1	3
										3	3		
36													
54													
										60			

Рис 2. (продолжение)

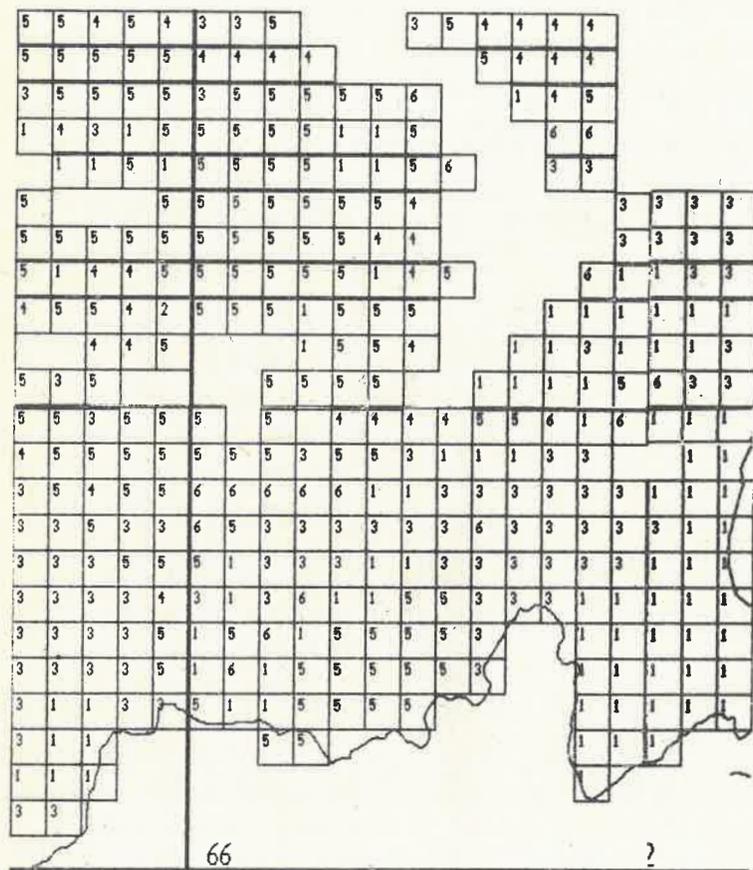


Рис 2. (окончание)

По преобладанию той или иной из выделенных групп типов коры вся рассматриваемая область четко подразделяется на три части, соответствующие ее делению на суперрегионы - Западный, Центральный и Восточный.

В Западном суперрегионе распределение групп типов коры имеет индивидуальный характер. В пределах неактивизированных герцинид, например, преобладают типы коры "независимой" группы (37, 37% площади). Здесь также представлены в равных количествах (9) "эндемичные" и "платформенные" типы коры (примерно по 14 % площади). Кроме них есть и типы коры "западной" группы (27, 35%).

Всего в строении области активизированных герцинид принимает участие 61 тип коры. Подавляющее их большинство являются "западными" (46, 83% площади). Кроме того, здесь встречаются в небольшом количестве типы коры и всех других групп - 3 "эндемичных" (2%), 2 - "платформенных" (2%), 4 - "орогенных" (9%) и 6 "независимых" (6%).

В строении Альп принимает участие 63 типа коры. 12 из них являются специфическими "альпийскими", (25% территории). "Орогенные" преобладают в Альпах как по их количеству (29), так и по занимаемой ими площади (49%), а остальные входят в группу "западных" (15, 19% площади), и 7 - в "независимую" (6%).

В пределах Центрального суперрегиона, кроме "западной" группы, представлены практически все остальные, но их площадное распространение отлично от характерного как для Западного, так и для Восточного суперрегионов.

Здесь выделяются три крупные области, занятые "эндемиками" - экватория Черного моря, центральная часть Прикаспийской впадины и

Украинский шит. В строении Черного моря принимают участие 63 типа коры. Больше половины их (31) являются "эндемичными" (они занимают 72% площади акватории). 24 типа коры относятся к "независимой" группе (22% площади), 7 - к "платформенной" (6%). Среди типов коры, участвующих в строении Каспийской акватории выделяется 7 "эндемиков" (17% площади), 19 входят в группу "платформенных" (49%), 10 относятся к группе "независимых" (31%), а 3 - к группе "восточных" (4%). В Прикаспийской впадине насчитывается 9 "эндемичных" типов коры (22%), 4 типа коры входят в группу "восточных" (4%), 9 - в "независимую" (16%), 23 - в "платформенную" (52%). На территории Русской плиты встречается 97 типов коры, которые распределены следующим образом: 21 "эндемик" (32%), 9 типов входят в группу "восточных" (11%), 32 - в "независимую" (28%), 35 - в "платформенную" (39%).

Большие площади в пределах Центрального суперрегиона заняты также типами коры "платформенной группы" - в Причерноморье, южной части Прикаспийской впадины, северной акватории Каспийского моря и участке Русской плиты между Днепровско-Донецкой и Прикаспийской впадинами. В пределах Скифской плиты из общего числа в 43 типа коры выделяется 2 "эндемика" (10% площади), 19 входят в группу "платформенных" (35%), 18 относятся к группе "независимых" (36%), а 4 - к группе "восточных" (20%). В пределах Иизийской плиты только 2 "эндемичных" типа (3% территории), 6 типов коры входят в группу "западных" (12%), 12 - в "независимую" (43%), 13 - в "платформенную" (42%).

Территория Крыма и Кавказа, на которой выделяется 65 типов коры, включает и прилегающие участки межгорных впадин. Поэтому

здесь достаточно распространены "платформенные" типы земной коры (10,9% площади). Выделяется еще 11 "эндемичных" типов коры (29%), 15 - "орогенных" (34%), 14 - "восточных" (17%), 15 - "независимых" (21%). В пределах территории Малого Кавказа и Понта распространено 43 типа коры, большая часть которых (23) относится к трансрегиональным. Из числа остальных выделяется 7 "эндемичных" типов коры (12% территории), 12 - "орогенных" (40%), 1 - "платформенный" (3%).

В Восточном суперрегионе преобладающими являются типы коры "трансрегиональной" группы, занимающие обширные площади в Амударьинской, Сырдарьинской, Ферганской и Афгано-Таджикской впадинах. В строении Памира и южной части Тянь-Шаня преобладают "эндемичные". Выделяется также обширный участок "эндемиков" в центральной и южной частях Каспийского моря. Наиболее сложными выглядят Мангышлакские структуры, западные части Тянь-Шаня и Афгано-Таджикской депрессии.

Если принять за меру уникальности структурного элемента количество развитых в нем "эндемичных" типов коры, то резко выделяются по этому признаку акватории. В пределах большинства их типы коры отмеченной группы составляют около половины, а занятая ими площадь - до 70% (например, Лигурийская, Тирренская и Черного моря). Однако в Каспийской акватории типов коры "эндемиков" всего 7, а в Адриатической - 5.

Для континентальных впадин не удастся найти обобщенный образ - каждая из них отличается собственным соотношением выделенных групп типов коры. В Прикаспийской, например, насчитываются 9 типов коры "эндемиков", в Паданской не отмечается резкое

преобладание типов какой-то одной группы, а в Паннонской, наоборот, развиты преимущественно "западные" типы коры, тогда как типы коры - "эндемики" в последних двух структурах практически отсутствуют.

Аналогична ситуация и с платформами. В пределах Русской очень велико число "эндемичных" типов коры (21 против, например, двух на Скифской или Мизийской плитах). В целом, однако, в пределах платформ преобладает не "платформенная", а "независимая" группа типов коры.

Для орогенных структур характерны различные соотношения между "орогенными" и "независимыми" группами типов коры. Наибольшее количество первых отмечается в Альпах и Пиренеях, а далее убыванию числа первых и возрастанию количества вторых отвечает следующий ряд регионов: Альпы - Пиренеи - Балканиды - Карпаты - Крым-Кавказ - Апеннины - Малый Кавказ-Понт - Динариды.

Представляется чрезвычайно важным то обстоятельство, что в пределах изученной области широко представлены "трансрегиональные" группы типов коры. Оно свидетельствует о том, что входящие в эти группы типы коры сформированы сходными эндогенными процессами, несмотря на то, что распространены в пределах разных структур, выделяемых на тектонических картах.

#### 4. СОВРЕМЕННЫЕ ЭНДОГЕННЫЕ РЕЖИМЫ

##### 4.1. Вводные замечания

Во введении уже отмечалось, что в соответствии с представлениями В.В.Белоусова [4-7] существует два основных класса эндогенных режимов - возбужденные и спокойные, различие между которыми определялось наличием или отсутствием теплового воздействия на земную кору. Ко второму классу относился платформенный режим, тогда как возбужденные, по характеру тех преобразований, которые происходили в земной коре, разделялись на конструктивные и деструктивные. С первыми связывалось увеличение мощности земной коры в процессе ее прогревания и поэтому они получили название конструктивных (типичным примером является орогенный режим); со вторыми - уменьшение мощности коры в тех же условиях, в связи с чем они получили название деструктивных (типичный пример - тафрогенный режим, но к этой же категории относится, например, и рифтовый).

В литературе уже давно развивались представления о существовании специфического процесса преобразования земной коры, который, в частности, ведет к формированию глубоких бассейнов с сильно утоненной корой промежуточного (субконтинентального или субокеанического) типа. Такие идеи развивались в ряде работ [22, 25], и тип эндогенного режима, ведущий к формированию этих структур назывался по-разному (пелагогенный, лабигенный). Наиболее подробно он был рассмотрен в работах В.В.Белоусова [4-7], который назвал его тафрогенным.

Было показано, что этот режим относится к классу

деструктивных. он протекает в условиях высокого прогрева земной коры, источник которого находится в верхней мантии, и с ним связано формирование утоненной земной коры, подводного (в максимальном выражении - глубоководного) рельефа, а также другие преобразования в ее структуре и вещественном содержании. Были выявлены эволюционные ряды тафрогенных структур, одним из наиболее показательных среди которых является ряд: Паннонская впадина (начальный этап формирования) - Эгейская впадина (промежуточный этап) - акватории средиземноморского типа (например, Тирренская, следующий, продвинутый этап).

В указанных работах также было высказано предположение, что тафрогенный режим не обязательно должен развиваться только на месте раннего платформенного. В качестве примера приводились данные о бескорневых структурах в горных областях альпийского пояса, а также в переходной зоне от Азиатского континента к Тихому океану. Нам представляется совершенно справедливым утверждение, что "...существует широкая категория структур, которые объединяются преобразованием коры в сторону уменьшения ее консолидированной части и замещения в ней в той или иной степени слоев типичного "континентального" характера слоями "океанического" характера...Этот режим является полной противоположностью орогенному режиму, при котором, наоборот, усиливается "континентальность" коры и мощность ее возрастает" [6, стр.14] и далее "...обе формы взаимодействия связаны с возбужденным состоянием мантии, ее высокой температурой. Больше того, сходство условий, в которых эти две формы взаимодействия проявляются, подчеркивается их региональной близостью. Область

Средиземноморья является областью, где развиты в непосредственном соседстве оба эти процесса - орогенез и тафрогенез. Они совпадают и во времени: оба приходятся на неоген - четвертичное время." (там же, стр.19). Особо следует подчеркнуть еще одно чрезвычайно важное положение, развиваемое в работах [5,6,25]: формирование тафрогенных структур не связано с растяжением земной коры.

Ранние работы [40-46,48] подтвердили эти прогнозы, сделанные на весьма ограниченных материалах. Было показано, что в пределах всего Европейского континента и обрамляющих его с юга акваторий тафрогенный режим вообще является преобладающим. При этом он развивается весьма агрессивно, не считается с предыдущим структурным планом, захватывает в сферу своей деятельности области с разными ранними эндогенными режимами, отличается в сравнении с другими режимами кратковременностью действия, а также большими скоростями преобразования земной коры. Полученные нами результаты позволили подтвердить и предположение об отсутствии связи процессов тафрогенеза с существенным растяжением земной коры. Поверхностная структура в пределах ряда горных областей Европы и их рельеф полностью сохранены. Глубокие внутренние преобразования этих областей, связанные с развитием процессов тафрогенеза, не получили еще в них "эримого" геологического и геоморфологического [39] выражения. Вместе с тем области развития тех же стадий тафрогенеза включают и территории, где созданная ранее орогенная структура полностью переработана и замещена (Паннонская впадина, Корсиканский массив). И между этими крайними случаями существует в природе вся гамма переходных структур. Эти данные свидетельствуют о том, что переработка тафрогенными процессами созданной к концу

плиоцена структуры орогенного пояса Европы заняла очень небольшой в геологическом смысле промежуток времени, измеряемый 1-2 млн лет. И эта переработка происходила не путем растяжения отдельных частей орогенного пояса, поскольку они не изменяли своего пространственного положения по отношению к соседним.

Проведенные расчеты показали, что скорость деструкции земной коры за указанный период достигала на региональном уровне порядка единиц мм/год, тогда как ее конструкции - десятых мм/год, т.е. на порядок меньше. Это, наряду со способностью тафrogenеза перерабатывать любые ранее существовавшие структуры независимо от предшествующей истории их развития, еще одно свидетельство его агрессивности и огромных потенциальных возможностей в процессах структурного преобразования земной коры.

В пределах ряда областей Европы и смежных южных акваторий выявились районы, в пределах которых в течение неотектонического этапа смена эндогенного режима произошла не один, а несколько раз. Такие районы располагаются обычно в пределах орогенного пояса, а нормальная последовательность смены режимов определяется следующим образом: орогенный (фиксируемый оформлением горного рельефа и утолщенной земной коры) - тафrogenный (свидетельством которого является фиксируемое в настоящее время утонение земной коры при сохранении в качестве реликтового признака высоты рельефа) - платформенный (свидетельством которого является низкая плотность теплового потока при сохранении указанных выше признаков в качестве реликтовых). В целом время действия орогенного режима ограничивается концом плиоцена (когда в основных чертах была создана структура орогенного пояса и его горный рельеф),

тафrogenного - четвертичным периодом (до тех пор, пока плотность теплового потока оставалась достаточной), платформенного - оставшимся до сегодняшнего дня зременем.

Проблема выявления современных эндогенных режимов на базе типизации земной коры на многопризнаковой основе была связана с решением некоторых принципиальных вопросов, к пониманию которых авторы подходили на разных стадиях исследования по-разному. На первой, когда исследовались Карпатский и Кавказский регионы [40-43], основное внимание было уделено изучению характера границ, разделяющих в пространстве те или иные ассоциации типов земной коры. В дальнейшем, при изучении территории Европы и смежных акваторий [44-46, 48, 63], выяснилось, что картина пространственного распределения границ разного типа в ее пределах имеет очень сложное и трудно интерпретируемое содержание. В частности, трудно объяснимым на первый взгляд показалось то обстоятельство, что границы конструктивного вида имеют широкое распространение в пределах платформенных областей, в частности, по периферии Прикаспийской синеклизы, а деструктивного - в пределах орогенов и т.д.

Подробное рассмотрение существа дела показало следующее. Во-первых, выделение границ различного вида в пределах областей со спокойным современным эндогенным режимом (т.е. в условиях, когда нет теплового возбуждения коры) просто не имеет смысла, поскольку здесь в принципе невозможны существенные конструктивные или деструктивные преобразования земной коры, и появление таких границ носит случайный характер. Во-вторых, и это, вероятно самый важный вывод из более ранних исследований, следовало определить те пороги

значений признаков (использованных при проведении типизации земной коры), в соответствии с которыми можно было бы выделять современные эндогенные режимы.

В первую очередь следовало определиться по трем из них — по плотности теплового потока, высоте рельефа и мощности земной коры, описывающим содержание понятия современный эндогенный режим. Первые попытки подойти к решению этой проблемы были сделаны в ранних работах [44, 45].

Авторы разделяют точку зрения, что для современных платформенных областей (т.е. областей со спокойным эндогенным режимом) характерна плотность теплового потока, не превышающая ее значений в  $50 \text{ мВт/м}^2$ . Этот порог плотности теплового потока принимается нами для разделения областей развития современных возбужденных и спокойных эндогенных режимов.

Далее принимается следующее базовое положение: структурные преобразования в земной коре возможны только при достижении некоторого порога ее теплового возбуждения. В настоящее время точно определить этот порог не представляется возможным. Поэтому он достаточно условно устанавливается по значению плотности теплового потока в  $70 \text{ мВт/м}^2$ , и это следует иметь в виду, рассматривая все последующие построения. Нам представляется, что принципиально важным в этой связи было само разделение на указанные фазы; тогда как конкретное значение разделяющего их порога в дальнейшем может быть уточнено. Следовательно, развиваются представления о трех фазах состояния той или иной территории, занятой определенным типом земной коры — "активной" (плотность теплового потока более  $70 \text{ мВт/м}^2$ ), "переходной" ( $50-70$

$\text{мВт/м}^2$ ) и "спокойной" (менее  $50 \text{ мВт/м}^2$ ). Последней, как уже отмечалось, соответствуют спокойные современные эндогенные режимы, первой — возбужденные, а второй — переходные между ними.

Следует сразу же оговорить важное обстоятельство: "переходная" фаза (если зафиксированы структурные преобразования в коре) свидетельствует, что активный процесс завершен. Исходя из этого, ее следовало бы объединить со "спокойной". Мы не сделали этого исключительно из соображений психологического порядка. Читателю трудно воспринять, например, что район в пределах орогенной области, у которого плотность теплового потока ниже порога в  $50 \text{ мВт/м}^2$ , и тем более в  $70 \text{ мВт/м}^2$ , находится в настоящее время в сфере проявления современного спокойного платформенного режима. Особое неприятие вызывает такое же утверждение по отношению к Черноморской впадине, в пределах которой плотность теплового потока менее  $50 \text{ мВт/м}^2$ . Хотя никаких возражений не вызывает отнесение Прикаспийской синеклизы к классу структур, характеризующихся современным платформенным режимом, даже несмотря на то, что она также имеет относительно утонченную кору.

Другой параметр, для которого было необходимо установить соответствующие пороги, была высота рельефа. В более ранних работах в качестве таких порогов были установлены следующие:  $\leq +0.4 \text{ км}$  (порог принадлежности типа коры к сфере проявления платформенного режима),  $> +0.4 \leq 1 \text{ км}$  (пороги для определения принадлежности типа коры к сфере проявления современного или раннего орогенного режима I стадии проявления);  $> 1.0 \leq 2.5 \text{ км}$  (пороги для определения принадлежности типа коры к сфере проявления того же орогенного режима II стадии проявления) и  $> 2.5$

км (порог для определения принадлежности типа коры к III стадии проявления того же режима). Это разделение орогенного режима на стадии в соответствии с высотой современного рельефа вряд ли вызовет принципиальные возражения: возможные ошибки связаны с величиной денудационного среза (когда высота рельефа меньше амплитуды неотектонических движений), однако они вряд ли превышают точность снятия высоты рельефа с топографической карты. Другое дело — сами величины порогов. Первый в целом соответствует легендам неотектонических карт, в которых включение или не включение территории в область неотектонической активизации примерно соответствует высоте рельефа (точнее амплитуде неотектонических движений) порядка 0,4–0,5 км. Что касается других порогов (1,0 и 2,5 км), то они достаточно условно отражают принадлежность типа коры к низко-, средне- или высокогорью. Само собой разумеется, что величина этих порогов может быть в дальнейшем изменена, если по этому поводу возникнут какие-то иные соображения.

Самым деликатным оказался вопрос с определением порогов по мощности земной коры. В его решении до настоящего момента нет согласованности среди исследователей, что определяется многими факторами (например тем, что мощности земной коры орогенных и платформенных областей по своим максимальным значениям близки между собой). Однако наибольший интерес представляет минимальный порог значений мощности земной коры, который мог бы быть определяющим для отнесения территории к сфере проявления того или иного режима. Решающим при этом выборе оказались исследования, проведенные М.Е. Артедьевым и его сотрудниками, которые

проанализировали некоторые статистические закономерности распределения ряда параметров для территории Евразии. Оказалось, что существует статистически оправданная эмпирическая зависимость, которая определена следующим уравнением регрессии:  $T=37+6.3R$ , где  $T$  — мощность земной коры, а  $R$  — высота рельефа.

Известно, что пределах горного пояса Евразии земная кора деструктурирована наложенными процессами тафрогенеза, что показали и работы [43–46, 48]. Следовательно, оценивая указанным путем дефицит мощности земной коры в пределах этого пояса, мы оперируем с минимальными его оценками. Это также следует иметь в виду, рассматривая полученные результаты исследований.

В соответствии с приведенными данными минимальная мощность земной коры для платформенных областей определяется порогом в 37 км. Меньшая мощность коры свидетельствует о ее преобразовании в связи с проявлением деструктивных процессов, в частности, тафрогенеза. Выделяется несколько стадий проявления этого процесса в соответствии со следующими порогами дефицита мощности коры ( $Dt$ ): I стадия с  $-6.0 \text{ км} > Dt > 0 \text{ км}$ , II — с  $-15 \text{ км} > Dt > -6.0 \text{ км}$  и III — с  $-15 \text{ км} < Dt$ . Это разбиение на стадии проявления деструктивного тафрогенного режима действует в равной мере как в областях с отрицательным, так и с положительным (высотой более +0,4 км) рельефом. В последнем случае, когда дефицит мощности земной коры по отношению к высоте рельефа характеризует орогены, возможно только следующее толкование ситуации. После создания орогенной структуры (с соответствующим соотношением между высотой рельефа и мощностью земной коры) процессы наложенного тафрогенеза привели к деструкции коры и появлению того дефицита мощности, который

возможно зафиксировать в настоящее время.

Следовательно, появляется возможность выделять типы коры, характеризующие современный тафрогенный режим и в орогенных областях. Такие типы коры выделены в особую категорию и соответствующий современный режим обозначен как тафрогенный, развивающийся на месте раннего орогенного. Без этой оговорки будет труднее принять положение, что некоторые участки области с высокогорным рельефом могут находиться в сфере проявления современного тафрогенного режима.

Все сделанные выкладки можно суммировать в табличной матричной форме, наглядно иллюстрирующей принятые нами условия разделения выделенных ранее типов коры по их принадлежности к сфере проявления определенного современного или раннего эндогенного режима, стадии его развития и фазе состояния, в которой он находится в настоящее время (рис.3, табл.6).

Таблица 6

Матрица эндогенных режимов стадий их проявления и фаз состояния

DT (км)	R (км)	Q (МВт/м <sup>2</sup> )		
		<50	>=50, <70	>=70
0 км	<=+0.4	P-Ph1 (1)	P-Ph2 (2)	P-Ph3 (3)
	>0.4, <=1.0	O1-Ph1 (12)	O1-Ph2 (13)	O1-Ph3 (14)
	>1.0, <=2.5	O2-Ph1 (15)	O2-Ph2 (16)	O2-Ph3 (17)
	>2.5	O3-Ph1 (18)	O3-Ph2 (-)	O3-Ph3 (19)
	<=+0.4	T1-Ph1 (4)	T1-Ph2 (5)	T1-Ph3 (6)

Таблица 6 (окончание)

6.0 км >= DT < 0	>0.4, <=1.0	T101-Ph1 (20)	T101-Ph2 (23)	T101-Ph3 (26)
	>1.0, <=2.5	T102-Ph1 (21)	T102-Ph2 (24)	T102-Ph3 (27)
	>2.5	T103-Ph1 (22)	T103-Ph2 (25)	T103-Ph3 (28)
15 км > DT < 6.0	<=+0.4	T2-Ph1 (7)	T2-Ph2 (8)	T2-Ph3 (9)
	>0.4, <=1.0	T201-Ph1 (29)	T201-Ph2 (31)	T201-Ph3 (34)
	>1.0, <=2.5	T202-Ph1 (30)	T202-Ph2 (32)	T202-Ph3 (35)
	>2.5	T203-Ph1 (-)	T203-Ph2 (33)	T203-Ph3 (36)
15 км >= DT	<=+0.4	T3-Ph1 (-)	T3-Ph2 (10)	T3-Ph3 (11)
	>0.4, <=1.0	T301-Ph1 (-)	T301-Ph2 (-)	T301-Ph3 (37)
	>1.0, <=2.5	T302-Ph1 (-)	T302-Ph2 (-)	T302-Ph3 (38)
	>2.5	T303-Ph1 (-)	T303-Ph2 (-)	T303-Ph3 (39)

Примечания: 1. Буквами обозначены названия эндогенных режимов

P-платформенный, T-тафрогенный, O - орогенный.

TO-тафрогенный на месте раннего орогенного;

арабскими цифрами обозначены стадии проявления

эндогенных режимов; символом Ph обозначена

активность режима, а арабской цифрой рядом - ее

фаза; рядом с аббревиатурой в скобках указан знак

легенды схемы распределения современных эндогенных

режимов (рис.3), соответствующий данному режиму. 2.

Пример расшифровки аббревиатуры: T303-Ph3 означает

"современный тафрогенный режим III стадии проявления"

на месте раннего орогенного III стадии проявления" в

активной фазе развития. 3. Общее количество ячеек в

матрице составляет 48: заполненных (с режимами, представленными в изученной области) - 39.

Анализ матрицы позволяет, с нашей точки зрения, вновь вернуться к проблеме определения того, что же представляет фаза состояния современных эндогенных режимов, которая изначально была обозначена в качестве переходной. Естественно возникает вопрос - переход от какой ситуации к некоей иной она означает. Для того, чтобы на него ответить, следует обратить внимание на следующее обстоятельство. В рамках активных в настоящее время (т.е. характеризующихся высшей фазой активности  $Rh3$ ) возбужденных режимов фиксируются в матрице все стадии их проявления (I, II и III). Это в равной мере относится как к деструктивным (тафрогенному или тафрогенному на месте раннего орогенного), так и конруктивному (орогенному) режимам. Следовательно, для достижения высшей стадии проявления того или иного режима требуется эндогенное возбуждение, не меньшее, чем отвечающее высшей фазе активности. Отсюда можно вывести следствие - возбужденные режимы, находящиеся в настоящее время в переходной фазе активности практически вышли уже из сферы эндогенного возбуждения, с которой связывается возможность дальнейшего эндогенного преобразования (структуры земной коры, ее рельефа и т.д.). Таким образом переходная фаза активности в рамках рассмотрения возбужденных эндогенных режимов означает по существу переход от эндогенных условий возбужденных к условиям спокойным.

Сложнее дело обстоит с областями, которые в настоящий момент характеризуются платформенным режимом. Здесь однозначно решить, переход по восходящей или нисходящей линии характеризует II фаза

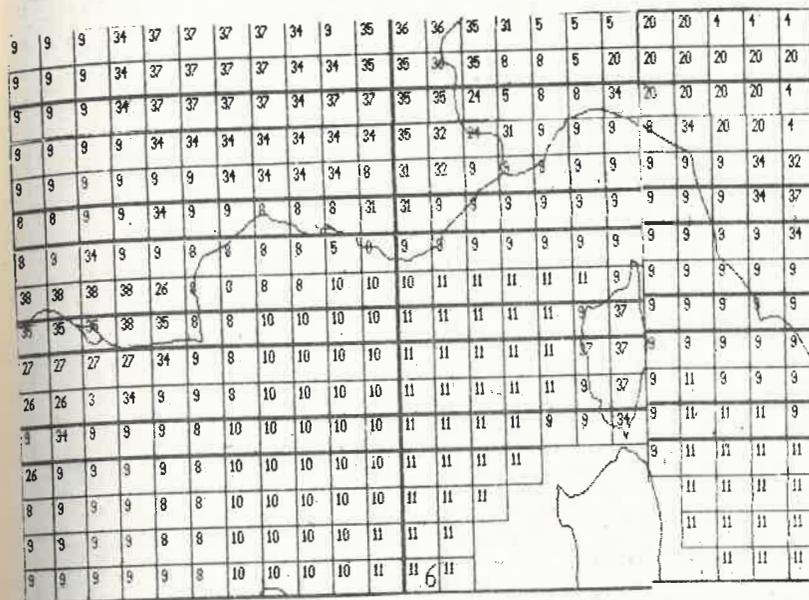


Рис. 3. Распределение современных эндогенных режимов.

Объяснения в тексте и примечаниях к табл. 6.





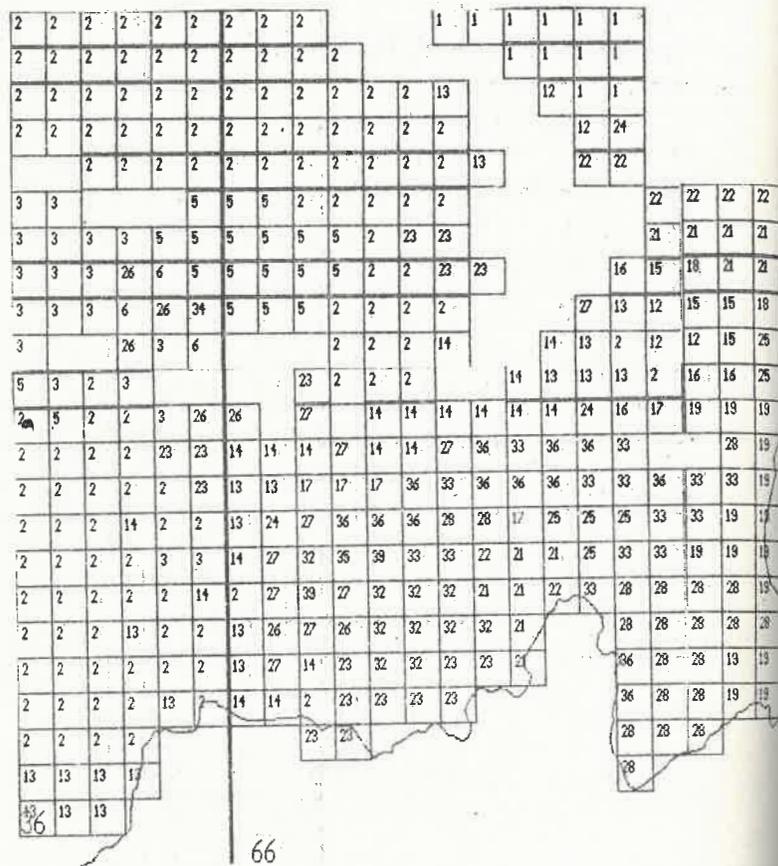


Рис. 3. (окончание)

их активности, невозможно без специального анализа.

Обратимся к полному (идеальному) графу взаимоотношений современных эндогенных режимов, стадий их проявления и фаз состояния, представленному на рис. 4. Он построен с учетом данных матрицы табл. 6 (т.е. сведений о типах коры, которые соответствуют тем или иным ячейкам матрицы), а также представлений о развитии эндогенных режимов во времени и возможностях смены одного другим.

Стартовым режимом в начале этапа неотектонической активизации был платформенный спокойный (P-Ph1 или P-Ph2). Это - весьма спорный вопрос, требующий некоторых подтверждений, во всяком случае для альпийского пояса.

В более общем виде вопрос об эндогенных режимах, предшествовавших проявлению орогенного, разработал В.В. Белоусов [4], писавший в частности: "... в тех случаях, когда орогенный режим как-будто следует непосредственно за геосинклинальным (эпигеосинклинальный орогенез), между концом последнего и началом горообразования, отмеченным верхней молассой, наблюдается некоторый период тектонического спокойствия, отражающий перерыв в эндогенной активности. Например, Е.Е. Милановский (1968) указывает, что на Большом Кавказе... наблюдалось выравнивание поверхности до уровня холмистого рельефа с перепадами высот в 300-500 м в среднем в начале верхнего миоцена. Но во второй половине позднего миоцена контрастность вертикальных движений стала быстро возрастать, и суммарная их амплитуда к нашим дням достигла 7 км" (стр. 137). И далее, в отношении эпиплатформенного орогенеза, которым были

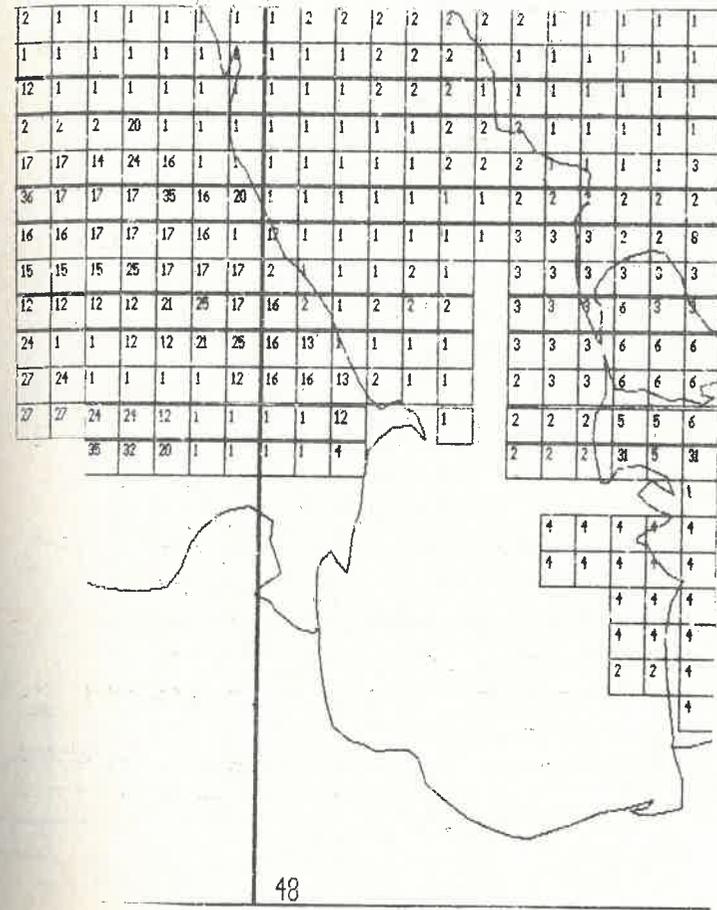
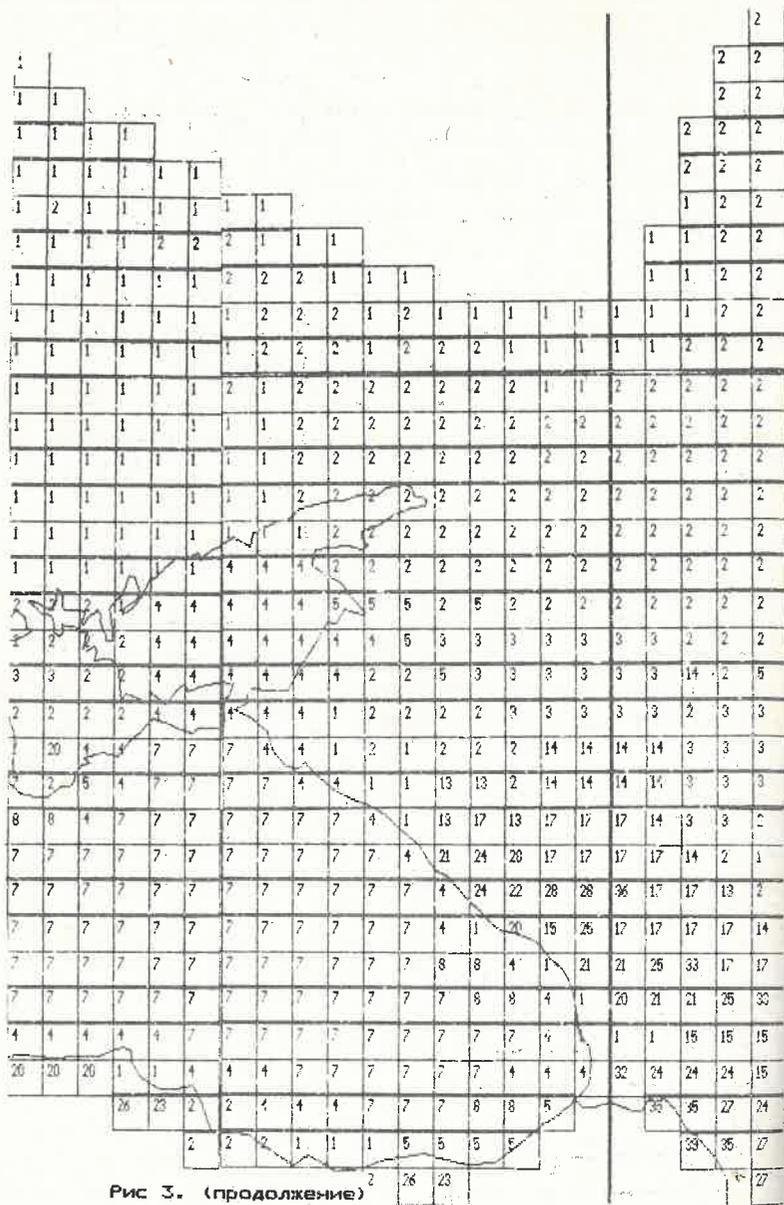
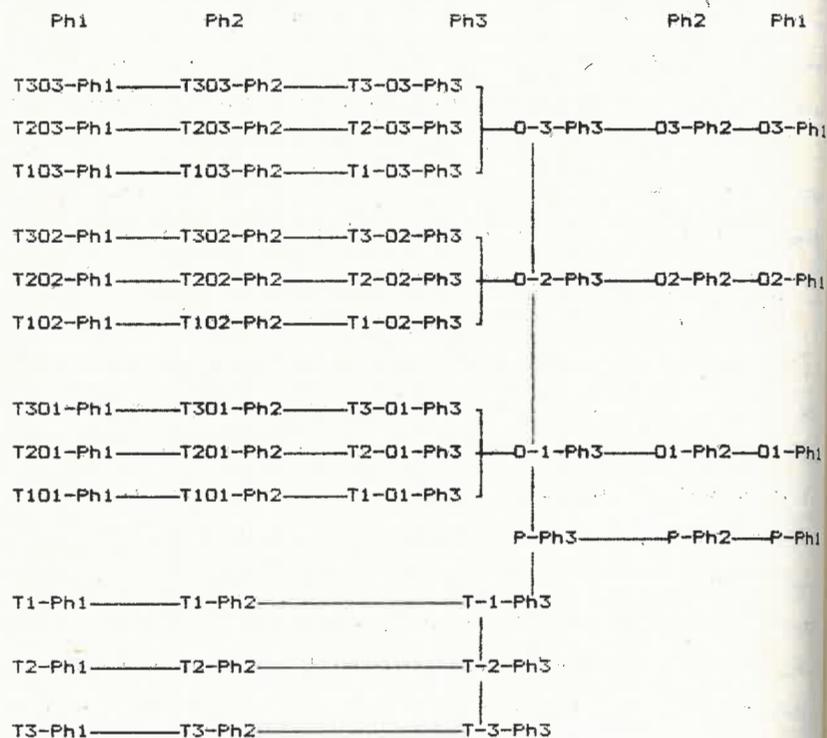




Рис. 4

Граф взаимоотношений разных современных эндогенных режимов.  
стадий их проявления и фаз состояния



Примечание. Условные обозначения режимов и фаз состояния  
соответствуют указанным в табл. 6.

затронуты значительные площади в Европе, и тем более в Средней Азии: "В конце среднего мела происходит значительное снижение контрастности вертикальных движений и вся эта огромная область становится платформой... Новый (и последний) орогенный режим наступил почти на всей рассматриваемой территории в неогене" (стр. 143-144).

Это положение подтверждается и некоторыми общими соображениями. Само выделение этапа неотектонической активизации обязано существованием предшествовавшего ему периода относительно спокойного тектонического (и эндогенного) развития, с которым связано формирование полигенетических поверхностей выравнивания и кор выветривания, столь широко представленных в любой горной области. Таким образом, в пределах всей альпийской области новейший орогенный режим, по всей вероятности, пришел на смену платформенному, отмечавшему различный по продолжительности в разных областях перерыв в активной эндогенной деятельности. В определенном смысле, если быть терминологически последовательным, можно даже утверждать, что эпигеосинклинального орогенеза вообще не существует, а может развиваться только эпиплатформенный. В пределах изученной области имеется лишь одно более или менее доказательное исключение из общего правила (что стартовым режимом везде был платформенный). Оно относится к Черноморской впадине, которая в качестве структуры, сформированной под воздействием тафрогенного процесса, существовала, вероятно, еще до начала неотектонического этапа. Во всяком случае есть основания полагать, что деструктивные процессы в ее пределах проявлялись уже в палеоцене-миоцене, а интенсивное структурообразование закончилось

только в майкопское время [54].

Итак, стартовым режимом в начале этапа новейшей активизации, был платформенный (P-Ph1, P-Ph2). Далее на смену спокойному платформенному режиму пришли два других - конструктивный орогенный (определявший главную линию развития), и деструктивный тафрогенный (для большей части этапа определявший развитие по побочной линии). Так продолжалось примерно до конца плиоцена, когда в основных чертах было закончено формирование структуры орогенного пояса и его горного рельефа (три стадии проявления этого режима - O-1, O-2 и O-3 - находят отражение в графе, рис. 4). Возможно также, что к тому же моменту в некоторых областях развитие по тафрогенной линии привело к формированию структур, соответствующих трем стадиям развития и этого эндогенного режима (T-1, T-2 и T-3 на том же графе).

Резкая смена эндогенной обстановки произошла в начале четвертичного периода, когда развитие по тафрогенной линии стало доминировать. С ней связан захват сферой проявления тафрогенеза не только тех территорий, которые были к моменту начала развития процессов по этой линии в состоянии спокойного платформенного режима, но и орогенного пояса (в графе это находит отражение в режимах типа T-O, отражающих такую смену). Одновременно происходила и смена раннего орогенного режима платформенным (что отражено в графе появлением режимов типа O-Ph2 и O-Ph1). И на финальной стадии этапа неотектонической активизации продолжался процесс смены раннего тафрогенного режима (в том числе и развивавшегося на месте предшествовавшего орогенного), платформенным (этот процесс отражен на графе появлением режимов

типа T-Ph2, T-Ph1 и TO-Ph2, TO-Ph1).

В матрице табл. 6 и на графе рис. 4 обращает на себя внимание, что ряд ячеек оказался незаполненным. Пустые ячейки соответствуют режимам типа T3-Ph1, O3-Ph2, T2O3-Ph1, T3O1-Ph1, T3O1-Ph2, T3O2-Ph1, T3O2-Ph2, T3O3-Ph1 и T3O3-Ph2. Это означает, что в подавляющем большинстве случаев (9 из возможных 14) в областях с экстремальными условиями проявления любого возбужденного эндогенного режима (имеется в виду достижение высшей III стадии проявления орогенеза или тафрогенеза) до настоящего времени сохранилась высокая эндогенная активность, поддерживающая дальнейшее его существование и развитие. И лишь в 5 случаях энергетический запас в областях такого рода уже оказался меньше максимального (исчерпанным). Следовательно, эндогенные режимы, достигшие максимальных стадий развития, являются наиболее консервативными по отношению к последующим изменениям эндогенной обстановки.

Нетрудно заметить, что преобладающее количество обозначенных в матрице режимов описывает такую обстановку, которой свойственно затухание эндогенной активности, поскольку они характеризуются 1 или 2 фазами состояния. Судя пока лишь по количеству разновидностей режимов, вышедших из сферы активного структурообразования (их 23 из 39 возможных), наступила стадия угасания неотектонического процесса в целом. И те 5 случаев, о которых упоминалось выше, также свидетельствуют о том же, но в ослабленной форме.

Определение пороговых значений параметров, следовательно, было необходимо для выявления принадлежности типов коры к определенному

классу современного эндогенного режима, стадии его проявления и фазе состояния, в которой он находится в настоящее время. После этой операции процесс выделения эндогенных режимов проводился на строго алгоритмизированной основе. Само собой разумеется, что при реализации этого процесса произошло объединение типов коры в группы, соответствующие указанным в табл.6 ячейкам матрицы. Это объединение должно было произойти потому, что пороги значений параметров для выделения типов коры были, естественно, уже, чем назначенные для выявления современных эндогенных режимов.

#### 4.2. Современные эндогенные режимы

Пространственное распределение современных эндогенных режимов указано на рис.3. Как следует из данных рис.3 и табл.6, всего в пределах изученного региона выделяется 39 разновидностей современных эндогенных режимов, находящихся в настоящее время в разных фазах активности. Основных современных эндогенных режимов всего 3 - платформенный, орогенный и тафтогенный. Каждый из них может характеризоваться 3 фазами состояния - активной, переходной и спокойной.

Следовательно, в отличие от ранних представлений В.В.Белоусова, авторы полагают, что платформенный режим не может всегда относиться к категории спокойных. В своем развитии он проходит несколько фаз развития, в том числе связанную с тепловым возбуждением, в условиях которого структурные преобразования в земной коре (изменение ее мощности, высоты рельефа и т.д.) еще не произошли. Учитывая эти оговорки, рассмотрим пространственное распределение выделенных современных эндогенных режимов (рис.3).

Платформенный занимает обширные пространства в пределах юго-западного ограничения Польско-Германской впадины, Мизийской, Русской и Скифской плит, обрамления Прикаспийской впадины, акватории Каспийского моря, практически все Закаспийские равнинные пространства Туранской плиты, в том числе Устьуртскую, Амударьинскую и Сырдарьинскую синеклизы.

Этот эндогенный режим в спокойной фазе распространен главным образом в пределах южной части Русской плиты, на значительно меньших площадях - в центральной части акватории Каспия, а также в смежных частях Терско-Каспийского и Курильского прогибов, в пределах Индоло-Кубанского, Рионского, Предкарпатского прогибов, Добрудже, Польско-Германской впадине и акватории Адриатического моря.

Платформенный режим в переходной фазе активности имеет гораздо меньшее площадное распространение. В западной части рассматриваемой области он выделяется на юго-западной окраине Польско-Германской впадины и на весьма небольших площадях в Предкарпатском прогибе. В основном же этот режим развит в северном Предкавказье, в западном, северо-западном и юго-западном обрамлениях Прикаспийской впадины, в акватории северной части Каспия и Днепровско-Донецкой впадине. В меньшей степени этот режим представлен в пределах Степного Крыма и северо-западной части акватории Черного моря. В пределах Закаспия основной ареной его распространения являются районы Приаралья, Сырдарьинской, центральной и восточной частей Амударьинской синеклиз.

Платформенный режим в активной фазе развития распространен еще меньше. Он представлен преимущественно в Центральном и Восточном

суперрегионах, где занимает сравнительно небольшие площади в восточном Крыму, по северному и восточному обрамлениям Ставропольского свода, в восточной части акватории Каспия и значительно больше — в южном Приаралье, южной части Амударьинской синеклизы и в непосредственном соседстве с Копетдагом.

Тафрогенный режим I стадии проявления распространен в различных разобщенных частях изученной области. В спокойной фазе он представлен в северо-западной части Адриатической акватории и смежных участках Паданской впадины, в Азовской акватории, в восточной части Каспийской и по окраине Черноморской, в центральных районах Прикаспийской впадин. Тот же режим в переходной фазе развит в тех же районах, что и в спокойной, но, кроме того, занимает небольшие площади в Рейнских сланцевых горах, Старой Планине и значительно большие — в пределах южной части Сырдарьинской впадины и Центрально-Каракумского свода. В активной фазе I стадия проявления тафрогенного режима распространена в южной части Парижской синеклизы, в восточной части акватории Тирренского моря, по периферии Паннонской впадины, а также в Кара-Бугае.

II стадия проявления тафрогенного режима в спокойной фазе представлена исключительно в пределах акватории Черного моря, распространяясь практически на всю ее площадь и внедряясь в пределы континента в виде небольшого залива на территории Валахской впадины. Тот же режим II стадии проявления в переходной фазе представлен исключительно в Западном суперрегионе: по обрамлению Парижской синеклизы, Предсудетской моноклинали, акваториях Лигурийского и Черного моря. Что касается активной фазы

того же режима, то он занимает крупные по размерам ареалы в Аквитанской впадине, в акватории Тирренского моря и смежных участках Апеннин, Паннонском бассейне и южных Карпатах и развит на сравнительно небольших площадях в Родопах, Пиренеях, Северных Карпатах, а также по обрамлению Корсиканского массива.

III стадия проявления тафрогенного режима представлена почти исключительно в пределах акваторий Лигурийского и Тирренского морей. Эта стадия в спокойной фазе отсутствует, в переходной — развита только в Лигурийской акватории, а в активной — преимущественно в Тирренской.

Современный эндогенный орогенный режим I стадии проявления в спокойной фазе распространен на ограниченных площадях в Восточных Карпатах, на Восточном Кавказе и в Ферганском хребте. Тот же режим в переходной фазе распространен несколько шире, в том числе в Динаридах, Восточных Карпатах, Южных Альпах, Балканидах, а также в Бадхыз-Карабильской зоне, на восточном погружении Центрально-Каракумского поднятия, Байсунском поднятии, в Южном Тянь-Шане и Ферганском хребте. Активная фаза орогенного режима I стадии проявления незначительно распространена в пределах Восточных Карпат, в восточной периферии Амударьинской впадины, Ферганском хребте и Копетдаге. Однако основные площади, в которых она представлена, это Ставропольский свод и южное обрамление Ферганской впадины.

II стадия проявления современного орогенного режима в спокойной фазе охватывает значительную часть Центрального и Западного Кавказа, а также отдельные участки Южного Тянь-Шаня. Переходная фаза того же режима распространена в Восточных Карпатах, на

Восточном Кавказе и в южном обрамлении Ферганской впадины, тогда как активная — в виде сравнительно небольших площадей — также в Альпах и Копетдаге.

Орогенный режим III стадии проявления в переходной и активной фазах развит исключительно на территории Памира и Тянь-Шаня, где преобладающие площади находятся в сфере действия активной фазы.

Большие площади в исследованной области занимают зоны, в пределах которых произошла смена раннего орогенного режима наложенным тафрогенным. I стадия тафрогенного режима на месте I же стадии орогенного в спокойной фазе проявлена на территории северной части Апеннин, Динарид и в Родопах. Тот же режим в переходной фазе распространен не только в Динаридах и Родопах, но также в Северных Альпах и на южном обрамлении Трансильванской впадины. Что касается активной фазы, то ее также удастся установить в Родопах, в Северных Альпах и на южном обрамлении Трансильванской впадины.

Та же I стадия проявления тафрогенного режима на месте раннего орогенного II стадии в спокойной фазе представлена в Динаридах, на северо-западном Кавказе и в Афгано-Таджикской депрессии.

Переходная и активная фазы того же режима развиты в Альпах, на Малом Кавказе, в Копетдаге, а только переходная — и в Родопах.

Что касается тафрогенного режима I стадии проявления, сменявшего орогенный III стадии, то в любой фазе он представлена почти исключительно на Памире, в Тянь-Шане и на ограниченных территориях на Кавказе.

II стадия проявления современного тафрогенного режима на месте раннего орогенного I стадии охватывает Апеннины, обрамления

Трансильванской впадины, Молданубик, где этот режим представлен в спокойной и переходной фазах. Активная же распространена незначительно в пределах Рейнских сланцевых гор, Центральном французском массиве, северном обрамлении Альп и массиве Апусени. Та же стадия тафрогенного режима на месте раннего орогенного также II стадии в спокойной фазе развита в Эллинидах, в переходной — в Трансильванской впадине и ее обрамлениях, в активной — в Альпах и на Малом Кавказе, а совместно — в Афгано-Таджикской депрессии.

II стадия современного тафрогенного режима, сменявшего ранний орогенный III стадии проявления, распространен в переходной и активной фазах в Тянь-Шане и на Памире, и только в активной — в Альпах.

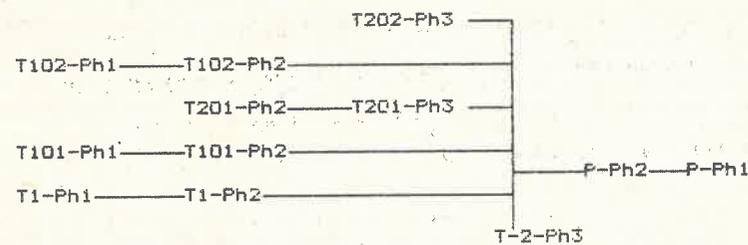
И, наконец, III стадия проявления тафрогенного режима на месте раннего орогенного I стадии распространена в пределах Корсиканского массива, в центральных Апеннинах, в Центральном французском массиве. Она же на месте II стадии раннего орогенного режима представлена в Пиренеях, а на месте III стадии — на небольших площадях в Альпах, на Малом Кавказе и по периферии Афгано-Таджикской депрессии.

В соответствии с имеющимися данными количество эндогенных режимов на уровне регионов составляет 12 (из 48 возможных в соответствии с матрицей табл. 6). Все они отображены на графе (рис. 3).

В соответствии с графом все регионы с запада на восток можно выстроить в некоторый ряд: Тирренский, Лигурийский, активизированные герциниды, Паннонский (эндогенный режим типа T2)

Рис. 5

Адаптированный к региональным условиям граф взаимоотношений разных эндогенных режимов, стадий их проявления и фаз активности



- Апеннинский, Пиренейский, Альпийский (режим типа T2-0) - Карпатский, Динарский, Балканский, Малокавказско-Понтийский, Крымско-Большекавказский, Горный Среднеазиатский (режим типа T1-0)
- Неактивизированные герциниды, Паданский, Мизийский, Черноморский (режим типа T1) - Адриатический, Русской плиты, Скифский, Прикаспийский, Каспийский, Туранский (режим типа P).

Наибольшая структурная перестройка, о которой свидетельствует вторая стадия проявления тафрогенного режима, присуща исключительно Западному суперрегиону. Меньшая, отраженная в проявлении первой стадии тафрогенного режима, свойственна регионам в северной и восточной частях того же суперрегиона, характеризует также всю южную часть Центрального и горную - Восточного.

Платформенный режим, не затронутый перестройкой, представлен почти исключительно в пределах Центрального и Восточного суперрегионов (не считая Адриатического в Западном), распространяясь на входящие в них плиты, а также смежные с ними акваторию Каспия и Прикаспийскую синеклизу. Среди регионов нет ни одного, который бы характеризовался современным орогенным режимом.

Проведенное в рамках пояса неотектонической активизации районирование по современным эндогенным режимам очень не похоже на отображенное на традиционных тектонических и неотектонических картах. Достаточно напомнить, что все регионы Средиземноморского горного пояса находятся в настоящее время в сфере проявления отнюдь не орогенного, а тафрогенного эндогенного режима (сменившего ранний орогенный) разных стадий проявления. При этом ослабление интенсивности структурной перестройки (исключительно за счет проявления наложенного тафрогенного режима) происходит преимущественно в направлении с запада на восток и с юга на север.

Данные свидетельствуют, что наиболее сильно наложенная эндогенная перестройка (более 50% площади региона) проявилась в Западном суперрегионе (за исключением Адриатического региона), а также в примыкающем к нему на юге Черноморском и Малокавказско-Понтийском - Центрального. В пределах первого наиболее сильную переработку испытали южное (на акваториях Тирренского и Лигурийского морей), а также северное (в пределах Неактивизированных герцинид) обрамления горного пояса неотектонической активизации. В пределах самого пояса площади, характеризующиеся наложенной эндогенной перестройкой, убывают в восточном направлении.

Последовательность регионов в порядке уменьшения площади, занятой режимами в фазе Ph3 (т.е. по степени современной эндогенной возбужденности) оказывается следующей: Тирренский - Пиренейский - Паннонский - Альпийский - Лигурийский - Активизированных герцинид - Апеннинский - Карпатский - Неактивизированных герцинид - Горный Среднеазиатский - Скифский - Крымско-Кавказский - Балканский - Мизийский - Туранский - Малокавказско-Понтийский - Динарский - Каспийский - Адриатический (диапазон изменения признака от 100% в Тирренском, до 1% в Адриатическом регионе). Заметим, что в пределах Прикаспийского, Паданского и Черноморского регионов, а также Русской плиты эндогенные режимы в активной фазе вообще не представлены. В их пределах площадь эндогенных режимов в переходной фазе активности убывает от 64% в Прикаспийском, до 10% в Черноморском. Это означает, что наибольшая современная эндогенная активность (более 50% площади регионов) проявляется в Западном суперрегионе, а внутри него - в южном (на акваториях Тирренского и Лигурийского морей), а также северном (в пределах Неактивизированных герцинид) обрамлениях горного пояса неотектонической активизации и в его западных и центральных частях. Следовательно, при прочих равных условиях эндогенное возбуждение в первую очередь сохраняется в тех областях, которые испытали наибольшую молодую наложенную структурную перестройку под влиянием процессов таерогенеза.

Рассмотрение на региональном уровне соотношения между эндогенной активностью в течение неотектонического этапа в целом и современной эпохой (характеризующего "угасание эндогенной активности во времени") показывает следующее. Первую группу

образуют регионы, которые имеют перспективы дальнейшей экспансии возбужденных эндогенных режимов. Таких всего два: Паннонский и Скифский, в пределах которых экспансии могут в дальнейшем подвергнуться 14% и 12% их площади, соответственно. Вторая группа регионов состоит из тех, в пределах которых экспансия возбужденных эндогенных режимов в пространстве уже невозможна. В данном случае не имеются в виду регионы, в границах которых активная фаза проявления современных эндогенных режимов вообще не представлена (например, Черноморский, или Прикаспийский). Речь идет о регионах, в пределах которых площади распространения активной фазы совпадают с площадью, активизированной на новейшем этапе развития. Таких регионов практически три: Тирренский, Альпийский и Каспийский (реальные цифры обсуждаемого параметра - 0, +0.6 и +0.7% соответственно). Самую многочисленную группу образуют регионы, в пределах которых те или иные по размерам площади выбыли к настоящему времени из сферы действия возбужденных эндогенных режимов, хотя на неотектоническом этапе входили в нее. По возрастанию этих площадей регионы можно выставить в определенный ряд: Пиренейский - Туранский - Адриатический - Горный Среднеазиатский - активизированные герциниды - неактивизированные герциниды - Крымско-Кавказский - Малокавказско-Понтийский - Мизийский - Карпатский - Лигурийский - Апеннинский - Балканский - Динарский. В первой подгруппе (по Туранский регион включительно) размеры рассматриваемой площади относительно малы (до 5% территории региона); во второй (по регион Активизированных герцинид) она составляет от 28% до 37%; в третьей (по Динарский регион) - от 42% до 70%. Вторая и третья подгруппы объединяют

наибольшее количество регионов, в пределах которых от 1/3 до 3/4 их территории практически перешли к развитию в рамках современного платформенного режима на месте ранних возбужденных (орогенного или тафрогенного, в том числе сменявшего орогенный).

Приведенные данные подтверждают сделанный ранее вывод, что к настоящему времени эндогенная активность в пространстве резко сократилась по сравнению с имевшей место на неотектоническом этапе развития в период его расцвета. Это означает, что практически этап неотектонической активизации близок к завершению.

#### 4.3. Современная эндогенная обстановка.

Основополагающим критерием для разделения всех эндогенных режимов является присущая им возбужденность земной коры, связываемая с плотностью теплового потока. Группа спокойных современных эндогенных режимов включает различные виды платформенных, а возбужденных — делится на три подгруппы, объединяющие также платформенный, деструктивные и конструктивные.

В соответствии с особенностями современной структуры все современные режимы можно подразделить на характеризующие явную, либо скрытую стадию развития. В рамках спокойного платформенного режима первая характеризуется сбалансированностью между всеми основными признаками, характеризующими современное строение и состояние земной коры. В первую очередь имеется в виду, что высота рельефа укладывается в диапазон от  $-0.4$  км до  $+0.4$  км, а мощность коры составляет не менее 37 км. Скрытая стадия современного платформенного режима отличается от явной тем, что по значениям одного (или обоих) указанных параметров отмеченные пороги

преодолены: высота рельефа составляет более  $+0.4$  или менее  $-0.4$  км, а мощность коры меньше 37 км (или меньше необходимой при данной высоте рельефа с положительными значениями).

В пределах Западного суперрегиона явный спокойный платформенный режим (знак 1, рис. 6) распространен в пределах Польско-Германской впадины, на большей части акватории Адриатического моря и в прилегающих участках северных и южных Динарид, а также в отдельных зонах Балканид. Этот же режим охватывает обширные пространства в Центральном и Восточном суперрегионах, включая практически всю южную часть Русской плиты (за исключением некоторых участков Прикаспийской впадины), большую — Туранской, отдельные участки — Скифской, а также восточные районы Закавказья в пределах альпийского пояса.

Скрытый спокойный платформенный режим (знак 3, рис. 6) включает две его разновидности в зависимости от того, какой ранее существовавший режим он сменил (тафрогенный или орогенный). Он представлен во всех трех суперрегионах, причем в пределах совершенно различных по своей традиционной структурной принадлежности областей. В Западном суперрегионе этот режим развит в северной части Парижской синеклизы, западной — Польско-Германской впадины, центральной — акватории Лигурийского моря, в южных Альпах, Паданской впадине, восточной части Апеннин, на больших по площади участках Молданубика, Динарид, Карпат и Балканид, акватории Черного моря. В пределах Центрального суперрегиона он охватывает части Большого Кавказа, центральные районы Прикаспийской впадины, некоторые районы Южно-каспийской. В Восточном суперрегионе рассматриваемый режим характеризует зоны

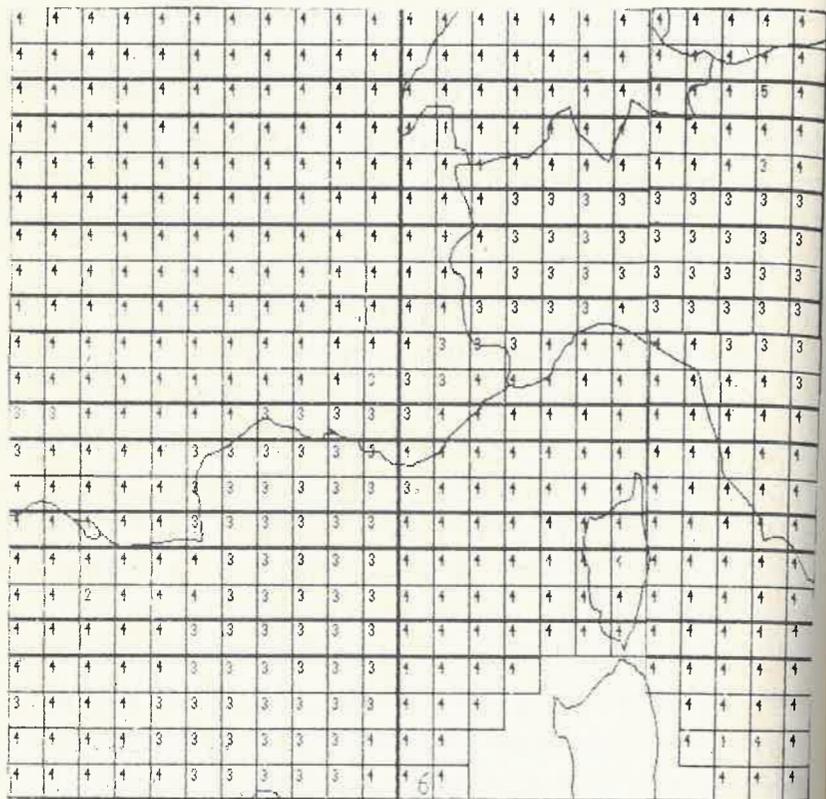


Рис. 6. Современная эндогенная обстановка. Объяснения в тексте.

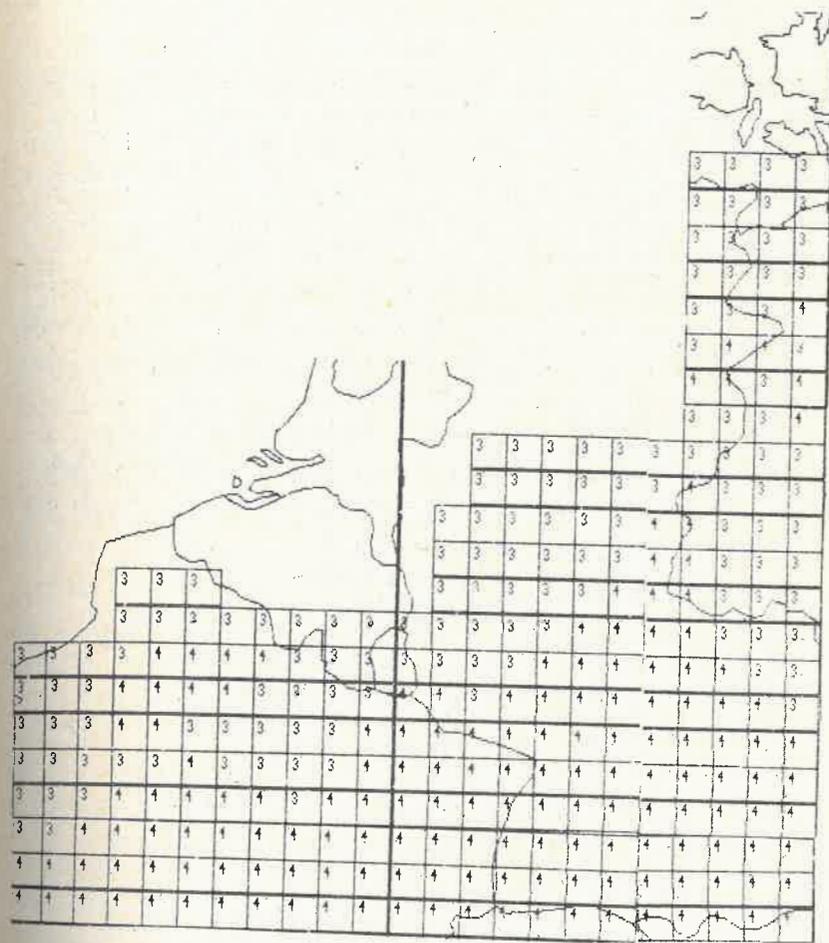


Рис 6. (продолжение)

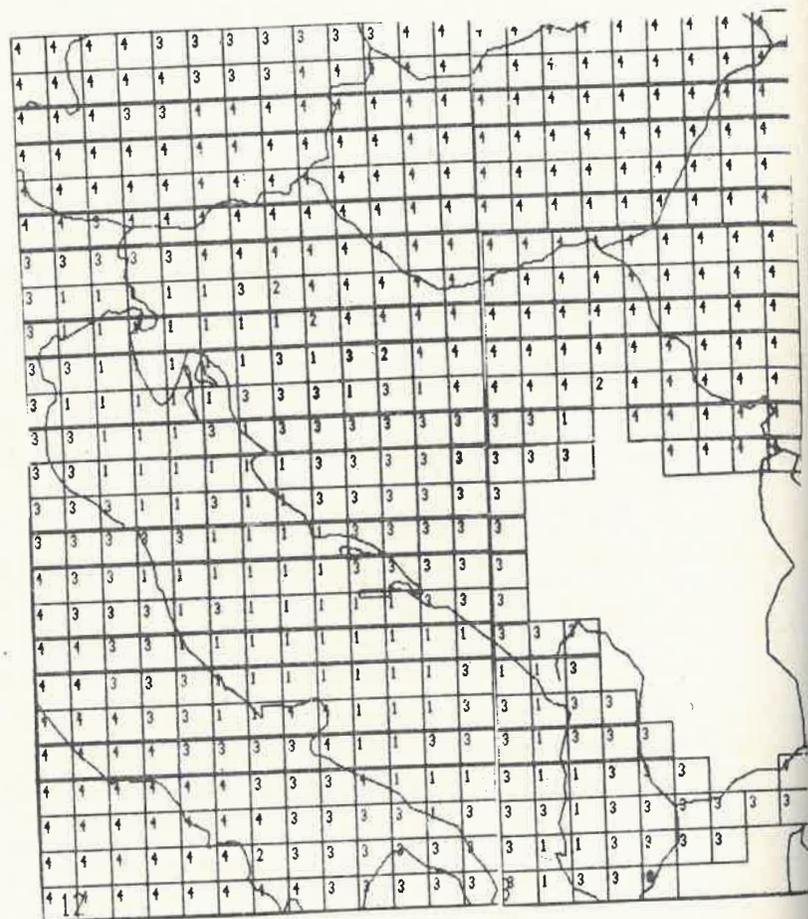


Рис 6. (продолжение)

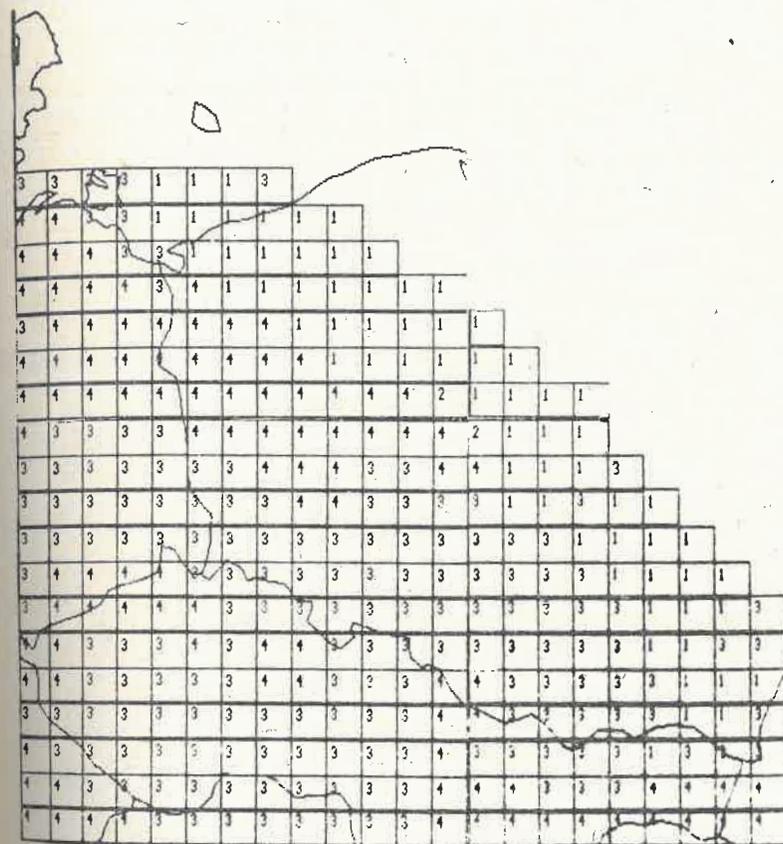
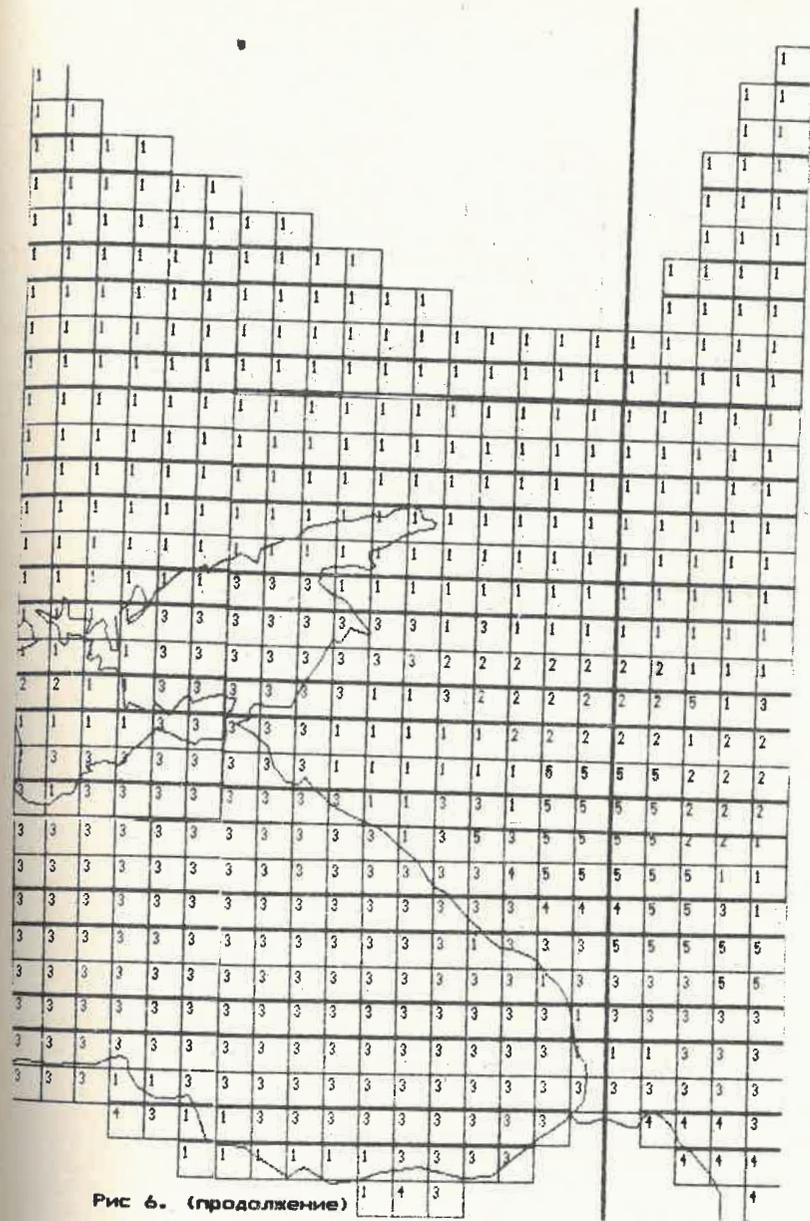
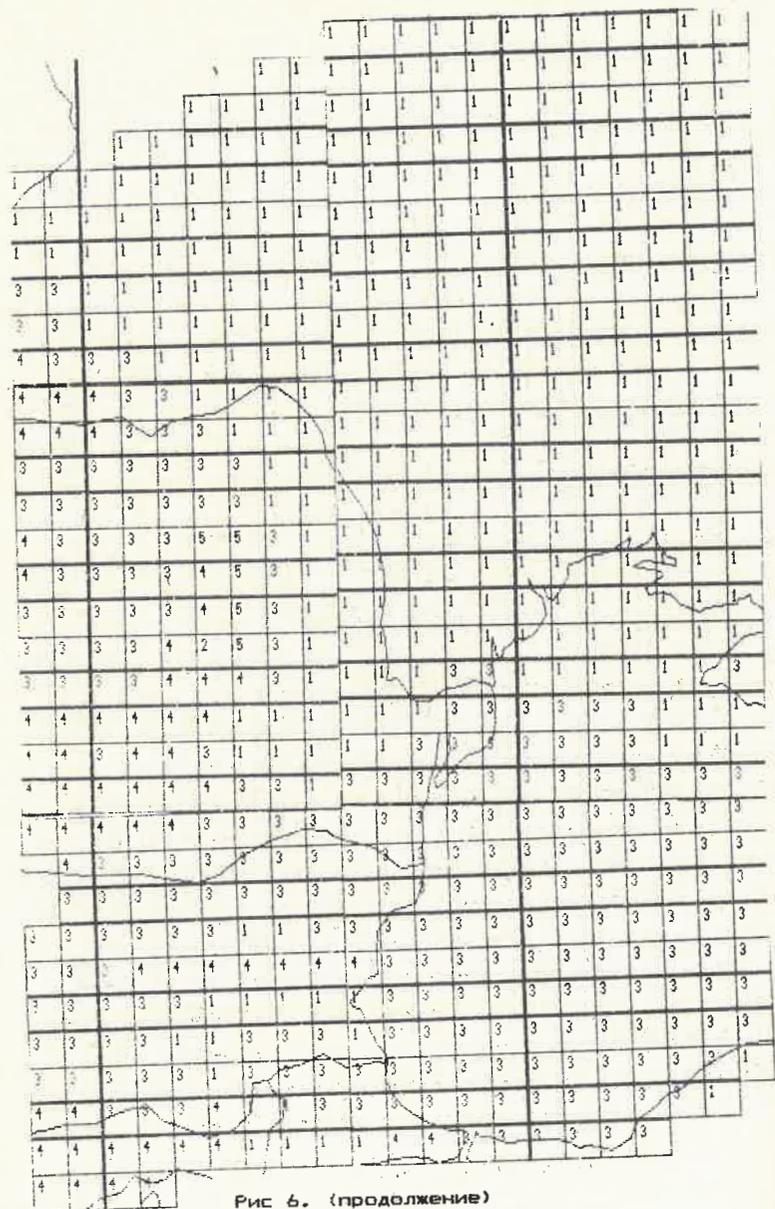


Рис 6. (продолжение)



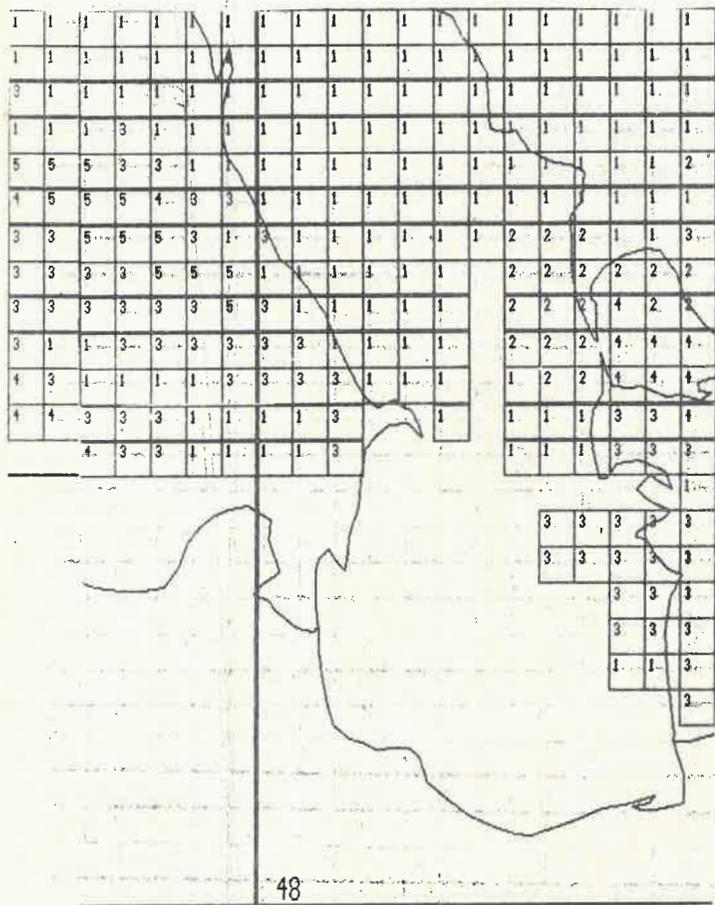


Рис. 6. (продолжение)

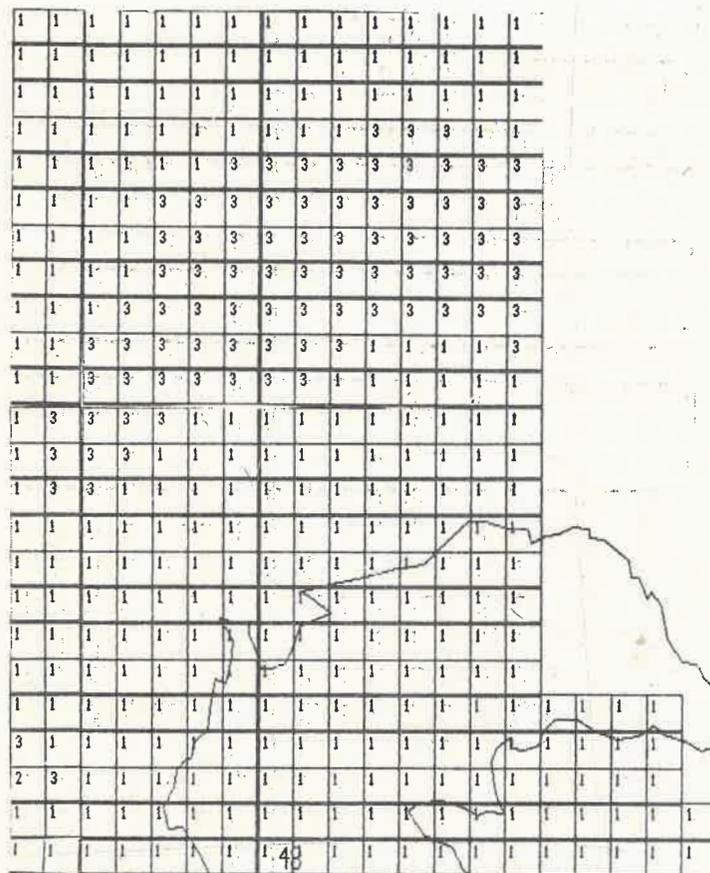


Рис. 6. (продолжение)



Прикопетдагских и Бадхыз-Карабилийских дислокаций, Центрально-Каракумский свод, северо-западный Памир, Афгано-Таджикскую и Ферганскую впадины и примыкающие к ней с юго-востока участки Тянь-Шаня. На локальных участках этот же режим развит в Сыр-Дарьинской и Чуйской впадинах, а также в Западном Каратау.

К группе возбужденных режимов в первую очередь относится платформенный (знак 2, рис. 6), области развития которого занимают сравнительно небольшие площади. В Западном суперрегионе он развит на отдельных участках побережья Лигурийского моря, в северных Динаридах, по южному ограничению Паннонской впадины и в Карпатах. В Центральном и Восточном суперрегионах он проявляется на несколько больших площадях, захватывая часть Степного Крыма, западное Предкавказье, Западный и Восточный склоны Карабогазского свода, отдельные участки в южной части Аму-Дарьинской синеклизы, а также значительную часть Сыр-Дарьинской впадины. Основное качество этого режима - наличие теплового возбуждения, не реализованного еще в структуре земной коры (высота рельефа, мощность земной коры еще остаются характерными для спокойного платформенного режима).

Главная арена проявления возбужденного тафрогенного режима (знак 4, рис. 6) - Западный суперрегион. Здесь он представлен практически на всей территории развития западно-европейских герцинид, в западной и восточной периферических частях акватории Лигурийского и на всей акватории Тирренского моря, в Паннонской впадине и ее обрамлениях, на отдельных участках в пределах Балканид. В меньшей степени тафрогенный режим проявлен в Центральном и Восточном суперрегионах: он отмечается лишь в

отдельных районах Западного Кавказа, сводовой части Кара-Богазского поднятия и на более значительных площадях в Южном Тянь-Шане и Юго-Западном Памире.

Возбужденный орогенный режим (знак 5, рис. 6) развит в пределах весьма незначительной площади, особенно в Западном суперрегионе. В Альпах, например, выявляется всего один небольшой район его развития, на несколько большей площади он представлен в Карпатах. На Кавказе (Центральный суперрегион) этот же режим проявлен в пределах обширной полосы северо-западного простирания, выходящей в Предкавказье и захватывающей Ставропольский свод. В Восточном суперрегионе он же выделяется на сравнительно ограниченных площадях в Копет-Даге и Нуратау, и на более обширных - в Южном Тянь-Шане и на Восточном Памире.

Резкая граница между областями, в пределах которых представлены режимы, относящиеся к разным группам, проходит примерно по линии Торнквиста-Тейслера. К западу от нее находится сфера преимущественного проявления тафрогенного, а к востоку - платформенного режимов. Подчиненные по площади районы развития скрытого платформенного режима могут иметь здесь различное происхождение. В Западном суперрегионе, например в пределах Апеннин, южных Альп, Паданской впадины и части акватории Лигурийского моря с континентальной корой, этот современный режим пришел на смену раннему тафрогенному. При этом в Апеннинских Альпах он сменил еще более ранний орогенный, а в Паданской впадине, и на части акватории Лигурийского моря - платформенный.

К востоку от линии Торнквиста-Тейслера господствующим на предшествовавшей стадии развития эндогенной обстановки был (из

числа возбужденных режимов) орогенный. Здесь скрытый платформенный режим в основном характеризует те территории, в пределах которых он сменился платформенным. Исключение представляют собой лишь акватория Черного моря и часть Прикаспийской впадины, в пределах которых платформенный режим в разное время (в том числе и до начала неотектонического этапа) сменил ранний тафрогенный.

Наиболее сложное пространственное сочетание различных современных эндогенных режимов имеет место в пределах ряда орогенов (Кавказа, Копет-Дага или Тянь-Шаня и Памира). В этих регионах непосредственно соседствуют районы проявления орогенного, скрытого платформенного (на месте орогенного) и тафрогенного (также на месте орогенного) режимов. Можно предполагать, что в зонах со слабо прогретой корой орогенный режим впоследствии сменяется платформенным, а в зонах большего прогрета — тафрогенным.

#### 4.4. Выводы

Характерной особенностью изученной области является последовательное во времени сокращение площади, в пределах которой развивались возбужденные эндогенные режимы. Если в период пика эндогенной активности, который вероятно приходился на конец плиоцена — начало четвертичного периода, эта площадь составляла 59%, то в настоящее время она сократилась до 18%. Чуть более 1/3 всей изученной области к настоящему моменту выбыло из сферы эндогенного возбуждения, в рамках которой только и возможны процессы активного структурообразования в земной коре и на ее поверхности. Эти данные свидетельствуют, что четвертичный период

отмечает завершение этапа неотектонической активизации. Сфера проявления активного орогенного режима (не затронутого наложенными процессами тафрогенеза), за тот же период существенно сократилась. Вместе с тем в этот же период процесс завершения неотектонической активизации был нарушен "малой эндогенной активизацией", связанной с всплеском тафрогенных преобразований. Тафрогенный процесс, получивший широкое развитие в начале четвертичного периода, оказался на редкость агрессивным и одновременно скоропалительным. Уже к настоящему времени из сферы его активного влияния (в том числе и развивавшегося на месте раннего орогенного режима) выбыло 19% площади. Следовательно, все вернулось сегодня на круги своя, и процесс завершения неотектонической активизации продолжается по ранее намеченному сценарию.

Процесс угасания эндогенной активности протекает дифференцированно в пространстве и во времени. Во всяком случае, есть основания считать, что в подавляющем большинстве случаев области с экстремальным проявлением любого возбужденного эндогенного режима и до настоящего времени сохраняют высокий эндогенный потенциал. Они являются наиболее консервативными по отношению к изменениям эндогенной обстановки.

Из современных эндогенных режимов наибольший резерв для будущих структурных преобразований сохранили возбужденный платформенный (в пределах Скифского и Туранского регионов); тафрогенный II стадии проявления (в Тирренском и Лигурийском); тафрогенный, сменивший ранний орогенный (в Альпийском); орогенный (в Крымско-Кавказском). Резервы тафрогенного режима I стадии проявления к настоящему времени полностью исчерпаны. По отношению ко всему горному поясу

этот резерв в рамках платформенного и тафрогенного режимов остается на 6% площади сферы их распространения, для тафрогенного, сменившего ранний орогенный - на 27%.

О пространственной дифференциации процесса угасания эндогенной активности возможно судить на суперрегиональном и региональном уровнях. Данные по первому из них свидетельствуют, что во всех суперрегионах уменьшение площадей, занятых возбужденными режимами в момент пика эндогенной активности по сравнению с настоящим временем, примерно одинаково и составляет около 1/3 их размера. Вместе с тем оставшаяся в сфере активных эндогенных преобразований площадь распределена в пределах суперрегионов весьма неравномерно. Наибольшей характеризуется Западный суперрегион, самой небольшой - Восточный. На региональном уровне картина еще более дифференцирована. Режимы в активной фазе в настоящее время развиты исключительно в пределах регионов западной части Западного суперрегиона.

Во временных рамках, для которых возможно рассуждать о возбужденных современных эндогенных режимах (а это в геологической терминологии - четвертичный период, продолжительностью, по разным оценкам, в 1-2 млн лет), доминирующим в структурообразовании земной коры был процесс тафрогенеза. Во всей изученной области он проявлялся более чем на половине ее площади. Для этого же времени отмечается существенное уменьшения структурной перестройки в восточном направлении. В частности, обобщенным режимом для Западного суперрегиона является тафрогенный, для Центрального - платформенный, а для Восточного - орогенный. В том же направлении роль платформенного режима также увеличивается. В соответствии с

этим находится и распределение других режимов. Аналогичная картина фиксируется и на региональном уровне - наибольшая структурная перестройка свойственна западным регионам (в основном за счет тафрогенного режима, сменившего ранний орогенный), меньшая - центральным и восточным. На региональном уровне не выделяется ни один регион, для которого был бы характерен в целом обобщенный эндогенный орогенный режим. Во всех регионах режим этого типа присутствует в явно подчиненном положении.

Ранее отмечалось, что проведенное районирование по современным эндогенным режимам не очень похоже, особенно в рамках неотектонического орогенного пояса, на существующие схемы его тектонического и неотектонического районирования. Большие различия отмечаются на всех иерархических уровнях рассмотрения данных, но пожалуй наиболее показательны на региональном. Достаточно указать, что такие регионы, как Пиренейский, Апеннинский, Альпийский или любой другой из горного пояса, всегда считались и до сих пор считаются ареной проявления орогенного режима. На самом деле в четвертичное время в Пиренейском, Апеннинском или Альпийском преобладал тафрогенный (в том числе на месте раннего орогенного). Именно процессы тафрогенеза определили основные особенности современного строения земной коры, тогда как рельеф в данном случае является признаком реликтовым, унаследованным от раннего орогенного режима (развивавшегося в основную фазу неотектонического процесса, которая продолжалась до конца плиоцена). В этой несогласованности результатов тектонического и неотектонического районирования с предложенными нет ничего удивительного: при его проведении используются существенно разные

параметры. Авторы опирались на характеризующие современную структуру и состояние земной коры, а в рамках традиционного анализа привлекаются историко-тектонические за гораздо большие интервалы времени.

Следует остановиться на проблеме квалификации современных режимов, не находящихся в настоящее время в активной фазе (т.е. характеризующихся переходной и спокойной). Если основополагающим критерием для разделения является обеспеченность их тепловой энергией, то такие современные режимы не должны быть квалифицированы как представляющие группу возбужденных. Если она в настоящее время тепловая энергия соответствует нормальному для современных платформенных структур и меньше отвечающей начальным этапам проявления возбужденных режимов (конструктивного или деструктивного), данный режим должен быть квалифицирован как современный спокойный платформенный. Причем совершенно независимо от того, какова была предыстория, запечатленная в значениях каких-то других параметров.

Все структуры проходят в своем развитии определенные стадии развития. На каждой из них происходят определенные преобразования, которые отвечают данному действующему режиму, и направлены, следовательно, на изменение того структурного плана, который был подготовлен ранним режимом. В конце концов между эндогенным режимом, глубиной и поверхностной структурой достигается полное соответствие. Такое соответствие сложилось, вероятно, между активно действовавшим орогенным режимом, мощностью земной коры, высотой рельефа и плотностью теплового потока в рамках неотектонического горного пояса к концу плиоцена. Достижения

такого соответствия является, по-видимому, и функцией времени действия данного эндогенного режима (в рассматриваемом случае - орогенного). Совершенно иная ситуация обязательно должна возникать в тех случаях, когда возбужденные эндогенные режимы сменяют друг друга в течение коротких интервалов времени, после чего территория, на которой они проявлялись, выходит из сферы эндогенного возбуждения. Именно этот случай нам и пришлось анализировать в пределах исследованной области в качестве типичного. А это означает, что всегда будут существовать противоречия между тем режимом, который фиксируется в настоящий момент времени, и структурой, в пределах которой он проявляется. Иными словами, при указанном течении эндогенного процесса вполне закономерным является то обстоятельство, что образуется рассогласованность параметров, описывающих современное строение и состояние земной коры: часть из них характеризует новый режим, часть является по отношению к нему реликтовыми. Все дело в том, на какие признаки обращать внимание при идентификации данного режима. Если на последние (реликтовые) - режим будет квалифицирован верно, но не современный, а ранее действовавший. Это и происходит, когда горный пояс продолжают считать и сегодня находящимся в сфере проявления орогенного режима. Если же опираться на признаки другой группы - режим также будет идентифицирован правильно, но как современный. А поскольку нас интересуют современные эндогенные режимы, то и идентификация их должна соответствовать поставленной задаче.

В процессе эволюции любой структуры можно выделять два основных этапа. Скрытый, в течение которого процесс переработки ранее

созданной структуры под воздействием нового наложенного эндогенного режима уже начался, но не получил еще полного выражения в геолого-геофизических и геоморфологических характеристиках. И явный, когда этот новый процесс получил адекватное выражение в указанных параметрах. Своеобразие изученной области тем и определяется, что к настоящему значительная ее часть еще не вышла из этапа скрытого структурообразования.

Следовательно, правильным здесь было выделение двух групп эндогенных режимов – возбужденной и спокойной платформенной. В первую входят три режима: платформенный и тафрогенный (оба в настоящее время могут представлять явный и скрытый эволюционные этапы структурообразования), а также орогенный (в силу длительности действия он может представлять только явный этап структурообразования). Вторая группа представлена единственным режимом того же названия.

## 5. ОЦЕНКА СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ( $M_{\max}$ )

### 5.1. Вводные замечания

Для оценки сейсмотектонического потенциала ( $M_{\max}$ ) необходимо было привлечь сейсмологический материал по огромной территории, в административном отношении принадлежащей разным странам, а внутри них – республикам и регионам. Все попытки получить для нее каталог в унифицированном виде не удалось. В требуемом были только данные, основанные на работе [34].

Все остальные материалы авторы собирали в виде Рабочего каталога, который включал по территории стран СНГ: данные каталога [34] по 1974 г.; данные выпусков [13] с 1974 по 1986 гг.; данные регионального каталога [36] за весь указанный в нем период по сильнейшим землетрясениям; оперативные данные по некоторым сильнейшим землетрясениям за период с 1987 по 1990 гг. По другим странам в него вошли данные работ [11,58,60,62] за весь указанный в них период. Из этих материалов рассматривались только землетрясения, происшедшие в земной коре ( $H \leq 60$  км). Фрагмент карты зарегистрированной сейсмичности приведен на рис.7.

Подготовленный Рабочий каталог не удовлетворяет высоким требованиям, которые обычно предъявляются к таким материалам, однако авторы вынуждены были пользоваться им при оценке  $M_{\max}$ . Все ошибки, существовавшие в Рабочем каталоге неизбежно "размножились" в результате проведения последующих операций. Парировать этот недостаток можно было лишь контролируя всю процедуру и вводя необходимые коррективы в полученный результат.

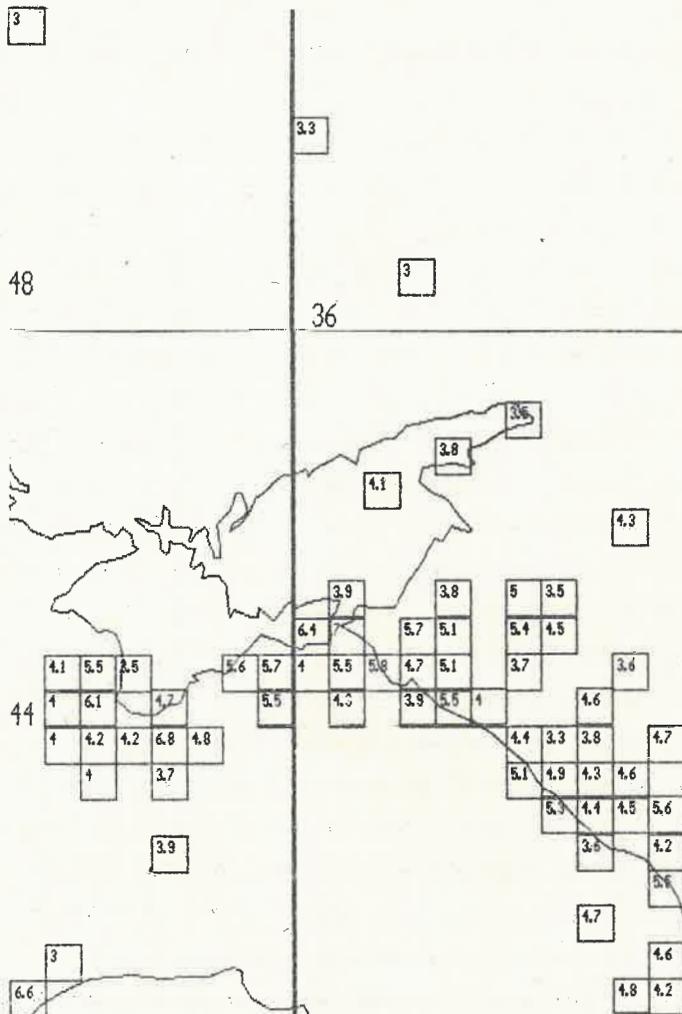


Рис. 7. Распределение зарегистрированной сейсмичности

(фрагмент). Цифрами обозначена максимальная магнитуда землетрясения, эпицентр которого зарегистрирован в пределах данной элементарной ячейки.

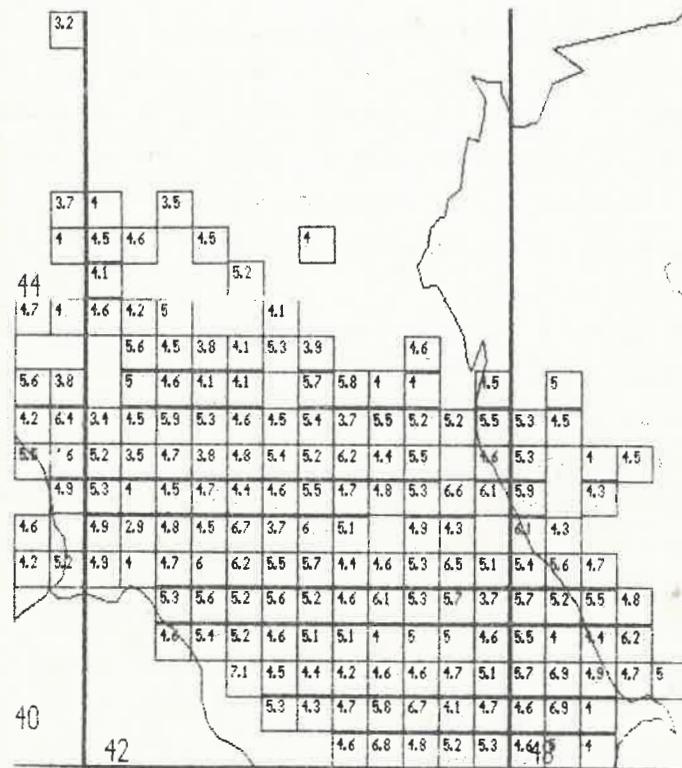


Рис 7. (окончание)

Следовательно, не только геолого-геофизические, но и сейсмологические данные оказались недостаточно кондиционными. Поэтому к результату проведения всей работы по оценке сейсмостектонического потенциала следует относиться с известной осторожностью, на что мы указывали и в ранних публикациях [47,48].

## 5.2. Сейсмостектонический потенциал ( $M_{\max}$ )

### 5.2.1. Методологические и методические основы

Поставленную задачу можно сформулировать следующим образом: провести районирование сейсмостектонического потенциала, под которым понимается способность земной коры накапливать потенциальную энергию, реализуемую в виде землетрясений с различной  $M_{\max}$ .

Методологически постановка задачи основывалась на предположении, что в сейсмостектоническом анализе необходимо использовать только данные, характеризующие современную структуру и состояние земной коры. Именно в этом случае окажутся наиболее сближены по времени и месту действия явления и процессы, которые сопоставляются между собой. Это – сейсмичность, коровая, протекающая в настоящее время во всем ее объеме и известная по данным сейсмологических исследований. И эндогенная активность, также коровая, протекающая во всем ее объеме и известная по данным комплексного геолого- геофизического изучения.

В этом принципиальное отличие предлагаемого сейсмостектонического подхода от реализовавшихся ранее, в том числе декларированного при составлении последнего варианта нормативной карты сейсмического районирования территории страны – ОСР-78 [49].

Очень часто исследователи в качестве сейсмостектонической основы для выделения зон с различной  $M_{\max}$  использовали данные, характеризующие неотектонический этап геологического развития, имеющих продолжительность в несколько десятков миллионов лет. Из рассмотренных в разделе 4 результатов следует, что эндогенная обстановка меняется во времени гораздо быстрее, чем ранее предполагалось. Поэтому привлечение для сейсмостектонического анализа только неотектонических построений недопустимо.

Также очевидно, что нельзя использовать в качестве сейсмостектонической основы данные районирования по современным эндогенным режимам – они слишком обобщают реальную сейсмостектоническую обстановку.

Авторы считали, что типы земной коры являются моделями структур, в каждой из которых могут возникать землетрясения определенного уровня. Поэтому для решения прогностической задачи по оценке сейсмостектонического потенциала непосредственно использовались результаты типизации земной коры.

Что касается методических аспектов, реализация предлагаемого подхода в принципе ничем не отличалась от известных ранее. Необходимо было определить, в каких сейсмостектонических обстановках возникают землетрясения с различной  $M_{\max}$  и найти аналогичные им, где землетрясения с такой магнитудой еще не произошли, но потенциально возможны. Таков всегда был сейсмостектонический подход к прогнозируемому выделению зон с различной  $M_{\max}$ .

Процедура заключалась в следующем. Результаты типизации земной коры (рис.1) сравнивались с данными о зарегистрированной

сейсмичности (рис.7). Далее значение максимальной магнитуды землетрясения, эпицентр которого зарегистрирован в любой элементарной ячейке, принадлежащей данному типу коры, распространялось на все остальные элементарные ячейки, принадлежащие этому же типу коры. Эта операция не зависела от того, зарегистрирован ли на принадлежащей им площади эпицентр какого-либо землетрясения с более низкой магнитудой, или сведения о ее сейсмичности вообще отсутствуют.

Описание принятой процедуры нуждается в комментарии. Во-первых, из него следует, что для решения задачи лучше всего использовать ранние шаги процедуры кластерного анализа (с большим количеством типов коры и малым количеством входящих в каждый из них элементарных ячеек). Напомним, что типизация земной коры, приведенная на рис.1, получена на втором шаге процедуры кластерного анализа. Поэтому в пределах каждого из 560 выявленных типов коры дисперсия значений признаков является практически минимальной по сравнению с точностью их измерения. Использовать в качестве сейсмотектонической основы более грубые типизации земной коры (например, третьего или тем более четвертого шагов) было бы неправильным. В общем по тем же причинам, по которым было невозможно привлекать к сейсмотектоническому анализу данные об эндогенных режимах.

Во-вторых, предлагаемый подход требует проведения анализа для достаточно больших территорий (ансамблей многих регионов, еще лучше - континентов). В этом случае недостаток статистики по сильным землетрясениям на данной территории будет компенсироваться за счет этой статистики в других областях, имеющих ячейки с

аналогичным сейсмотектоническим описанием, в которых такие сильные землетрясения уже произошли. Если исследуется значительная площадь, есть основания полагать, что максимальное зарегистрированное в данных сейсмотектонических условиях землетрясение является для них и максимально возможным.

В-третьих, появляется возможность проведения сравнительного совместного рассмотрения всех интересующих территорий, независимо от того, относятся ли они, в соответствии с традиционными представлениями, к высоко- или "слабоактивным" в сейсмическом отношении. А это - важный инструмент оценки потенциальной сейсмичности последних, статистика сильных землетрясений по которым чрезвычайно скудна.

Иными словами, предлагаемый подход может наиболее полно и эффективно реализовываться только на внерегиональном уровне, при "тотальном" (всеобъемлющем в рамках рассматриваемой области) обучении на сейсмологическом материале всей коллекции имеющихся сейсмотектонических обстановок в виде выделенных типов коры. В отличие от внерегионального, возможен и региональный подход, когда такое обучение проводится только по данным о землетрясениях данного региона ("самообучение"). По изложенным выше причинам, в этом случае нет гарантий от ошибок типа "пропуск цели" (прогноза не максимально возможного или близкого к нему по уровню землетрясения).

Оценка сейсмотектонического потенциала ( $M_{max}$ ) с использованием изложенного подхода впервые была проведена пока только для Крымско-Кавказского региона (в вариантах самообучения и тотального обучения), со всеми вытекающими и уже оговоренными

последствиями [47,48]. Тем не менее к более подробному освещению этих материалов придется еще неоднократно возвращаться.

Следует, наконец, пояснить, почему в работе употребляется термин "сейсотектонический" потенциал, а не "сейсмический". С одной стороны, тем самым подчеркивается то обстоятельство, что в основе метода заложено использование именно сейсотектонических данных и методов анализа. Сейсотектонические данные, а не собственно сейсмологические, несут в себе прогностическое начало. Думается, что термин "сейсмический" потенциал более уместно употреблять в том случае, когда решение прогностических задач реализуется с привлечением собственно сейсмологических данных и методов анализа (например, с использованием методов Ю.В.Ризниченко по определению  $M_{\max}$  или  $K_{\max}$ ). С другой стороны, использование указанного термина подчеркивает и другое важное обстоятельство. А именно - что сейсмический процесс не является самостоятельным, а представляет только часть тех явлений и процессов, которые происходят в земной коре, в частности процесса тектонического, а в более общем виде - эндогенного. Для коллектива, который участвовал в проведении анализа, это - аксиома, и не хотелось бы игнорировать эту важную, основополагающую позицию.

#### 5.2.2. Сейсотектонический потенциал ( $M_{\max}$ ), вариант регионального подхода (Центральный суперрегион)

В принципе возможна постановка задачи районирования сейсотектонического потенциала ( $M_{\max}$ ) на региональном

уровне. Ее решение доступно двумя способами, базирующимися на самообучении сейсотектонических данных сейсмологическими. Первый использует материалы типизации земной коры, специально проведенной для данного региона, и ограничивается сведениями о землетрясениях, которые зарегистрированы в пределах того же региона. Второй использует материалы типизации земной коры по всей изученной области, в которую данный регион входит, но сохраняет второе ограничение в отношении сейсмологических данных. При реализации любого из них вполне реально возникновение ошибок типа "пропуск цели" из-за некорректного определения при региональном подходе того максимального предела, которого может достичь сейсотектонический потенциал. Чтобы в этом убедиться, необходимо сопоставить результаты регионального и внерегионального подходов. А для этого необходимо, чтобы они базировались на одной и той же сейсотектонической основе. Поэтому реализация регионального подхода проводилась вторым из указанных способов на примере Центрального суперрегиона. При этом была рассмотрена несколько меньшая по сравнению с внерегиональным вариантом площадь (в основном за счет северных районов), что не повлияло на полученный результат.

Проведение такого сопоставления кажется совершенно необходимым еще по одной причине. При подготовке сейсотектонической основы карт сейсмического районирования и выделении на этой основе зон возникновения ожидаемых землетрясений обычно используется именно региональный (в лучшем случае, а в худшем - республиканский [см. 40 и 52]) подход, и необходимо было выяснить, насколько он правомерен.

В соответствии с изложенными положениями, для сопоставления сейсмотектонической основы с сейсмологическими данными использовались только сведения о землетрясениях Центрального суперрегиона. При этом, однако, не были учтены результаты опубликованных [26-33, 35, 51, 52, 55] палеосейсмогеологических реконструкций, которые не являются общепринятыми и пока еще не включены в официальные каталоги. Что касается самой сейсмотектонической основы, то она соответствует результатам типизации земной коры на втором шаге процедуры кластерного анализа (рис. 1), которые ранее были подробно обсуждены. Напомним, что в пределы Центрального суперрегиона попадает не вся совокупность этих типов коры (560), а только их часть.

Всего в Центральном суперрегионе выделено 199 типов коры, объединяющих 926 ячеек. Среди них в 109 типах коры имеются "ячейки-учителя", в которых зарегистрированы эпицентры землетрясений. Каждая из 109 сейсмотектонических ситуаций, следовательно, имела не менее одной обучающей "ячейки-учителя". В редких случаях в нескольких ячейках, относящихся к одному типу коры, зарегистрированы эпицентры с одинаковой магнитудой. В двух ячейках типа коры 325, например, зарегистрированы эпицентры землетрясений с одинаковой  $M=4.8$  (1893 и 1953 гг.). Вместе с тем широко распространены случаи регистрации одинаковой магнитуды у землетрясений, эпицентры которых располагаются в ячейках, принадлежащих разным типам коры. Эпицентры землетрясений, располагающихся, например, в пределах ячеек, принадлежащих типам коры 193, 363 и 443, имеют одинаковую  $M=6.4$ .

Данные о пространственном распределении сейсмотектонического

потенциала ( $M_{макс}$ ) в пределах Центрального суперрегиона приведены на рис. 8. Его сопоставление с рис. 7, убедительно свидетельствует: с одной стороны, заметно возрастают площади, в пределах которых допускается возможность возникновения землетрясений разного энергетического уровня (на рис. 7 это 269 ячеек, а на рис. 8 — уже 511); с другой стороны, для многих районов существенно увеличивается уровень оценок максимального возможного землетрясения.

Полученный результат является прямым следствием использованной процедуры, которая предусматривала распространение оценки  $M_{макс}$ , фиксированной на площади "ячейки-учителя" на все остальные ячейки, входящие в данный тип коры. Прогноз на площади зависел от того, каким образом по отношению к "ячейке-учителю" распределены в пространстве остальные ячейки, входящие в данный тип коры. В одних случаях одинаковые оценки образуют компактную ассоциацию на площади, в других — рассеянную, в третьем — комбинированную.

Вместе с тем распределение на прогнозной карте оценок  $M_{макс}$  зависело и от характера совокупного распределения ячеек, принадлежащих разным типам коры. Довольно часто в каком-то районе одинаковые прогнозные оценки величины сейсмотектонического потенциала связаны с компактным расположением ячеек, хотя и относящихся к разным типам коры, но имеющих одинаковый его уровень.

Как и следовало ожидать, распределение сейсмотектонического потенциала ( $M_{макс}$ ) на территории Центрального суперрегиона значительно отличается от распределения зарегистрированной

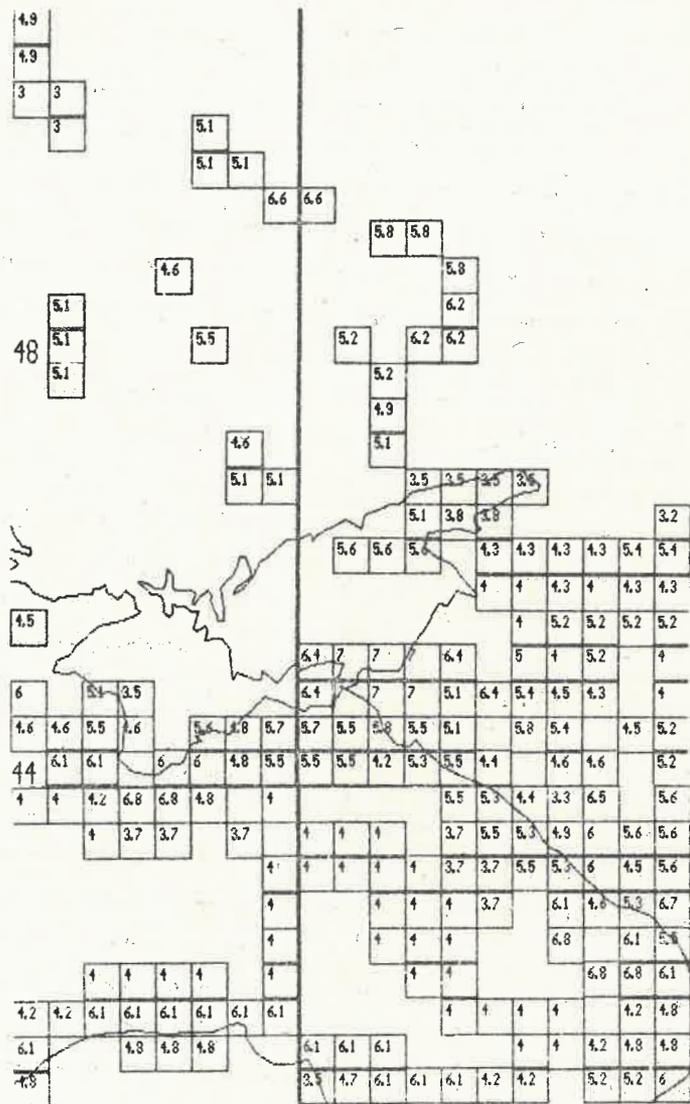


Рис. 8. Распределение зон с различной  $M_{max}$ , вариант регионального подхода (Центральный суперрегион). Цифрами обозначена прогнозная  $M_{max}$  для данной элементарной ячейки.

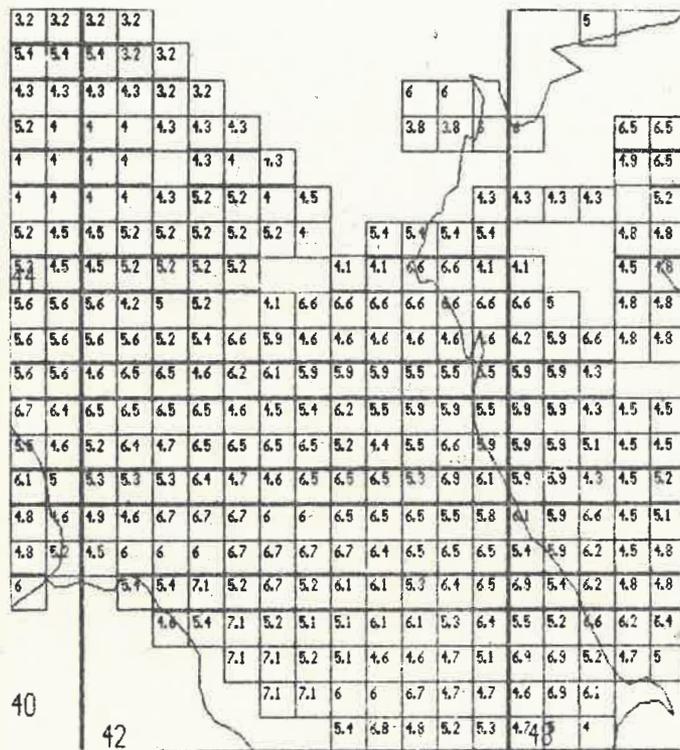


Рис. 8. (продолжение)

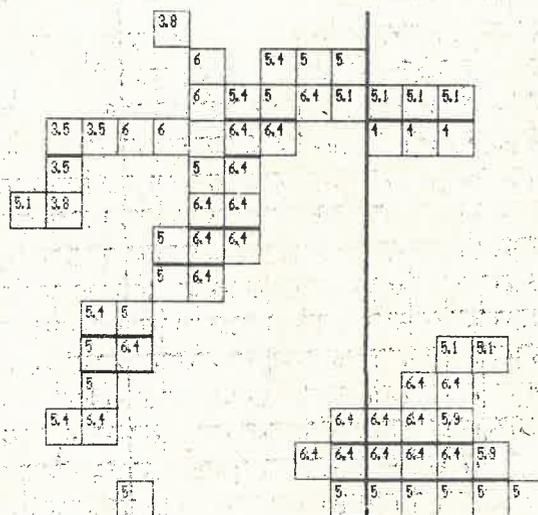


Рис. 8. (окончание)

сейсмичности. Прежде всего сильно расширилась сейсмоопасная часть суперрегиона. Она распространилась на большую часть Предкавказья, Керченско-Таманский район, отдельные части Украинского щита и южные - Прикаспийской впадины.

Наряду с этим значительно увеличились площади с прогнозными оценками  $M_{\max} \geq 6.0$ . Они охватили, в частности, большую часть Центрального и Восточного Кавказа с прилегающими западными районами Каспийского моря (за исключением лишь центральной части Терско-Сулакского прогиба, юго-восточного окончания Известнякового Дагестана, а также отдельных районов Прикаспийской впадины).

Западная часть Большого и Малый Кавказ (за редким исключением) характеризуются в целом менее высокими прогнозными значениями  $M_{\max}$  и весьма пестрой картиной их распределения в пространстве с чередованием участков с резко контрастными перепадами значений сейсотектонического потенциала.

Полученный результат указывает также на существенное изменение сейсотектонического потенциала северных частей Крымско-кавказского региона. Так, на акватории Азовского моря появляется участок с оценками  $M_{\max} = 5.5$  (именно в его пределах произошло землетрясение 17 июля 1990 г. с  $M = 4.1$ ). Сплошные полосы с различным уровнем сейсотектонического потенциала выявлены в тех районах, где были отмечены лишь единичные события с  $M = 5.5$ : в пределах Ставропольского свода, значительной части Азовского поднятия и Маньчских прогибов, на отдельных участках Приазовского массива. Но особенно резко изменилась ситуация в южной части Прикаспийской впадины (в зоне ее сочленения с валом Карпинского), а также в северной - акватории

Каспийского моря, где выделяются протяженные полосы субширотного простирания с оценками ( $M_{\max} = 6$ ).

Нередко компактные на площади зоны с одинаковым потенциалом образованы ассоциациями ячеек, принадлежащими разным типам коры. С нашей точки зрения это является косвенным свидетельством правомерности их выделения.

Представленная на рис. 8 схема пространственного распределения сейсмотектонического потенциала Центрального суперрегиона является законченным результатом применения разработанной методики его районирования на региональном уровне (в варианте самообучения). На ней можно было бы и остановиться.

Следует, однако, обратить внимание на еще одну проблему — максимальной величины сейсмотектонического потенциала. По настоящее время сейсмотектонические оценки опираются на сейсмологические данные, а максимальная магнитуда землетрясения, зарегистрированного в данном регионе, определяется одновременно и как максимально возможная. При таком подходе для Центрального суперрегиона, в частности, было невозможно дать прогноз для тех землетрясений, которые реально произошли на Кавказе в 1988 и 1991 гг., и имели магнитуду выше порога, зарегистрированного для него ранее. В рассматриваемом случае прогнозная оценка для первого из них составляла  $M_{\max} = 5.6$  (если бы мы составляли прогноз до времени возникновения этого события), а для второго —  $M_{\max} = 6.4$ . Этот факт хорошо согласуется с ранее заявленным утверждением, что при использовании данных самообучения весьма вероятна опасность появления ошибок типа "пропуск цели". Выйти за пределы замкнутого круга, который создается при региональном

подходе к прогнозу сейсмотектонического потенциала не удастся с применением любой методики, основанной на обучении по сейсмологическим данным.

### 5.2.3. Сейсмотектонический потенциал ( $M_{\max}$ ),

вариант внерегионального подхода

Выход может быть найден только на пути применения внерегиональной методики оценки сейсмотектонического потенциала. Его единственное отличие от описанного регионального — привлечение к анализу сейсмологических данных по всей совокупности регионов, для которых была проведена типизация земной коры.

Из 560 типов земной коры, развитых в пределах изученной области, и характеризующих различные сейсмотектонические обстановки, 360 являются обучающими. Имеется в виду, что на площади одной или нескольких из "ячеек-учителей", входящих в эти типы земной коры, зарегистрированы эпицентры землетрясений.

Карта зон с различной ожидаемой максимальной магнитудой землетрясений представлена на рис. 9. Ее можно было бы считать полностью законченным результатом. Однако ряд соображений приводит к необходимости его дополнительного анализа. Дело в том, что при построении схем использовался формальный алгоритм, демонстрирующий возможности метода, позволяющего проводить детальное районирование по значениям  $M_{\max}$  и обнаруживать потенциально сейсмоопасные участки, не выявляющиеся при применении традиционных подходов.

Вместе с тем следует иметь в виду и определенные ограничения, накладываемые на применение такого строго формального алгоритма.

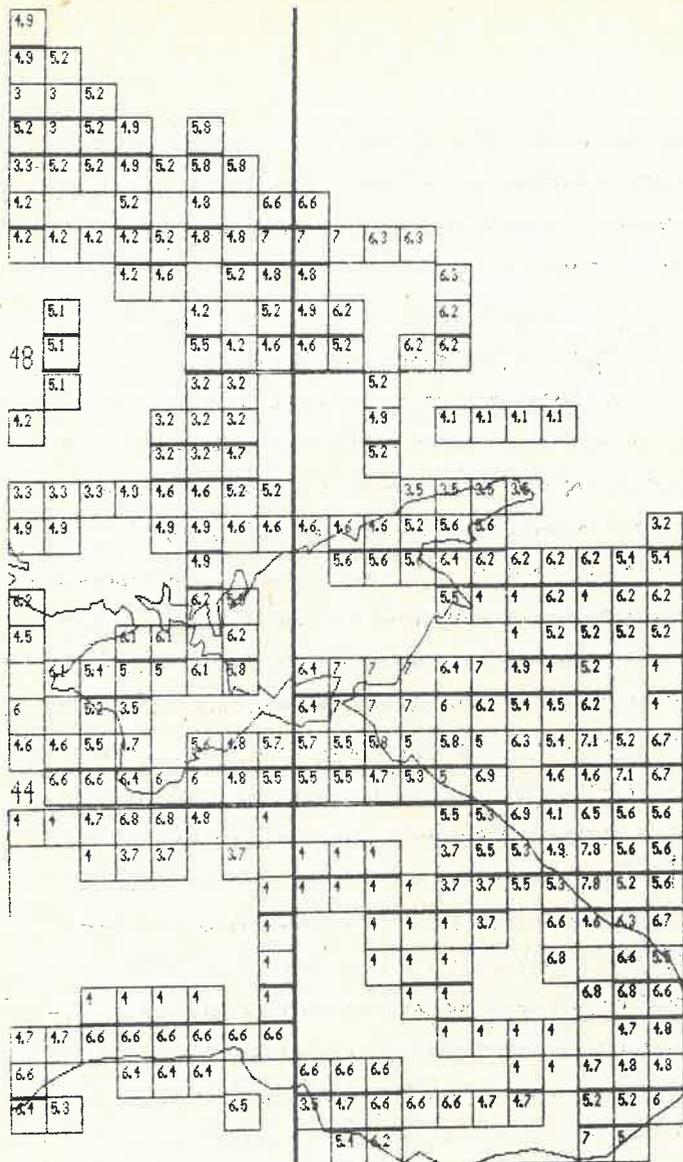


Рис. 9. Распределение зон с различной  $M_{max}$ , вариант внерегионального подхода (фрагмент). Цифрами обозначена прогнозная  $M_{max}$  для данной элементарной ячейки.

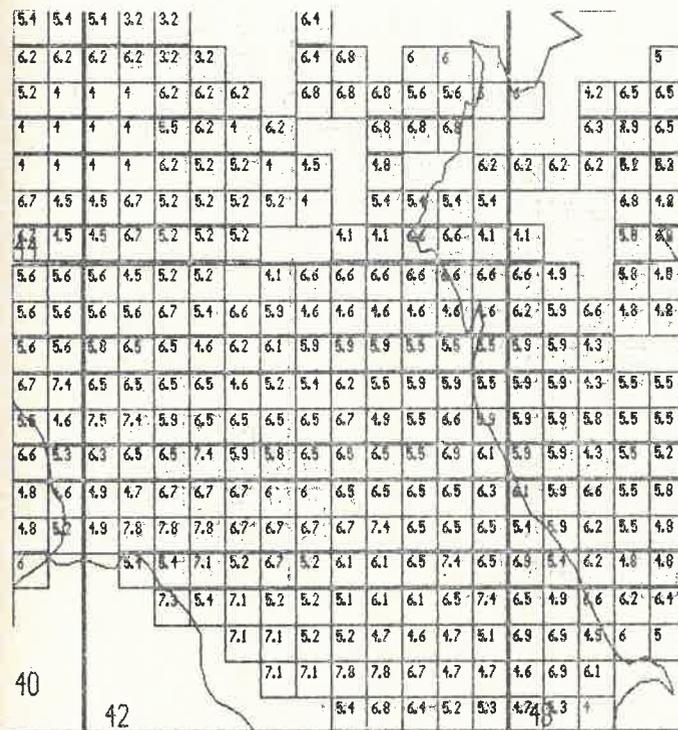


Рис 9. (продолжение)



вариантов весьма велико. В связи с этим мы сочли необходимым проведение ретроспективного анализа схемы рис. 9, которая была составлена с применением указанных формальных правил. Мы полагали при этом, что сам результат достаточно точно указывает, в каком направлении следует вести анализ.

Дело в том, что есть з нем нечто, расходящееся с привычным для опытных специалистов в области сейсмологии и сейсмостектоники представлением о потенциальной сейсмической опасности так называемых "слабоактивных" областей. Имеется в виду Евсская, Скифская и Туранская плиты, с входящими в них структурами более высокого ранга (например, Прикаспийской синеклизой), в пределах которых прогнозируются зоны с  $M_{макс} \geq 6.0$  (рис. 9). Этими случаями и следовало заняться в первую очередь, имея в виду проверку "ячеек-учителей" на право быть обучающими для данного типа коры.

При такой проверке принимались во внимание некоторые положения, совокупность которых определяло принимавшееся решение. Из их числа в качестве главных назовем следующие:

1. Сейсмическая история данного типа коры по сведениям о землетрясениях, известных для всей совокупности входящих в него ячеек.
2. Представительность данного типа коры, под которой понималось общее количество входящих в него ячеек.
3. Локальная сейсмостектоническая ситуация в ассоциации ячеек, среди которых должен быть сделан выбор.

В общем случае при принятии решения предпочтение в спорных случаях отдавалось тем из соседствующих ячеек, которые принадлежат

типам коры с богатой сейсмической историей (в других ячейках этого же типа коры зарегистрировано большое количество эпицентров землетрясений и магнитуда некоторых из них близка к отмеченной для спорной ячейки); которые менее представительны (в особенности на территории так называемых "слабоактивных" областей); которые включают разрывные нарушения более низкого ранга (наиболее крупные).

На основании проведенного анализа в Рабочий каталог землетрясений вводились соответствующие поправки, после чего проводился новый цикл обучения и экстраполяции его результатов на площади. Этот этап работы под названием "коррекция" может быть проведен не один, а несколько раз. При таком подходе мы стремились избежать ошибок типа "ложная тревога", когда данный тип коры, например, включает несколько десятков ячеек, а в их пределах известно всего лишь одно древнее сильное землетрясение.

Применительно к Крымско-Кавказскому региону коррекция была проведена для небольшого количества "ячеек-учителей", принадлежащих типам коры 2, 68 и 206. Они широко представлены в традиционно считавшихся "слабосейсмичными" районах Прикаспийской впадины, северной части Терско-Сулакского прогиба, Азовском море.

Учителем для типа коры 68 была ячейка с Дагестанским землетрясением 1970 года с  $M=6.6$ . В соответствии с этими данными широкая полоса Прикумских поднятий субширотного простирания к северу от Терско-Каспийского прогиба получила прогнозную оценку  $M_{макс}=6.6$ . В этом районе, однако, не известна сколь-либо существенная сейсмичность и отсутствуют выразительные сейсмостектонические критерии. Поэтому оценивать столь высоко

сейсмоструктурный потенциал этой области можно лишь при условии твердой уверенности в том, что землетрясение произошло в ячейке с типом коры 68. По сейсмологическим данным, однако, эпицентр этого землетрясения находился на границе между ячейками с типами коры 68 и 192, а рядом расположена ячейка с типом коры 179. Собственный сейсмический потенциал типа коры 68 значительно ниже, чем у типов 179 или 192: во всех 14 ячейках, входящих в него, зарегистрированы еще лишь 2 землетрясения с  $M = 4.1$  и  $4.4$ . В противоположность этому в 5 ячейках типа коры 179, например, зарегистрированы землетрясения с  $5.0 < M < 6.9$ . Учитывая приведенные соображения, мы сочли возможным предположить, что эпицентр рассматриваемого землетрясения скорее всего располагался в пределах одной из соседних ячеек, входящих в типы коры 179 либо 192. Окончательный выбор в пользу первого диктовался тем, что тип коры 192 встречается, кроме Восточного Кавказа, еще и в Прикаспийской впадине. А распространение на эту территорию столь высоких прогнозных значений  $M_{\max}$  (требующее серьезных обоснований) вновь вернет нас к необходимости решать ту же задачу сначала (по отношению к другому типу коры).

Для типа коры 68 в результате "ячейкой-учителем" остается та же, но она получила оценку  $M_{\max} = 4.4$ , известную по данным о другом землетрясении, эпицентр которого располагался в ее пределах. В соответствии с этим, в откорректированном варианте схемы сейсмоструктурного потенциала область развития типа коры 68 в зоне Прикумских поднятий имеет прогнозную  $M_{\max} = 4.4$  (рис. 10). Вместе с тем (может быть не совсем логично) исходная оценка сейсмического потенциала в зоне эпицентра Дагестанского

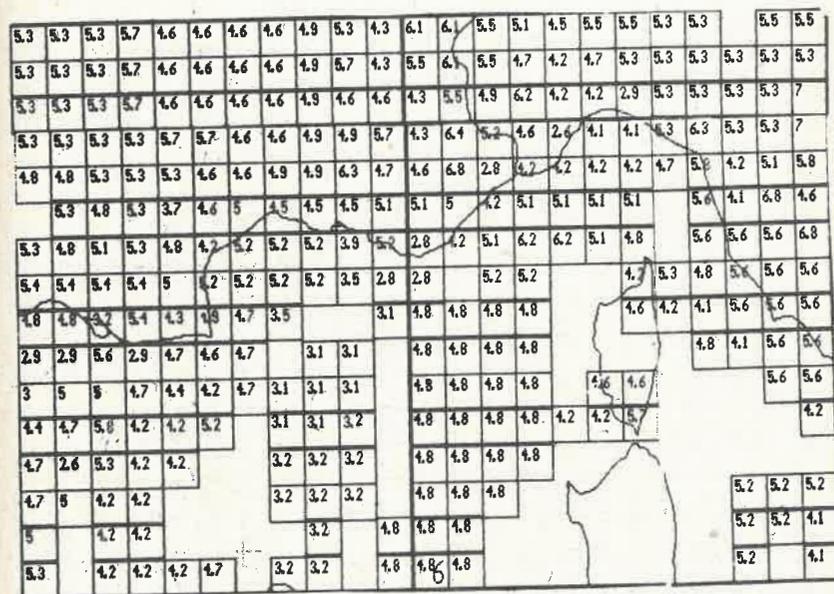


Рис. 10. Распределение зон с различной  $M_{\max}$  после проведения коррекции. Цифрами обозначена прогнозная  $M_{\max}$  для данной элементарной ячейки.



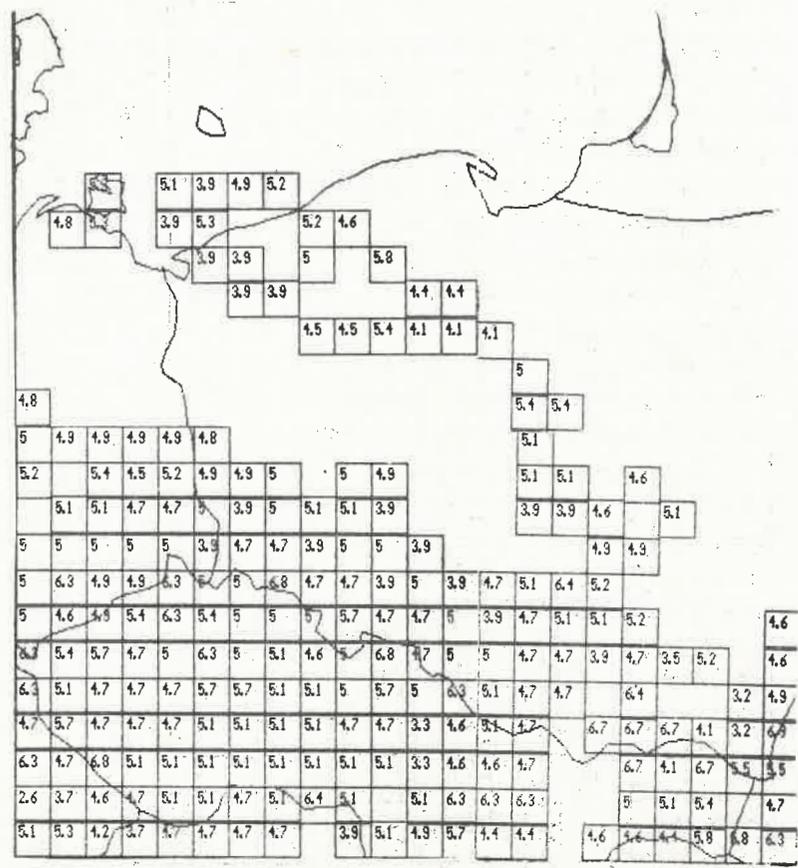


Рис. 10. (продолжение)

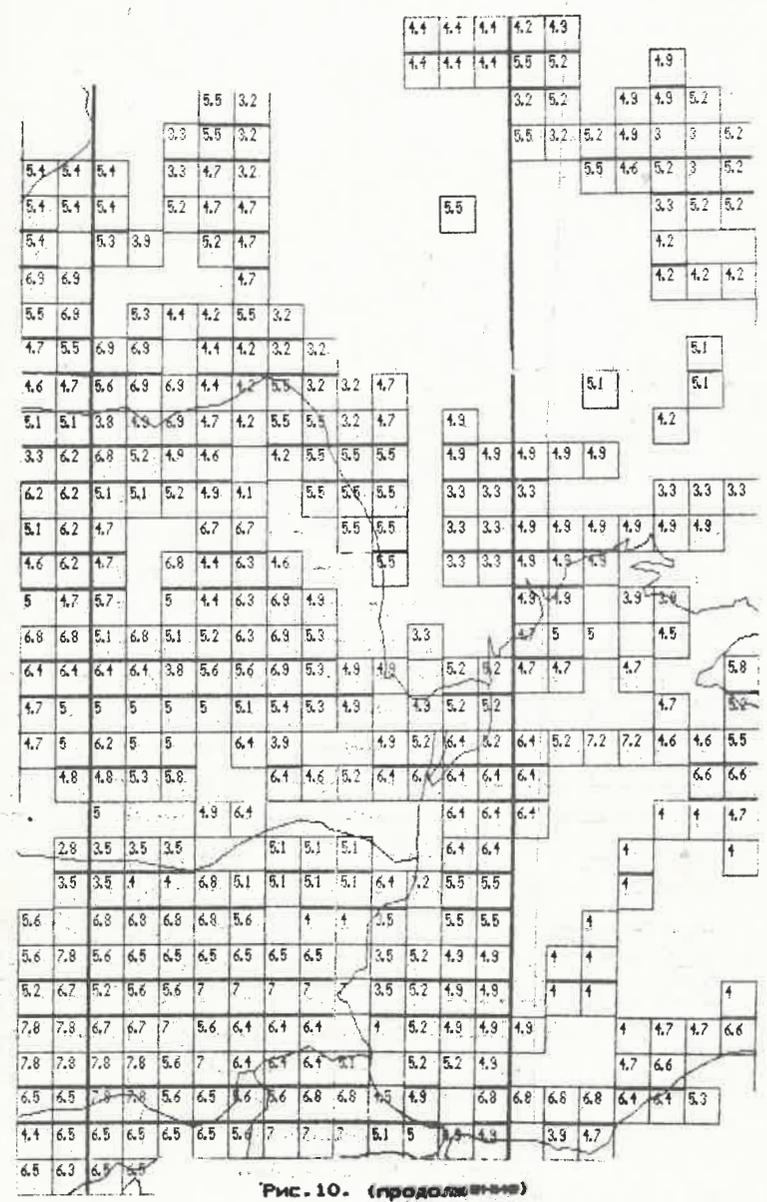


Рис. 10. (продолжение)





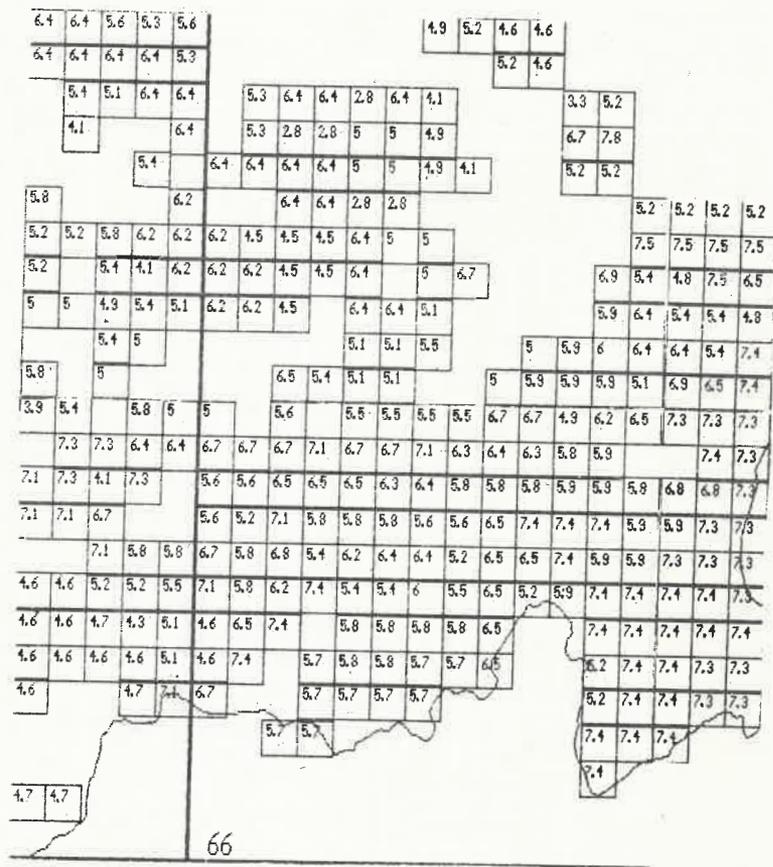


Рис. 10. (окончание)

землетрясения осталась прежней, где тот же тип коры 68 имеет  $M=6.6$ .

$M_{\max}=6.2$  для типа коры 206 определена по данным о землетрясении 1986 г. на Каспийской акватории. Соответствующую оценку получила широкая полоса в южной части Прикаспийской впадины, в пределах которой представлен тот же тип коры. В других ячейках, принадлежащих этому же типу коры, только по данным Эдинбургского каталога [62], которые для территории нашей страны не учитывались в данной работе, известны всего два эпицентра ( $M=4.1$  и  $5.1$ ). На этом основании было принято решение, что эпицентр землетрясения 1986 г. связывается с соседней ячейкой, принадлежащей типу коры 357, в пределах которой располагается эпицентр другого землетрясения 1989 г. с  $M=6.5$ .

$M_{\max}=5.6$  для типа коры 2 определена по данным о Судакском землетрясении 1869 г. Кроме него собственная сейсмичность этого типа коры, включающего 15 ячеек, оценивается всего тремя событиями  $M_{\max}=4.1$ . Поэтому целесообразно отнести эпицентр Судакского землетрясения в соседнюю ячейку с другим типом коры. Для типа коры 2 оценка  $M_{\max}=4.1$  сделана по данным о последнем землетрясении 1990 года. В соответствии с этим и субширотная полоса в Азовском море на откорректированном варианте имеет те же значения  $M_{\max}$  (рис. 10).

Были также рассмотрены данные об "ячейках-учителях", принадлежащих типам коры 383 ( $M_{\max}=7.0$ ), 48 ( $M_{\max}=6.1$ ), 78 ( $M_{\max}=6.8$ ), 181 ( $M_{\max}=6.7$ ), 219 ( $M_{\max}=7.1$ ), 13 и 212 ( $M_{\max}=6.2$  и  $6.1$ ).

Подобным же образом были откорректированы данные об

ячейках-учителях и пересмотрены оценки сейсмостектонического потенциала для типов коры Западного и Центрального суперрегионов (10, 13, 18, 24, 25, 62, 78, 297, 212, 226). Однако имеются случаи, в которых такую коррекцию при всем желании провести невозможно (в частности для типов коры 213,  $M=7.3$  или 14,  $M=6.4$ ).

Еще одно замечание, связанное с проведением коррекции. В пределах изученной области, в том числе и в Центральном суперрегионе, довольно распространены случаи, когда главный толчок того или иного землетрясения и его сильнейшие афтершоки располагаются в ячейках, принадлежащих разным типам коры. В этом случае принималось решение, в соответствии с которым афтершок землетрясения не мог использоваться в качестве материала для обучения. Иными словами, на все ячейки, входящие в тип коры, с которым связано появление афтершока, зарегистрированная его магнитуда не распространялась. Обучающим для такого типа могло служить лишь "собственное" максимальное землетрясение, даже несмотря на то, что его магнитуда была меньше отмеченной для афтершока. Вместе с тем на итоговой схеме сейсмостектонического потенциала в ячейках этого типа коры, сохранялось значение максимальной магнитуды зарегистрированного афтершока по факту события, реально происшедшего в ассоциации с главным толчком. По указанным причинам из списка "ячеек-учителей" были исключены принадлежащие типам коры 45, 93, 113, 210, 512, в пределах которых располагались эпицентры афтершоков Газлийского, Черногорского (в Югославии), Крымского и Каратагского землетрясений.

Несмотря на проведение коррекции не удалось полностью ликвидировать появление в пределах "слабоактивных" территорий зон

с высоким значением  $M_{\max}$ . В особенности это относится к таким, как акватория Каспийского моря и, главным образом, Прикаспийская впадина (рис. 10). В последнем случае это обусловлено тем обстоятельством, что здесь представлены типы коры 14 и 213, на территории "ячеек-учителей" для которых располагались эпицентры землетрясения с  $M_{\max}=6.4$  и  $7.3$ , соответственно. Нам представляется, что к такому прогнозу не следует относиться как к невероятному. Специалистам достаточно хорошо известно, что в пределах так называемых "слабоактивных" территорий с весьма невысокой повторяемостью, но все-таки время от времени происходят довольно сильные землетрясения [1]. В связи с этим полностью отрицать возможность возникновения в будущем аналогичных событий вряд ли оправдано.

Представляется в связи с этим, что такие землетрясения как Ташаузское (Хорезмское), в Камне на Оби, Газлийское и некоторые другие, лишней раз убеждают в правомерности сделанных заключений. Более того, авторы отлично понимают, что коррекция была проведена ими вразрез с мнением специалистов-сейсмологов, имевших вероятно основания для того, чтобы указать в каталогах соответствующие параметры для вошедших в них землетрясений (в том числе и их координаты), хотя и с определенными оговорками. Поэтому, составленная по результатам тотального обучения схема сейсмостектонического потенциала даже в скорректированном виде (рис. 10), имеет пока такое же право на существование, что и аналогичные схемы, не учитывающие данные коррекций (рис. 9). Это замечание не относится, естественно, к той ее части, которая касается афтершоков.

В результате проведения коррекции получен новый вариант схемы сейсотектонического потенциала (рис.10). На нем зоны с  $M_{\max} \geq 6$  уже отсутствуют в пределах синеклиз: Аквитанской, Парижской, Польско-Германской, в Днепровско-Донецкой впадине, на значительной части обрамления Прикаспийской впадины. В целом оценки  $M_{\max}$  названных структурных элементов на схеме сейсотектонического потенциала не выглядят столь экстремальными, однако в ряде случаев высокие прогнозные оценки  $M_{\max}$  все же остались. Это связано с тем, что у нас отсутствовали мотивы для переоценки положения ряда эпицентров землетрясений, например, Гаэлийского или Чилийского, определявших появление зоны высокого прогнозного сейсмического потенциала в северо-западной бортовой части Прикаспийской впадины.

### 5.3. Другие подходы к оценке сейсотектонического потенциала

( $M_{\max}$ )

#### 5.3.1. Парагенезисы типов земной коры и сейсотектонический потенциал

Проведенное районирование по типам земной коры (рис.1) показало, что в его рамках отмечается дезинтеграция крупных традиционно выделяемых тектонических структур на отдельные элементы, распределенные в пространстве казалось бы хаотично. Однако наряду с этим выявились и устойчивые сочетания из нескольких типов земной коры (парагенезисы), повторяющиеся в разобленных территориально регионах (рис.11). Они в ряде случаев совпадают пространственно с положением очагов сильных землетрясений с  $M \geq 6.0$ . Такое совпадение вряд ли случайно — оно

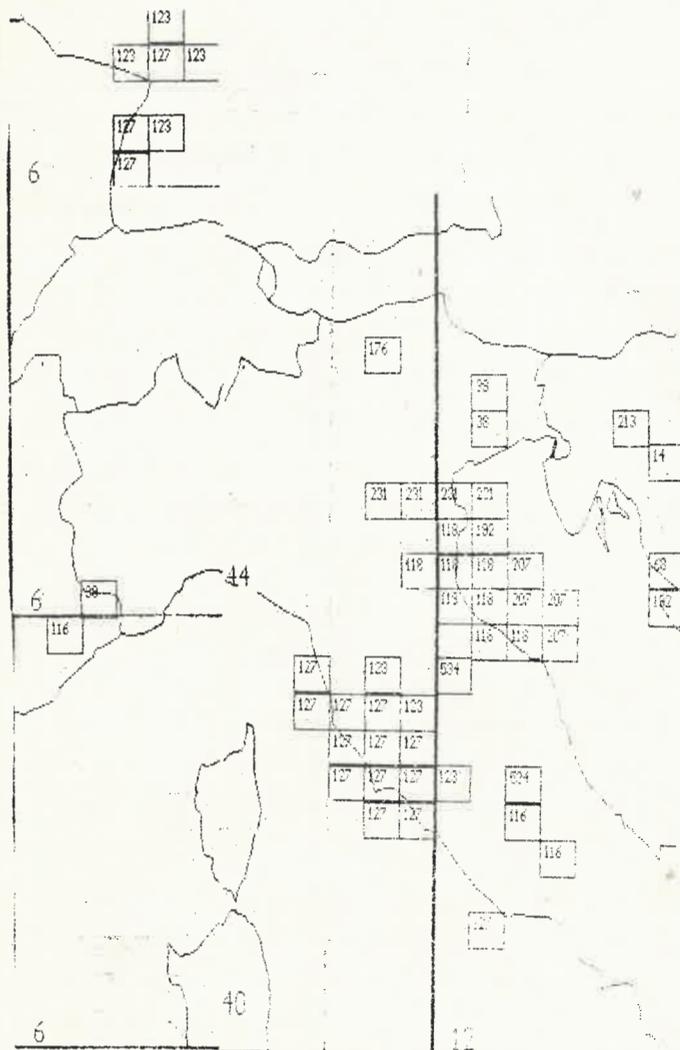


Рис.11. Пространственное распределение высокосейсмичных парagenезисов земной коры. Цифрами обозначены типы земной коры в соответствии с данными рис.1 и 10. А — регионы Центральной Европы.



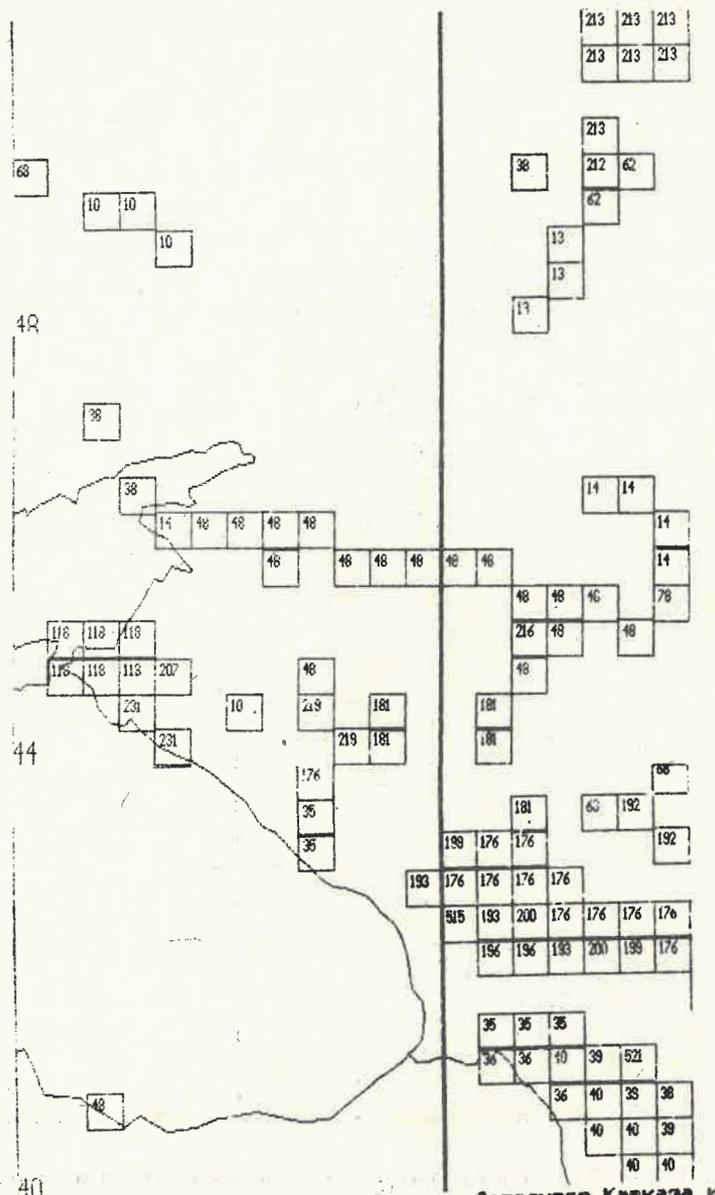


Рис. 11. (продолжение). Г - Регионы Западного Кавказа и смежных областей Русской платформы

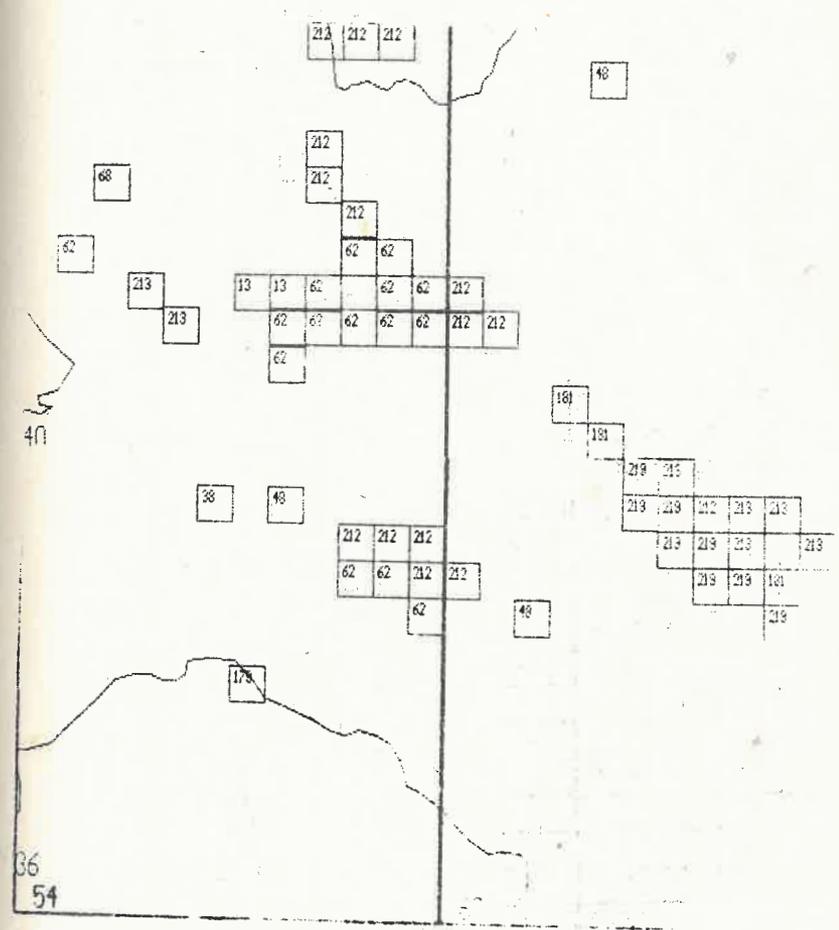


Рис. 11. (продолжение). Е - Регионы Туранской плиты



отражает, вероятно, какие-то специфические условия, благоприятные для генерирования и освобождения сейсмической энергии. Иными словами, отмеченные парагенезисы типов земной коры представляют, по-видимому, их геолого-геофизическую модель.

Если это справедливо, открывается возможность прогнозировать сеймотектонический потенциал, используя сведения о таких парагенезисах. Оправданность такого подхода обоснована тем, что очаг крупного землетрясения ( $M \geq 6$ , по крайней мере) занимает площадь, превосходящую размеры одной элементарной ячейки, в пределах которой находится его эпицентр.

Выделяемые парагенезисы могут быть нескольких видов. Один из них, наименее спорный с точки зрения подхода в целом: эпицентры землетрясений располагаются в ячейках каждого из образующих его типов коры. Другие с тех же позиций менее очевидны. Например, в парагенезисе эпицентры землетрясений располагаются в ячейках, принадлежащих только одному типу коры. Или третий случай: в парагенезисе эпицентр землетрясения расположен в ячейке одного из составляющих его типов коры, не соседствующей непосредственно с ячейкой другого типа. Наконец, четвертый случай: парагенезис состоит из типов коры, в которых известны сильные землетрясения, но только в других парагенезисах.

Парагенезисы, как правило, распространены в паре суперрегионов, и чаще всего в пределах Центрального и Восточного. Редко выявляются парагенезисы, представленные и во всех трех суперрегионах. Один из них образует пара типов коры 35 и 521. В Западном суперрегионе он приурочен к очагу Струмского землетрясения (эпицентр располагается в ячейке с типом коры 35); в

Центральном он выявлен на Малом Кавказе (с типом коры 521 связан эпицентр землетрясения 427 г. с  $M=6.7$ ), а в Восточном — располагается в пределах Ферганского хребта (с типом коры 521 связывается эпицентр Джамбульского землетрясения с  $M=5.7$ ). В пределах Малого Кавказа и Ферганского хребта парагенезис дополняется типом коры 38.

Другой парагенезис состоит из типов коры 14 и 78. В Западном суперрегионе он развит в юго-западных Динаридах (с типом коры 78 связано землетрясение 1866 г. с  $M=6.8$ , а с типом коры 14 — 1926 г., с  $M=5.8$ ). В Восточном суперрегионе тот же парагенезис отмечен в осевой зоне Сырдарьинской впадины, где формирует протяженную полосу юго-восточного простираения. Именно к ней приурочена серия Чиилийских землетрясений 1929 г. с главным толчком с  $M=6.4$ .

Третий парагенезис, представленный во всех трех суперрегионах, состоит из типов коры 14 и 48. Он распространен в Южных Карпатах, Приазовье и особенно в Сырдарьинской впадине.

Следующий парагенезис состоит из типов коры 13 и 62, которые в Западном суперрегионе образуют зону на Динарском побережье Адриатики, где произошло землетрясение 1809 г. с  $M=6.3$  (тип коры 62), в Центральном — в северном Прикаспии, а в Восточном — в Амударьинской впадине.

Остальные парагенезисы представлены только в каком-то одном или двух суперрегионах — Западном и Центральном, последнем и Восточном. Не установлены парагенезисы, которые бы встречались одновременно только в Западном и Восточном суперрегионах.

Специфические парагенезисы Западного суперрегиона представлены типами коры 13 и 14, 116 и 534, а также 123 и 127. С первым на

Карпатах связан эпицентр землетрясения 1903г. с  $M=6.2$  (тип коры 13). Со вторым - землетрясение  $M=6.6$  1918 г. в Апеннингах (тип коры 116), а в Паннонской впадине - землетрясение 1590 г. также с  $M=6.6$  (тип коры 534). С третьим - Пишкельское землетрясение с  $M=6.8$  (тип коры 123). Он развит и в районе Рейнского грабена, где с типом коры 123 связано землетрясение с  $M=5.1$ .

К парагенезисам Западного и Центрального суперрегионов относятся состоящие из следующих типов коры: 118, 207 и 231, 68 и 192, 10 и 179.

В относительно сходных тектонических условиях - зонах перехода от континентальных структур к акваториальным - располагаются в двух районах парагенезисы, образованные типами коры 118, 207 и 231. Один из них - в районе северо-западной Адриатики и прилегающих частей Паданской впадины и Апеннин. Здесь зафиксировано несколько землетрясений с  $M=6.0$  и одно - с  $M=6.0$ , связанное с типом коры 207 (1930г.). Тот же парагенезис представлен в Керченской-Таманской зоне и прилегающих участках акваторий Азовского и Черного морей. Здесь с типом коры 118 связано Пантикапейское землетрясение с  $M=7.0$  63г. до н.э., а с типами коры 207 и 231 - землетрясения с  $M=5.1$  и  $5.5$ , соответственно.

На северном погружении Восточного Кавказа и в ряде мест западной части акватории Каспийского моря развит второй парагенезис из типов коры 68 и 192, с которым связан очаг Дагестанского землетрясения с  $M=6.6$ . Он же выявлен и в прибрежной части Динарид.

В Восточных Карпатах и на Восточном Кавказе представлен третий

парагенезис, образованный типами коры 10 и 179. В Карпатах с ним связаны сильные, но глубокие землетрясения, а также ряд коровых с  $M=4.0-5.0$ . На Кавказе для них характерны землетрясения с  $M=5.0-7.0$ .

Несколько парагенезисов выделяется в пределах Центрального и Восточного суперрегионов. В пределах последнего один из них (из типов коры 48, 181 и 219) представлен в зоне сочленения Байсунского антиклинория и Мургабского прогиба, где с ним связаны очаги Керкинского (тип коры 219) и Кыз-Ажского (48) землетрясений с  $M=7.1$  и  $M=6.1$  соответственно. Тот же парагенезис развит несколько севернее, а в Центральном суперрегионе - в районе Ставропольского свода.

Менее полные парагенезисы этого вида состоят из типов коры 48 и 181 или 181 и 219. В Восточном суперрегионе к северо-востоку от очагов Керкинского и Кыз-Ажского землетрясений протягивается протяженная полоса, примыкающая к Газлийскому очагу (типы 181 и 219). В Центральном суперрегионе другой парагенезис (типы 48 и 181) развит на восточном обрамлении Ставропольского свода.

Еще один парагенезис из типов коры 176 и 181 развит в пределах северо-западного и центрального Кавказа (где с типом коры 176 связано Мишленское землетрясение с  $M=6.5$ ), а также в Южном Тянь-шане (где со вторым типом коры парагенезиса связано Ура-Тибинское землетрясение с  $M=6.7$ ).

Парагенезисы из типов коры 14 и 78, 14 и 48 образуют в двух разобщенных суперрегионах (в пределах вала Каргинского и в Сыр-Дарьинской впадине), тесные пространственные ассоциации. И, наконец, с типом коры 48 и 216 образует парагенезис, развитый в

Предкавказье и Предташкентском прогибе.

Особого внимания заслуживает парагенезис типов коры 193 и 196. На Памире с ним связана единая зона очагов Хаитского и Арганкульского землетрясений с  $M=7.4$  и  $M=6.5$  соответственно. На Западном Памире и в прилегающих частях Афгано-Таджикской депрессии этот парагенезис образует зону, в пределах которой распространены также типы коры 176, 199 и 200. В таком же сочетании эти типы коры встречаются также и на Большом Кавказе почти на всем протяжении его южного склона. На Кавказе с типом коры 193 связаны Тебердинское и Чхалтинское землетрясения с  $M=6.4$ , а также Рачинское 1991 г. с  $M=7.1$ , а с типом коры 196 - Закавказское землетрясение с  $M=5.3$ .

Парагенезис типов коры 36, 39 и 40 распространен в Центральном и Восточном суперрегионах. В пределах Малого Кавказа он образует обширную зону, к которой относится очаг Спитакского землетрясения с  $M=7.1$ . В Восточном суперрегионе он же выявляется только в одном районе Байсунского антиклинория Афгано-Таджикской депрессии. В этих же суперрегионах встречается и парагенезис типов коры 36 и 511. На Малом Кавказе со вторым типом коры связано Гянджинское землетрясение с  $M=6.8$ , а в Средней Азии - землетрясение с  $M=5.3$ .

Последний парагенезис, встречающийся как на Кавказе, так и в Средней Азии, составляют типы коры 515 и 196. О землетрясении, связанным с типом коры 196, уже упоминалось; со вторым ассоциируется Чаткальское с  $M=7.5$ .

Парагенезисы Восточного суперрегиона образованы типами коры 212 и 213, а также 62 и 212. Первый представлен в районе Газлийского очага и в северо-западной прибортовой зоне Прикаспийской впадины

(с типом коры 213 связан главный толчок Газлийского землетрясения с  $M=7.3$ ). Второй развит в обрамлении западного Прикаспия, в Приаральских структурах и Аму-Дарьинской впадине, где с типом коры 212 связывается эпицентр Хорезмского землетрясения с  $M=6.1$ .

Среди типов коры, образующих рассмотренные парагенезисы, некоторые входят только в один (например, 35, 40, 118, 207, 515), тогда как остальные - в состав нескольких (например, 14, 48, 62, 181, 212). Вместе с тем только меньшая часть элементарных ячеек определенных типов коры (в частности, типов 118, 219) встречаются только в парагенезисах, тогда как большая распространена и самостоятельно (типов 35, 40, 123, 127 и др.).

Если эти предположения верны, то возникает возможность оценивать сейсмоструктурный потенциал по максимальной магнитуде землетрясения, зарегистрированной в данном парагенезисе, распространять эту оценку на все входящие в него типы коры, считая ее прогнозной для всех мест, где данный парагенезис представлен.

В соответствии с этой логикой можно прогнозировать  $M_{max}$  для многих потенциальных очагов, расположенных во всех трех суперрегионах. И этот прогноз будет существенно выше того, который давался для отдельных типов коры. К числу таких мест могут быть отнесены участки Польско-Германской впадины, Рейнского грабена, прибрежные части Тирренского и Адриатического морей, северо-западные районы Прикаспийской впадины, южный склон Большого Кавказа, части Ставропольского свода Предкавказья, Мангышлак, район Бухарской ступени, участки Аму-Дарьинской и Сыр-Дарьинской впадин.

Изложенный подход пока не доведен до полной реализации. Однако

он представляется перспективным и заслуживает дополнительной проработки в будущем.

### 5.3.2. Оценка сейсмотектонического потенциала с учетом группирования типов земной коры

Проведенное ранее районирование по типам земной коры и их группам (см. рис. 1 и 2) имеет и определенный прикладной аспект, связанный с сейсмотектоническим потенциалом. Оно помогает установить ареалы, которые являлись источниками учебного сейсмологического материала для выделения зон с различной  $M_{макс}$  (рис. 8-10).

Действительно, регионы, в пределах которых преобладают типы коры - "эндемики" (рис. 2), являются "непроницаемыми" для обучения сейсмологическими данными извне. Они могут обучаться только по собственным землетрясениям и соответственно их  $M_{макс} = M_{локл}$ . В регионах, где повсеместно или ограниченно развиты другие группы типов земной коры, прогнозные оценки их  $M_{макс}$  будут существенно отличаться от  $M_{локл}$ . Очевидно, что зоны распространения типов коры "западной группы" не поддаются обучению из пределов Центрального и Восточного суперрегионов; аналогичным образом области развития типов коры "восточной" группы невозможно обучить на сейсмологических данных Западного суперрегиона; "орогенная" группа типов коры не может давать обучающий материал для зоны распространения типов коры, принадлежащих "платформенной" группе и наоборот. С этой точки зрения интересной является "независимая" группа типов земной коры, пользующаяся (в противоположность группе "эндемиков") повсеместным

распространением. Именно благодаря типам коры этой группы и появляется возможность "навести мосты" в оценке  $M_{макс}$  между структурами разной тектонической принадлежности, и, в частности, оценить сейсмотектонический потенциал так называемых "слабо активных" территорий.

Промежуточный характер имеют другие разновидности "трансрегиональной" группы типов коры. "Орогенная" и "платформенная" объединяют в единые "учебные" массивы орогенные и платформенные территории всех трех суперрегионов.

С другой стороны, по данным районирования (рис. 2) также возможно оценить уровень сейсмотектонического потенциала. При его районировании мы исходили из того, что в пределах области развития данной группы типов коры оценка  $M_{макс}$  должна соответствовать максимальной магнитуде эпицентра землетрясения, зарегистрированного в пределах ячейки, принадлежащих любому типу коры из этой группы. Например, в пределах Украинского шита распространено несколько типов коры из группы "эндемиков", а максимальная магнитуда землетрясения в области распространения только одного из них составила  $M_{локл} = 5.2$ . Эту оценку мы распространили на всю территорию Украинского шита, в пределах которой представлены типы коры, входящие в отмеченную группу. Она тем не менее не распространяется на область развития той же группы типов коры - "эндемиков" в других областях, например на Черноморской или Тирренской акватории, для которых обучение проводилось по своим данным.

Таким образом, возможно дать некоторую обобщенную и в значительной степени условную оценку  $M_{макс}$  на региональном

уровне для структур, отличающихся между собой в зависимости от распространенных в их пределах групп типов коры. Такие оценки будут весьма грубыми как по степени их пространственной дифференциации, так и по их уровню. Это обусловлено тем, что каждая группа объединяет некоторую ассоциацию типов коры, которые имеют свой уровень прогнозных значений  $M_{макс}$ .

Рассмотренные данные едва ли возможно сегодня использовать в практике, например, в интересах сейсмического районирования. Этой задаче в гораздо большей степени отвечает описанное ранее районирование с использованием не групп, а отдельных типов коры (рис. 10). Тем не менее проведенный анализ не бесполезен. С одной стороны, он помогает понять, из каких источников было проведено обучение данных типизации коры по сейсмологическим материалам. С другой — дает повод в дальнейшем более тщательно проанализировать возможности определения  $M_{макс}$  регионов на качественно ином внерегиональном уровне.

#### 5.4. Обсуждение результатов

В работе изложен новый в методологическом и методическом отношении подход к выделению зон с различным сейсмотектоническим потенциалом ( $M_{макс}$ ), реализованный в полном объеме. Его отличие от других (в том числе применявшегося при составлении последней карты сейсмического районирования страны — [49]) состоит в следующем:

привлечении к анализу исходных данных, характеризующих современную структуру и состояние земной коры (наиболее приближенных по месту и времени действия к условиям, в которых

развивается сейсмический процесс), исключении из их числа всех сейсмологических материалов (А-10, М и т.д.), которые являлись предметом исследования и ограничении числа исходных параметров до необходимого, но достаточного для работы в обзорном масштабе минимума;

высокой детальности анализа (поскольку все виды исходной, промежуточной и итоговой информации привязаны к ограниченному размерам элементарных ячеек);

широких возможностях использования подходов и процедур с применением ЭВМ, в том числе процедуры кластерного анализа.

Все перечисленное впервые позволило реализовать сейсмотектонический подход к выделению зон с различной  $M_{макс}$  на внерегиональном уровне. При этом в совместное рассмотрение и анализ включался не один регион (тем более не часть его), не семейство сходных в тектоническом отношении регионов (например, принадлежащих альпийскому складчатому поясу), а более широкая ассоциация разнородных в этом смысле структур различного ранга, возраста и генезиса на уровне континентов и крупных их частей.

На этой методологической особенности работы следует остановиться подробнее, поскольку именно она вызывает наибольшие нарекания со стороны коллег. Все они согласны в главном. При отсутствии настоящей теории сейсмогенеза, относительно слабой разработанности проблем тектонофизики и физики очага, невозможности на сегодняшний день выявления зон с различной  $M_{макс}$  тектоническими методами анализа в "чистом виде", единственным путем решения задачи прогноза является распознавание мест возможных в будущем землетрясений по аналогии с теми, где они уже произошли.

Чтобы заработал метод аналогий, необходимо, с одной стороны, создание унифицированной по всем показателям сейсмотектонической основы для исследуемой территории. Очевидно, что невозможно соотнести результаты сейсмотектонической типизации двух областей, в одной из которых базовыми данными были неотектонические, а в другой — геофизические (это в равной мере касается и разных методов обработки исходной информации, даже если она была изначально унифицирована). Эта проблема была решена в результате проведения типизации земной коры на комплексной основе, что позволило создать полную коллекцию сейсмотектонических обстановок всей изученной области. С другой стороны, были необходимы гарантии, что каждый член этой коллекции за доступный полный период сейсмологических наблюдений проявил себя максимальным землетрясением.

Получение таких гарантий — узловая проблема сейсмотектоники при выделении зон с разным сейсмотектоническим потенциалом. Их на сегодняшний день дать никто не может, но приближаться к решению проблемы можно разными путями. Наиболее рациональный — использование предлагаемого внерегионального подхода. Сильнейшая его сторона — использование в анализе максимально возможной по размерам коллекции сейсмотектонических ситуаций, характеризующих, если не одинаковые, то сходные с точки зрения возникновения землетрясений, условия в земной коре. Только в этом случае появляется шанс, что максимальное (или близкое ему по уровню) землетрясение хотя бы в одном из районов с данной сейсмотектонической обстановкой уже произошло.

Известно, что в пределах сейсмоактивных регионов имеются как высокоактивные, так и "слабоактивные" районы". Внутри таких регионов они рассматриваются совместно и никто не считает это неправильным. Точно такое же положение и внутри "слабоактивных" регионов. В этих условиях установление региональных рамок для проведения сейсмотектонического анализа представляется абсолютно искусственным.

И тем не менее на практике реализуются иные подходы. До сих пор работы в области выделения зон ВЗЗ с различной  $M_{макс}$  проводятся в рамках административного деления, и лишь кое-где территории для совместного анализа расширились до уровня регионов (например, в рамках Средней Азии в целом).

Осталось теперь совсем немного: совместно проанализировать разные орогенные пояса (альпийский и послеплатформенной активизации), затем рассмотреть их совместно и, наконец, провести полномасштабный анализ активных поясов и так называемых "слабоактивных" территорий. Однако существующий психологический (или какой-то иной) барьер не позволяет сделать эти шаги и переступить несуществующую черту, которая вроде бы разделяет территории в традиционном тектоническом смысле. Весь опыт сейсмотектонических исследований показывает: каждый раз, когда происходит сильное землетрясение в "неожиданном месте", специалисты утверждают, что его возможно было предвидеть, если не ограничиваться региональными рамками. Так было после Спитакского землетрясения (стало очевидно, что предвидеть его невозможно вне связи с ранее происшедшими в Анатолии и Иране); аналогично — с Гаэлийскими, Зайсанским и рядом других землетрясений, в том числе

и последним, происшедшим в 1991 г. на Большом Кавказе.

Мировоззрение в этом смысле меняется, но настолько медленно, что не поспевает за жизнью. Представляется, что мелкими шажками идти уже невозможно, а предлагаемый внерегиональный подход тем и отличен, что дает возможность немедленно оказаться на финише.

Существенным представляется различие результатов, полученных при реализации внерегионального и регионального подходов для одного и того же Центрального суперрегиона. Самое главное: эти подходы реализованы на унифицированной сейсмотектонической основе (исходные данные, метод типизации), но с привлечением различной сейсмологической информации — по всей изученной области в первом случае и только по Центральному суперрегиону — во втором. В первом сейсмотектонический потенциал суперрегиона был оценен значительно выше уровня зарегистрированной в его пределах магнитуды землетрясений, и состоялся прогноз места и силы землетрясения в Грузии в апреле 1991 года. При региональном анализе такой прогноз не состоялся, а сейсмотектонический потенциал суперрегиона был занижен в соответствии с максимальной магнитудой зарегистрированного в его пределах землетрясения. При втором подходе вообще невозможно прогнозировать события большей магнитуды. И если этот региональный уровень оказывается реально превзойденным, это всегда катастрофа. Так было и при Спитакском землетрясении 1988 года, так было и при землетрясении в Грузии в 1991 году.

Указанные расхождения — тривиальное подтверждение положения, что анализ имеет смысл проводить на внерегиональном уровне. Однако

трудности реализации внерегионального подхода еще полностью не преодолены.

Первая касается исходных геолого-геофизических данных. Совершенно очевидно, что список использовавшихся нами далеко не совершенен, и в будущем могут быть привлечены дополнительные сведения, более полно характеризующие современное строение и состояние земной коры. Имеются серьезные претензии к качеству тех данных, которые использованы и в проведенном анализе.

Вторая — процедура обработки исходных данных для проведения типизации земной коры. Она может быть усовершенствована, и в настоящее время имеются возможности улучшения использованной процедуры кластерного анализа (см. раздел 2.2).

Третья касается сейсмологических данных. Уже сильно устарел "Новый каталог..." [34] и он должен быть продолжен за счет тех событий, которые рассеяны в последовавших ежегодниках "Землетрясения в СССР" [13]. Должен быть, наконец, решен и вопрос о древних землетрясениях, выявленных по палео-, архео- и другим данным, сведения о которых буквально наводнили научные публикации [26-33, 35, 51, 52, 55], но не вошли в официальные каталоги. И, наконец, нет унифицированных каталогов для смежных с территорией страны областей, не говоря уже о более удаленных, которые, совершенно необходимы для восполнения статистики.

Все изложенное заставляет с осторожностью оценивать полученный результат в смысле его полной достоверности. В данной работе авторы скорее преследовали цель отработать методику предлагаемого подхода, апробировать ее на конкретных примерах и обозначить те трудности, с которыми связана ее реализация. Это знание позволит в будущем уточнять схемы сейсмотектонического потенциала

( $M_{max}$ ) и сделать их более надежными.

Анализ не был ограничен одним подходом к оценке сейсмотектонического потенциала. Сделаны попытки подойти к решению этой проблемы и некоторыми другими путями. С одной стороны, это возможность оценивать сейсмотектонический потенциал по максимальной магнитуде землетрясения, зарегистрированной в парагенезисах типов земной коры, представляющих собой модель очага сильного землетрясения. Полагая, что такой подход в принципе возможен, мы не довели его пока до полной реализации. Однако он представляется перспективным и в будущем необходимо вернуться к его проработке. С другой стороны — оценка этого потенциала по данным о пространственном распределении определенных групп типов земной коры. Этот результат вряд ли возможно сегодня использовать в практике, например, в интересах сейсмического районирования. Тем не менее проведенный анализ не бесполезен: он помогает понять, из каких источников было проведено обучение данных типизации коры по сейсмологическим материалам и дает повод более тщательно проанализировать в дальнейшем возможности определения  $M_{max}$  в отдельных регионах на качественно иной внерегиональной основе.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Базовой методикой, на которой основывались все наши построения, была процедура кластерного анализа. Она была реализована на ЭВМ с целью проведения типизации земной коры по комплексу исходных данных, характеризующих ее современное строение и состояние. В силу различных обстоятельств мы вынуждены были пользоваться ограниченным набором этих данных, однако он представляется все же достаточным для решения задач, которые мы перед собой ставили. Существенно, что все привлекавшиеся к анализу признаки были выражены в количественной мере: это позволяло легко сопоставить между собой исходные материалы, промежуточные и окончательные результаты независимо от того, характеризовали они разные по времени циклы наших исследований или различные по объему сферы их приложения. По той же причине полученный материал можно будет также легко сопоставить с результатами аналогичного анализа, проведенного для других областей земного шара (как континентов, так и океанов), и с материалами, полученными с использованием других независимых методов (геодезических, геохимических, математического моделирования и др.).

Оригинальная методика позволила реально, а не декларативно, осуществить именно комплексный подход при обработке исходных данных. При проведении кластерного анализа и выделении различных типов коры они "переплавлялись" вместе и каждый вид исходных данных непосредственно влиял на полученный результат.

Детальность типизации земной коры в значительной степени

зависела от того, какой шаг процедуры кластерного анализа избирается для интерпретации. В проведенном исследовании таким оказался второй, на котором было выделено 360 типов коры. Полученная типизация земной коры лишь частично совпадает с данными традиционного тектонического и неотектонического районирования. Такое совпадение в наибольшей степени характерно для платформенных территорий, не испытавших в неотектоническое время и современную эпоху наложенных процессов преобразования земной коры в связи с проявлением возбужденных режимов. Этот факт свидетельствует, что полученный результат не является случайным и подтверждает жизнеспособность применявшейся базовой методики.

Вместе с тем структуры различного ранга и тектонической принадлежности состоят из весьма различных и даже контрастных по своему содержанию типов земной коры, принадлежащих определенным их группам. Это обстоятельство адекватно отражает реальные условия, при которых в любом объеме земной коры на сравнительно коротких расстояниях по латерали и в глубину резко меняются значения признаков, принятых во внимание при проведении типизации. Оно подчеркивается широким развитием в пределах изученной области типов коры, составляющих "независимую" группу, главная особенность которой - распространение в пределах любых структур, выделяемых обычно в рамках проведения тектонического районирования. В связи с этим представляется не совсем правильным широко практикуемое выделение под одним собирательным названием типа коры, относящегося к какой-то структуре в целом ("кавказский", "карпатский", или "туранский", "мизийский" и т.д.).

Однако наряду с этим, несомненно существует и некоторые типичные

для структур разного ранга пространственные ассоциации типов коры, представленные характерным их набором. Эта индивидуальность определяется соотношением доминирующих в каждой такой структуре типов коры, принадлежащих выделенным их группам.

Отличие между суперрегионами (Западным, с одной стороны, и Центральным с Восточным, с другой) подчеркивается распространением в их пределах типичных "западной" или "восточной" групп типов коры; между поясом неотектонической активизации и смежными платформами - развитием в них, соответственно, "орогенной" или "платформенной" групп; между отдельными регионами или структурами более высокого порядка оно зависит от того, насколько широко в них представлена группа "эндемиков".

Уникальными в этом смысле являются многие акватории, в пределах части которых "эндемики" составляют около половины развитых в них типов коры, а занятая ими площадь - достигает 70% (например, Лигурийская, Тирренская и Черного моря). Аналогична в этом отношении и Русская плита. Вместе с тем для других платформ разного возраста и большинства континентальных впадин не удается найти обобщенный образ - каждая из них отличается собственным соотношением выделенных групп типов коры. Точно также и для орогенных структур характерны различные соотношения между "орогенной" и "трансрегиональной" группами типов коры.

То обстоятельство, что в пределах изученной области широко распространена "независимая" группа типов коры представляется чрезвычайно важным. Оно свидетельствует о том, что входящие в нее типы коры сформированы сходными эндогенными процессами, несмотря на то, что они принадлежат разным структурам, выделяемым на тектонических картах.

Проведение типизации земной коры на комплексной основе представляет собой вполне законченный самостоятельный цикл проведенного исследования. Использование разработанной методики создает реальные предпосылки для строгого системного феноменологического описания земной коры в целом без априорного использования геотектонических гипотез. Иными словами, реализованное районирование по типам коры было свободно от знаний и представлений о том, какие реальные связи существуют между признаками, принятыми во внимание при таком исследовании. Чтобы не оказаться под прессом идей и гипотез, мы также сознательно не включали в исходные данные материалы, характеризующие тектоническую принадлежность тех или иных структур, или описывающие современную геодинамическую обстановку. Мы провели, следовательно, типизацию без обучения. Нам хотелось особо подчеркнуть эти положения, чтобы избежать обвинений в научной предвзятости и пристрастии.

Вместе с тем эта типизация послужила той базой, на которой оказалось возможным решить и другие задачи фундаментального и прикладного характера. В первую очередь это относится к выявлению современных эндогенных режимов, определению стадий их развития и фаз активности, а также пространственно-временных соотношений их между собой и с более ранними режимами. Это новое знание о современных эндогенных режимах оказалось заложенным в результате, полученном на основе комплексного подхода к типизации земной коры. Следовало лишь найти метод извлечения этой информации.

Однако провести этот анализ без использования определенных гипотез уже невозможно. Одна из них наиболее полно разработана

исначально В.В. Белоусовым, а позже — им же с участием Н.И. Павленковой. Они писали: "...нужно принять некоторую гипотезу. В очевидности ее трудно усомниться, но нельзя упускать из виду, что это все же гипотеза... термическая активизация материала верхней мантии приводит к воздействию этого материала на кору. При этом воздействие может быть двояким: одно из них можно назвать конструктивным, другое — деструктивным. При конструктивном воздействии происходит увеличение мощности коры, ее наращивание... Деструктивное воздействие мантии на кору проявляется в областях тафrogenеза, где поверхность коры прогибается." ([4], стр. 17-18).

И действительно, первичная статистическая обработка всего исходного массива показала, что корреляция между плотностью теплового потока и мощностью земной коры отсутствует. Эти данные можно считать не противоречащими гипотезе, поскольку в ней сформулировано представление о двояком и разнонаправленном взаимоотношении этих параметров. Дальнейшее подтверждение гипотезы было получено в наших более ранних работах. По результатам районирования земной коры выделились тесно связанные пространственно ассоциации ее типов, четко обозначившие обе ветви взаимодействия теплового потока и мощности коры: конструктивную и деструктивную. В каждой из этих ассоциаций при переходе от одного типа коры к другому, связанному с ним пространственно, параллельно с ростом теплового потока происходило изменение мощности коры — ее возрастание или убывание. Чтобы выявились эти связи и необходимо было "стерильное" районирование на многопризнаковой основе, описывающей современное строение и состояние коры. Без его

проведения указанные связи так и оставались бы гипотетическими. Другая гипотеза касается тесной связи между другой парой параметров — мощностью земной коры и высотой рельефа. Ее подтверждения многочисленны и статистически оправданы: по большей части горным областям свойственны "корни гор", а глубоким депрессиям — сильно утоненная кора субконтинентального (субокеанического) типа. В конкретном виде характер этой связи описан М.Е. Артемьевым и его коллегами.

На базе этих двух гипотез были определены диапазоны значений трех указанных параметров, которые характерны для данного режима, стадии его проявления, а также фазы современной активности. После этого районирование избранной области по современным режимам свелось к чисто технической проблеме. Мы не считаем избранные нами пороги окончательными — они могут быть впоследствии изменены вследствие получения новых исходных данных и развития представлений об эндогенных режимах. Нами описан лишь первый опыт подобного анализа, который важен в принципиальном плане.

Легенда схемы районирования по современным эндогенным режимам тем не менее оказалась достаточно сложной. Это связано с тем, что в ней были учтены несколько основных свойств данного режима, отраженных в характеризующих его параметрах, выступающих в самых разных сочетаниях. Это — класс, к которому относится данный режим, стадия его проявления, фаза активности, а также класс и стадия проявления более раннего режима, на смену которому пришел современный.

Всего в пределах изученной области выделяется 39 разновидностей современных эндогенных режимов. Основных же классов всего четыре —

спокойный платформенный, и три возбужденных — также платформенный, и два — противоположной направленности воздействия на земную кору — конструктивный (орогенный) и деструктивный (тафрогенный).

Мы полагаем, что платформенный режим не может всегда относиться к категории спокойных. В своем развитии он проходит несколько фаз развития, в том числе и активную, когда тепловое возбуждение уже имеет место, однако структурные преобразования в земной коре (изменение ее мощности, высоты рельефа и т.д.) еще не произошли.

Преобладающее количество выявленных режимов описывает для всей изученной области эндогенную обстановку, соответствующую завершению неотектонического процесса. Если в период его пика, который вероятно приходился на конец плиоцена — начало четвертичного периода, площадь, занятая возбужденными режимами составляла более половины всей рассматриваемой области, то в настоящее время она сократилась до одной пятой. Чуть более трети ее, следовательно, к настоящему моменту выбыла из сферы эндогенного возбуждения, в рамках которой только и возможны процессы активного структурообразования в земной коре.

Важно также отметить, что тафрогенный режим, развивавшийся наравне с орогенным в период неотектонической активизации, резко расширил сферу своей деятельности в начале четвертичного периода, особенно за счет территории орогенного пояса. Можно даже считать, что в конце плиоцена — начале четвертичного периода имела место "малая тафрогенная неотектоническая активизация". Благодаря вмешательству этого режима в нормальное течение эндогенного цикла окончание его оказалось "смазанным". Однако этот тафрогенный режим оказался одновременно чрезвычайно агрессивным и на редкость

скоропалительным. Уже к концу четвертичного периода из сферы его активного воздействия выбыла почти четверть ранее занятой им площади. Следовательно, несмотря на активное вмешательство тафрогенеза в процесс угасания неотектонического этапа, к концу четвертичного периода все вернулось на круги своя и продолжилось развитие по ранее намеченному сценарию.

В более ранних работах нами были сделаны оценки скорости преобразования земной коры в связи с проявлением разных классов эндогенных режимов. Они также показали, что в сфере развития тафрогенного утонение коры происходит на порядок быстрее, чем наращивание ее в области проявления орогенного. Эти данные, кстати, свидетельствуют, что следует с большой осторожностью относиться к возможности ретроспективной экстраполяции "сиюминутных" геофизических данных, отражающих современное состояние и строение коры. И наоборот, при выделении современных эндогенных режимов было бы ошибочным использовать геологические, неотектонические, или геохимические данные, относящиеся ко всему новейшему этапу в целом. Пример с горными областями Западной Европы, традиционно считающимися олицетворяющими современный орогенный режим, кажется в этом отношении весьма поучительным.

Наибольший резерв для будущих структурных преобразований к настоящему времени сохранили: возбужденный платформенный режим (в том числе в пределах Скифского и Туранского регионов); тафрогенный II стадии проявления (особенно в Тирренском и Лигурийском регионах); тафрогенный, сменивший ранний орогенный (в Альпийском); орогенный (в крымско-Кавказском). Существенно, что резервы тафрогенного режима I стадии проявления к настоящему времени

оказались полностью исчерпанными.

Пространственно картина угасания эндогенной активности сильно дифференцирована. Во всех суперрегионах уменьшение площади, занятой возбужденными режимами в момент пика эндогенной активности по сравнению с настоящим временем, примерно одинаково и составляет около трети их размера. Вместе с тем оставшаяся в сфере активных эндогенных преобразований площадь распределена в их пределах весьма неравномерно. Наибольшей характеризуется Западный, меньшей — Центральный и самой небольшой — Восточный суперрегион. Если обратиться к региональному уровню, то картина еще более дифференцируется. В частности, режимы, находящиеся в настоящее время в активной фазе, развиты исключительно в пределах регионов; входящих в Западный суперрегион, причем по большей части в его западной же части.

Итак, доминирующим в течение четвертичного периода был тафрогенный режим. Во всей изученной области он проявлялся более чем на половине ее площади. При этом его роль в восточном направлении сильно уменьшалась параллельно с увеличением роли платформенного режима. Это следует хотя бы из того, что обобщенным режимом для Западного суперрегиона является тафрогенный, для Центрального — платформенный, а для Восточного — орогенный.

Та же картина фиксируется и на региональном уровне — наибольшая структурная перестройка свойственна западным регионам (в основном за счет тафрогенного режима, сменившего ранний орогенный), меньшая — центральным и восточным. Существенно отметить, что на региональном уровне не выделяется ни один регион, для которого был бы характерен обобщенный эндогенный орогенный режим. Иными словами,

во всех регионах режим этого типа присутствует в явно подчиненном положении.

Мы уже отмечали, что проведенное нами районирование по современным эндогенным режимам не очень похоже, особенно в области неотектонической активизации, на существующие схемы тектонического и неотектонического районирования. Большие различия отмечаются на всех иерархических уровнях, но пожалуй наиболее показательны на региональном. Достаточно указать, что такие регионы, как Пиренейский, Апеннинский, Альпийский или любой другой из рассмотренного горного пояса, который всегда считался (и до сих пор считается) ареной проявления орогенного режима, на самом деле в четвертичное время являлся в основном ареной проявления совершенно противоположного — тафрогенного. Эта несогласованность результатов тектонического и неотектонического районирования с предложенным нами не должна вызывать удивление. Дело в том, что в указанных случаях при проведении такого районирования именно для орогенного пояса используются существенно различные параметры. В нашем случае — это признаки, характеризующие современную структуру и состояние земной коры, а в первом и втором — историко-тектонические за гораздо большие интервалы времени.

Если быть последовательными, то современные режимы, которые в настоящий момент времени характеризуются переходной и спокойной фазами активности, должны быть квалифицированы как представляющие современный спокойный (а вовсе не возбужденный) платформенный режим. Уже неоднократно подчеркивалось, что основополагающим критерием для разделения современных эндогенных режимов является обеспеченность их энергией (что находит отражение в соответствующей

величине плотности теплового потока). Если она в настоящее время соответствует нормальному для современных платформенных структур и меньше отвечающей начальным этапам проявления возбужденных режимов (конструктивного или деструктивного), данный режим опять-таки должен быть квалифицирован как современный спокойный платформенный, совершенно независимо от того, какова была его предыстория, запечатленная в значениях каких-то других параметров, характеризующих современное строение и состояние земной коры.

Вряд ли следует напоминать, что все структуры проходят в своем развитии определенные стадии. На каждой из них происходят определенные преобразования, которые отвечают данному действующему режиму, и направлены, следовательно, на преобразование того структурного плана, который был подготовлен ранним режимом. В конце концов между эндогенным режимом, глубиной и поверхностной структурой достигается полное соответствие. Такое соответствие сложилось, вероятно, между активно действовавшим орогенным режимом, мощностью земной коры, высотой рельефа и плотностью теплового потока в рамках неотектонического горного пояса к концу плиоцена. Достижение такого соответствия является, по-видимому, и функцией времени действия данного эндогенного режима (в рассматриваемом случае — орогенного). Совершенно иная ситуация обязательно должна возникать в тех случаях, когда возбужденные эндогенные режимы сменяют друг друга в течение коротких интервалов времени, после чего территория, на которой они проявлялись, выходит из сферы эндогенного возбуждения. Именно этот случай нам и пришлось анализировать в пределах исследованной области в качестве типичного. И это означает, что всегда будут существовать

противоречия между тем режимом, который фиксируется в настоящий момент времени, и структурой, в пределах которой он проявляется. Иными словами, при указанном течении эндогенного процесса вполне закономерным является то обстоятельство, что образуется несогласованность параметров, описывающих современное строение и состояние земной коры: часть из них характеризует новый режим, часть является по отношению к нему реликтовыми. Все дело в том, на какие признаки обращать внимание при идентификации данного режима. Если на последние (реликтовые) — режим будет квалифицирован верно, но не современный, а ранее действовавший. Это и происходит, когда горный пояс продолжают считать и сегодня находящимся в сфере проявления орогенного режима. Если же опираться на признаки другой группы — режим также будет идентифицирован правильно, но как современный.

В процессе эволюции любой структуры можно выделять два основных этапа. Скрытый, в течение которого процесс переработки ранее созданной структуры под воздействием нового наложенного эндогенного режима уже начался, но не получил еще полного выражения в геолого-геофизических и геоморфологических характеристиках. И явный, когда этот новый процесс получил адекватное выражение в указанных параметрах. Если вернуться к изученной области, то ее своеобразие тем и определяется, что к настоящему времени ее часть, которая отвечает площади ранее сформированного (на неотектоническом этапе развития) горного пояса, еще не вышла из этапа скрытого структурообразования.

В пределах изученной территории выделены две группы эндогенных режимов — возбужденная и спокойная платформенная. В первую входят

три режима — платформенный, тафрогенный (оба в настоящее время могут проходить явный и скрытый этапы структурообразования), и орогенный, который (из-за длительности времени действия в течение неотектонического этапа) может проходить только явный этап структурообразования.

Хотелось бы подчеркнуть одно весьма важное различие между структурами, формирующимися в сфере проявления основных рассмотренных возбужденных режимов: орогенного и тафрогенного. В результате проявления первого создается широкий спектр разнообразных структур. Аналогичным образом дело обстоит и на начальных стадиях эволюции тафрогенного режима. Финальную же стадию проявления этого режима всегда отмечает одна и та же структура — глубоководной впадины с утоненной земной корой субконтинентального (субокеанического) типа. Кроме того, если в рамках орогенной структуры всегда возможно выявить следы ее более ранней истории развития (часто для очень больших периодов), это совершенно исключено для конечной структуры, созданной в рамках проявления тафрогенного режима. Этот режим создает "беспамятные" структуры. Не случайно в пределах глубоководных впадин практически теряются все подходящие к ним со стороны шельфа и континентального склона структурные элементы, легко прослеживающиеся в другую сторону — к континенту. Таким образом, в противоположность орогенному режиму, стремящемуся к созданию структурного разнообразия, тафрогенный приводит к формированию монотонной региональной структуры.

По представлениям В.В. Белоусова и Н.И. Павленковой (1986), формирование структур тафрогенного (лабигенного) класса не связано

с растяжением земной коры в соответствующих масштабах, а происходит в связи с ее опусканиями. Наши данные подтверждают это положение. Было показано, что в пределах изученной области тафрогенный режим очень широко распространен в горных странах. И при этом в них прекрасно сохранилась ранняя реликтовая орогенная структура и рельеф, не несущие никаких следов растяжения. Ни для границ ансамблей и ассоциаций регионов разного иерархического уровня, ни для границ между отдельными типами коры мы не имеем указаний на существование признаков растяжения, растаскивания, сближения, или латерального перенесения отдельных элементов этой ранней структуры. Представляется, что сформулированный нами ранее вывод остается в силе: вся переработка единой орогенной структуры процессами тафрогенеза происходит не путем растяжения последней, а путем захвата и вертикального перемещения отдельных ее частей, не меняющих своего пространственного положения друг относительно друга.

нам представляется, что рассмотренные материалы подтверждает еще одно общее положение, выдвинутое и обоснованное В.В.Белоусовым [3]. Речь идет о независимости возбужденных эндогенных режимов по отношению к ранее развивавшимся. В.В.Белоусов показал это по отношению к орогенному режиму, и это характерно и для изученной области: орогенный режим на неотектоническом этапе развития проявился не только в альпийском поясе (так называемый эпигеосинклинальный орогенез), но и в прилежащих к нему с севера герцинидах Западной Европы, на Скифской плите, не считая уже пояса активизации в Средней Азии (так называемый эпиплатформенный орогенез). Точно такое же положение и с тафрогенным режимом. Его

независимость проявляется в том, что он захватывает в сферу своего влияния не только области проявления раннего унаследованного платформенного (неактивизированные герциниды Западной Европы, Мизийская, Скифская и Туранская плиты), но и раннего орогенного (особенно в Западном суперрегионе).

Возможно очертить основные направления, по которым рассматриваемые исследования могут развиваться в будущем:

- адекватное изучение процессов в верхней мантии, ее взаимоотношений с земной корой в конкретном приложении к каждому классу современных эндогенных режимов, что открывает возможности рассмотрения процессов и явлений для литосферы в целом;
- использование предложенной методики для анализа областей проявления современных эндогенных режимов других классов, типов и видов как на континентах, так и в океанах; первоочередной интерес представляют области окраин континентов разного типа, а также рифтогенеза и эпиплатформенной активизации тектонических движений разного класса;
- сопоставление данных, полученных при анализе современных эндогенных процессов с материалами по более древним, изучаемым геологическими методами анализа, что открывает возможности установления общей эволюции земной коры на разных этапах ее становления;
- изучение связи современных и прошлых эндогенных режимов с явлениями и процессами, представляющими практический интерес - прогноз сейсмической опасности, распределение полезных ископаемых, рельефообразующих факторов и т.д.

Полученная нами типизация земной коры на комплексной основе

позволила также решить и некоторые задачи прикладного характера. Важнейшей из их числа мы считаем относящуюся к оценке сейсотектонического потенциала. Практически в работе изложен новый в методологическом и методическом отношении внерегиональный подход к выделению зон с различным сейсотектоническим потенциалом ( $M_{max}$ ), реализованный в полном объеме на примере всей изученной области.

Принципиальные отличия предлагаемого метода заключаются в следующем:

- использование в анализе исходных данных, характеризующих современную структуру и состояние земной коры, т.е. наиболее приближенных по месту и времени действия к условиям, в которых развивается сейсмический процесс.
- исключение из числа этих исходных данных всех сейсмологических материалов ( $A-IU, M$  и т.д.), которые являлись предметом исследования.
- привлечение новых методов создания сейсотектонической основы, в том числе процедуры кластерного анализа для проведения типизации земной коры на многопризнаковой основе.
- высокая детальность сейсотектонической основы, обусловленная тем, что все виды исходной, промежуточной и итоговой информации привязаны к элементарным ячейкам ограниченной площади.
- использование в качестве обучающих сейсмологических данные по всей обширной области, для которой была создана сейсотектоническая основа.

Все перечисленное впервые позволило реализовать сейсотектонический подход к выделению зон с различной  $M_{max}$

на внерегиональном уровне. При этом в совместное рассмотрение и анализ включался не один регион (тем более не часть его), не семейство сходных в тектоническом отношении регионов (например, принадлежащих альпийскому складчатому поясу), а более широкая ассоциация разнородных в этом смысле структур различного ранга, возраста и генезиса на уровне континентов или крупных их частей.

Достаточно очевидно, что при отсутствии настоящей теории сейсмогенеза, при относительно слабой разработанности проблем тектонофизики, физики очага, невозможности решать задачи выявления зон с различной  $M_{max}$  тектоническими методами анализа в "чистом виде", единственным путем решения последней проблемы является распознавание мест возможных в будущем землетрясений по аналогии с теми, где они уже произошли.

Эта проблема, в свою очередь, требует решения двух дочерних. Первая - получение унифицированного по всем показателям (количество исходных признаков, процедура их совместного рассмотрения и т.д.) сейсотектонического районирования исследуемой территории. После проведения типизации земной коры на комплексной основе можно было считать эту проблему решенной. Вторая - получение гарантий того, что все потенциально опасные сейсотектонические обстановки проявили себя максимальными событиями.

Эту извечную проблему сейсотектоники и предлагается решать по-новому. По результатам проведения типизации коры известно, что одна и та же сейсотектоническая обстановка неоднократно дублируется в рассматриваемой области как в одном, так и в разных регионах. Именно это дает основания надеяться на появление определенной гарантии, что максимальное землетрясение (или близкое

ему по уровню) хотя бы в одной из этих обстановок уже произошло. Это означает, что сейсотектонический анализ не имеет никакого смысла в приложении к ограниченной площади.

С другой стороны, типизация земной коры показала, что реально существует взаимопроникновение в пределы сейсмоактивных и "слабоактивных" территорий различных по площади зон, районов и областей, сходных по своим характеристикам (сходных сейсотектонических обстановок). Почему-то считается правомерным рассматривать такие "слабоактивные" территории вместе с сейсмоактивными в рамках сейсмоактивного региона в целом. Но запрещается решать ту же задачу совместно для "слабоактивных" и сейсмоопасных регионов.

Весь опыт сейсотектонических исследований показывает, что вплоть до настоящего времени этот запрет не преодолен. И по сейчас работы в области выделения зон ВЗС с различной  $M_{max}$  часто проводятся в рамках административного деления (в том числе и при составлении нормативных карт), и редко-редко такой анализ проводится на региональном уровне. Что же касается рассмотрения отдельных орогенных поясов (альпийского и послеплатформенной активизации) в целом, их совместного анализа, и тем более полномасштабного изучения активных поясов и "слабоактивных" территорий вместе, эти задачи даже и не ставятся.

Поэтому и возникает каждый раз, когда происходит сильное землетрясение в "неожиданном месте", одинаковая ситуация. Все вдруг понимает, что его можно было предвидеть, если бы были расширены территориальные рамки проведенного ранее анализа. Так было после Спитакского, Газлийского, Зайсанского и ряда других землетрясений,

в том числе и последнего, происшедшего в 1991 г. на Большом Кавказе.

Существующий непонятный барьер не позволяет исследователям сделать окончательные шаги и отказаться от привязки к традиционно-тектоническим структурам и регионам. Мировоззрение в этом смысле меняется настолько медленно, что не поспевает за жизнью. Нам представляется, что мелкими шажками идти уже невозможно, а предлагаемый подход тем и отличен, что дает возможность немедленно оказаться на финише.

Процедура выделения областей с разным уровнем сейсотектонического потенциала состояла из нескольких этапов: сбор исходной информации (геолого-геофизической и сейсмологической); составление сейсотектонической основы (проведение многопризнаковой комплексной типизация земной коры и районирование изучаемой области по типам коры); сопоставление сейсотектонических и сейсмологических данных (обучение по сейсмологическим данным); экстраполяция результатов обучения в пространстве (составление первого формального варианта схемы сейсотектонического потенциала); коррекция результата (уточнение положения эпицентров землетрясений и составление откорректированного сейсмологического каталога); повторный этап обучения на нем (составление второго варианта схемы сейсотектонического потенциала); повторная коррекция (в случае необходимости) ... и т.д.

В конкретном выражении вся процедура была реализована в варианте внерегионального подхода для всей изученной области, а варианте регионального подхода лишь для центрального суперрегиона. Существенное различие результатов еще раз подтвердило, что

сейсмотектонический анализ имеет смысл проводить только на внерегиональном уровне. Это подтверждается хотя бы тем, что прогноз места и силы землетрясения в Грузии (в апреле 1991 г.) оказался на региональном уровне невозможен, а на внерегиональном — состоялся.

Мы попытались подойти к оценке сейсмотектонического потенциала и некоторыми другими путями. Проведенное районирование по типам земной коры показало, что в его рамках появляются устойчивые сочетания из двух-трех таких типов (парагенезисы). Они повторяются в разобренных территориально регионах, присутствуя как в сейсмоопасных, так и "слабоактивных" регионах. Им в ряде случаев соответствуют очаговые зоны сильных ( $M \geq 6.0$ ) землетрясений. Такое группирование типов коры в пространстве вряд ли случайно — оно отражает, вероятно, какие-то специфические условия, благоприятные для генерирования и освобождения сейсмической энергии. Иными словами, парагенезисы, соответствующие в пространстве очагам сильных землетрясений, представляют, по-видимому, их геолого-геофизическую модель.

Используя сведения о таких парагенезисах, можно прогнозировать сейсмотектонический потенциал уже на уровне очагов. Обоснованность такого подхода обоснована тем, что очаг крупного землетрясения ( $M \geq 6$  по крайней мере) занимает площадь, превосходящую размеры одной элементарной ячейки, в пределах которой находится его эпицентр.

Если наши предположения верны, то следует оценивать потенциал очагов по максимальной магнитуде землетрясения, зарегистрированной в данном парагенезисе, распространять эту оценку на все входящие в него типы коры, а также считать ее в качестве прогнозной для всех тех мест, где данный парагенезис представлен.

В соответствии с этой логикой может быть выдан прогноз  $M_{макс}$  для многих потенциальных очагов, расположенных в различных частях всех трех суперрегионов. И этот прогноз будет существенно выше того, который давался на уровне отдельных типов коры.

Проведенное районирование по группам типов земной коры также имеет определенный прикладной аспект, связанный с сейсмотектоническим потенциалом. Оно позволяет установить адреса источников учебного сейсмологического материала, использованного при выделении зон с различной  $M_{макс}$ .

Сделана также попытка оценить  $M_{макс}$  районов развития разных групп типов коры. Такое районирование, естественно, весьма грубое, как по степени пространственной дифференциации этих оценок, так и по их уровню. Это связано с тем, что каждая группа объединяет некоторую ассоциацию типов коры, для каждой из которых характерен свой уровень прогнозных значений  $M_{макс}$ . Эти данные вряд ли в возможно непосредственно использовать в практическом применении, например в интересах сейсмического районирования. Тем не менее проведенный анализ не бесполезен. С одной стороны, он помогает понять, из каких источников было проведено обучение данных типизации коры по сейсмологическим материалам. С другой — дает повод более тщательно проанализировать в дальнейшем возможности определения  $M_{макс}$  на уровне крупных структур.

Совершенно очевидно, что список использовавшихся геолого-геофизических данных далеко не совершенен, и могут быть привлечены дополнительно сведения о современных тектонических движениях,

напряженном состоянии, скоростном разрезе и другие, более полно характеризующие современное строение и состояние земной коры. С другой стороны, у нас имеются серьезные претензии к качеству даже тех данных, которые использованы в анализе. В первую очередь это замечание относится к сведениям о тепловом потоке и мощности земной коры.

Могут быть предложены также и другие, кроме избранного, способы обработки исходных данных. Есть некоторые возможности улучшения и использованной процедуры кластерного анализа.

Сейсмологические данные также не отвечают пока требуемому уровню. Уже сильно устарела работа [20] не только потому, что она должна быть продолжена для более позднего периода. Кроме того, параметры многих старых землетрясений оказались неточными. Должен быть, наконец, решен и вопрос о древних землетрясениях, выявленных по палео-, архео- и другим данным, сведения о которых хотя и наводнили научные публикации, но они в официальные каталоги не вошли. И, наконец, нет унифицированных каталогов для смежных с территорией страны областей, не говоря уже о более удаленных частях Евразии. И они совершенно необходимы для пополнения статистики. Совершенно очевидно, что сейсмологические данные, в частности, каталоги, должны в обязательном порядке существовать в машиночитаемом виде: сегодня работать вручную при проведении сейсмотектонического анализа невозможно.

Изложенное заставляет с осторожностью оценивать полученный результат в смысле его достоверности. В данной работе скорее преследовалась цель отработать методику предлагаемого подхода, апробировать ее и обозначить те трудности, с которыми связана

реализация. Это знание позволит в будущем уточнять схемы сейсмотектонического потенциала ( $M_{max}$ ) и сделать их более надежными.

Из проведенного анализа вытекает, что предпочтительным является путь выделения сейсмотектонического потенциала (зон с различной  $M_{max}$ ) на внерегиональном уровне анализа. Такой путь стал возможен благодаря тому, что были найдены методы комплексного анализа исходных данных и проведения сейсмотектонического районирования, его сопоставления с сейсмологическими данными с использованием компьютерной техники и привлечением для проведения анализа формальных процедур. Это привело к тому, что исчезли хотя бы трудности, связанные с обработкой и анализом колоссальных массивов информации, которые требуется принимать во внимание при реализации внерегионального подхода. Нам представляется поэтому, что предлагаемый путь может быть использован в дальнейшем и при составлении новой карты сейсмического районирования территории страны на этапе выделения зон с различной  $M_{max}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьин И.В. Сейсмоактивные зоны Восточно-Европейской платформы и Урала. Вопросы инженерной сейсмологии, вып.32, М., Наука, 1991, стр.106-121.
2. Артемьев М.Е. Изостазия территории СССР. М., Наука, 1975, 215 стр.
3. Артемьев М.Е., Рейснер Г.И., Шолпо В.Н. Об энергетической насыщенности земной коры Кавказского и Карпатского регионов по результатам комплексной интерпретации геофизических данных. В сб. "Комплексные исследования глубинного строения Белоруссии и смежных областей". Минск, Наука и техника, 1988, стр. 97-114.
4. Белоусов В.В. Эндогенные режимы. М., Недра, 1978, 232 стр.
5. Белоусов В.В., Павленкова Н.И. Типы земной коры. Геотектоника, N 1, 1985, стр. 3-14.
6. Белоусов В.В., Павленкова Н.И. Взаимодействие земной коры и верхней мантии. Геотектоника, N 6, 1986, стр. 8-20.
7. Белоусов В.В. Тектоносфера Земли: взаимодействие верхней мантии и коры. МГК АН СССР, М., 1991, 71 стр.
8. Борисов Б.А., Рейснер Г.И., Шолпо В.Н. Выделение сейсмоопасных зон в альпийской складчатой области. М., Наука, 1975, 139 с.
9. Геофизическая модель тектоносферы Европы. Наукова думка, Киев, 1987, 184 стр.
10. Голинский Г.Я. и др. Каспийское землетрясение 6 марта 1986 г. Землетрясения в СССР в 1986 г. М.: Наука, 1989, стр.58-78.
11. Голубева Н.В. Каталог сильных землетрясений земного шара с 1953 по 1967 г. с  $M \geq 6$ , ИФЗ, М., 1972.
12. Гордиенко В.В., Павленкова Н.И. Принципы построения комплексных геофизических моделей земной коры и верхней мантии переходных зон Атлантического типа. Тихоокеанская геология, N 1, 1984, стр. 5-93.
13. Землетрясения в СССР (1968-1986гг.), М., "Наука".
14. Земная кора и история развития Средиземного моря. М., Наука, 1982, 207 стр.
15. Ивановская Л.В., Фирсова Д.Б., Хоменюк Ю.В., Шукин Ю.К. Долговременное прогнозирование сейсмической опасности по комплексу геолого-геофизических данных. М., Наука, 1988, 108 с.
16. Карта новейшей тектоники Европы. М 1:1000000, гл. редактор Н.И.Николаев. ГУГК СМ СССР, 1973.
17. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. М 1:2500000. Под редакцией Ю.А.Мещерякова, М., ГУГК, 1973.
18. Карта структуры и граничных скоростей поверхности Мохоровичича территории СССР, М 1:5000000, МГ СССР, НПО "Нефтегеофизика", М., 1984.
19. Карта структуры фундамента территории СССР, М 1:5000000, МГ СССР, НПО "Нефтегеофизика", М., 1984.
20. Карта тектонического районирования юга СССР, под редакцией Г.Х.Дикенштейна и К.Н.Кравченко. М., Недра, 1974.
21. Лилиенберг Д.А. Современная геодинамика орогенного альпийского пояса Южной Европы. Геоморфология, N 4, 1985, стр. 16-29.
22. Маловицкий Я.П. Тектоника дна Средиземного моря. М., Наука, 1978, 96 стр.
23. Кашин Л.А., Мещерский И.Н., Остач О.М., Певнев А.К. Карта вертикальных движений земной коры на территории СССР. В кн.: Современная тектоническая активность Земли и проблемы сейсмичности.

- Тезисы докладов, М., 1986, стр.37-38.
24. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М., Недра, 1968, 483 стр.
25. Николаев В.Г. Паннонский бассейн. М., Наука, 1986, 103 стр.
26. Никонов А.А. Сильнейшее землетрясение Большого Кавказа 14 января 1668 года. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1982, N 5, с. 90-106.
27. Никонов А.А. О землетрясении 1668 г. на Восточном Кавказе (ответ Б.А.Борисову). Изв. АН СССР, Физика Земли, N 9, 1982, стр. 123-127.
28. Никонов А.А. Землетрясение XVII в. в Восточном Крыму. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1986, N 6, стр.79-83.
29. Никонов А.А. Проблемы изучения и картографирования современных вертикальных движений земной коры. В кн.: Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. М., Наука, 1987, стр.49-65.
30. Никонов А.А. Распределение сильных землетрясений и сейсмическая опасность Восточного Кавказа. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1987, N 11, с. 108-113.
31. Никонов А.А. Новые данные о сильнейших землетрясениях Черноморского шельфа и их структурной позиции. Геология океанов и морей. М., 1988, с. 64-65.
32. Никонов А.А. Сильнейшее землетрясение Кавказа с точки зрения геодинамики. В кн.: "Геодинамика Кавказа", М., 1989, с.148-156.
33. Никонов А.А. Разрушительное землетрясение 1208-1209 гг. на Туранской платформе. Вопросы инженерной сейсмологии. М., 1989, в.30, с. 119-127.
34. Новый каталог сильных землетрясений в СССР; М. Наука, 1977, 535 стр.
35. Палеосейсмология Большого Кавказа. М., Наука, 1979, 188 с.
36. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В. Землетрясения Крымско-Черноморского региона. Киев, "Наукова думка", 1989, 188 стр.
37. Резанов И.А. О Казанджикском землетрясении 1946 Г. Изв. АН СССР, сер.геофиз., N 5, 1955; с. 475-482.
38. Рейснер Г.И. Геологические методы прогнозирования сейсмической опасности. М., Недра, 1980, 173 стр.
39. Рейснер Г.И. Неотектонические движения, современные эндогенные режимы и рельеф Карпатского и Кавказского регионов. Геоморфология, N 3, 1987, стр. 3-19.
40. Рейснер Г.И., Рейснер М.Г. Современные эндогенные режимы (на примере Кавказского и Карпатского регионов). ВИНТИ, деп.рук. N 5101-В86, 1986, 142 с.
41. Рейснер Г.И., Рейснер М.Г. Современные эндогенные режимы. ДАН СССР, т. 291, N 6, 1986, стр. 1336-1339.
42. Рейснер Г.И., Рейснер М.Г. Современные эндогенные режимы (на примере Кавказского и Карпатского регионов). Геотектоника, N 4, 1987, стр. 59-74.
43. Рейснер Г.И., Рейснер М.Г. О методе выявления современных эндогенных режимов. В сб. "Строение и эволюция тектоносферы", АН СССР, ИФЗ, М.: 1987, стр. 274-301.
44. Рейснер Г.И., Рейснер М.Г. Эволюция земной коры Европы на новейшем этапе развития. Сб. "Тектонические процессы", М.: Наука, 1989, стр. 219-226.
45. Рейснер Г.И., Рейснер М.Г. Эндогенные режимы Европы. "Современная геодинамика и глубинное строение территории СССР",

М., "Наука", 1990, стр. 40-47.

46. Рейснер Г.И., Баранов Ю.Е., Рейснер М.Г. Проблемы современных эндогенных режимов. "Современная геодинамика, активные разломы и сейсмическое районирование" Тезисы докладов, М., 1990, стр.40-41.

47. Рейснер Г.И., Сафронов В.Н., Иогансон Л.И., Сомова В.И.

Сейсотектоническое районирование платформенных областей.

Белорусский сейсмологический бюллетень, вып.1, ИГиГ АН БССР, Минск, 1991, стр.86-108.

48. Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Земная кора и зоны возникновения ожидаемых землетрясений Крымско-Кавказского региона. ИФЗ АН СССР, ВИНТИ, деп.рук. N 2725-В91, М., 1991, 87 стр.

49. Сейсмическое районирование территории СССР. М., Наука, 1980, 306 стр.

50. Смирнов Я.Б. Тепловое поле территории СССР (Пояснительная записка к картам теплового потока и глубинных температур в М 1:10000000). М., ГУГК, 1980, 150 стр.

51. Солоненко В.П., Хромовских В.С. Мощные землетрясения Б.Кавказа. Природа, 1974, N 6, с. 34-48.

52. Солоненко В.П., Хромовских В.С. Палеосейсмологические и сейсотектонические основы сейсмического районирования Б.Кавказа. В кн.: Сейсотектоника южных районов СССР., М., 1978, с.48-63.

53. Структура земной коры Центральной и Восточной Европы по данным геофизических исследований. Наукова думка, Киев, 1979, 208 стр.

54. Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины. М., Недра, 1985, 215 стр.

55. Хромовских В.С., Солоненко В.П., Жилкин В.М., Хилько С.Д., Зеленков П.Я., Семенов Р.М. Сейсмодислокации Западного Кавказа и

их значение для сейсмического районирования. В сб.:

"Сейсмогенные структуры и сейсмодислокации", М., ВНИИГЕОФИЗИКА", 1973.

56. Bónceví E., Bune V.I., Christoskov L., Karagjuleva I., Kostadinov V., Reisner G.I., Rizhikova S., Shebalin N.V., Sholpo V.N., Sokerova D. - A method for compilation of seismic zoning prognostic maps for the territory of Bulgaria. *Geologica Balcanica*, N 12.2 Sofia, 1982, pp. 3-49.

57. Carte tectonique internationale de L'Europe et des régions avoisinantes. 1:2500000, *Congres Geologique International, UNESCO, CCGM*, 1981.

58. Catalogue of Earthquakes. UNESCO, Scopje, 1974.

59. Heat flow map of Europe. Enclosure for terrestrial flow in Europe. Ed. by V.Cermak, L.Rybach. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 1976.

60. Karnik V. Seismicity of the European Area, Part 1-2, Dordrecht, Holland, 1969, Praha, 1971, pp.364, 218.

61. Materialien zum tectonischen bau von Europa. Veroff. Zentr. Inst. Phys. Erde, Potsdam, 1976.

62. Regional catalogue of earthquakes. Edinburg, Scotland.

63. Reisner G.I. European seismotectonics. XXII General Assembly ESC, Barcelona, 17-22 September, 1990, p.133.

64. Reisner G.I., Reisner M.G. Deep structure and present endogenous regimes of Europe. *Bulletin CCGM-CGMW*, 38, 06 1988, pp.181-210, Paris, France.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	стр. 3
2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТИПИЗАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ	стр. 16
2.1. Характеристика исходных данных	стр. 16
2.2. Алгоритм кластерного анализа	стр. 25
3. ТИПИЗАЦИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ	стр. 33
3.1. Результаты предшествующих исследований.	стр. 33
3.2. Районирование по типам земной коры	стр. 35
3.3. Закономерности пространственного распределения групп типов земной коры	стр. 37
4. СОВРЕМЕННЫЕ ЭНДОГЕННЫЕ РЕЖИМЫ	стр. 61
4.1. Вводные замечания	стр. 61
4.2. Современные эндогенные режимы	стр. 88
4.3. Современная эндогенная обстановка	стр. 98
4.4. Выводы	стр. 112
5. ОЦЕНКА СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ( $M_{max}$ )	стр. 119
5.1. Вводные замечания.	стр. 119
5.2. Сейсмотектонический потенциал ( $M_{max}$ )	стр. 122
5.2.1. Методологические и методические основы	стр. 122
5.2.2. Сейсмотектонический потенциал ( $M_{max}$ ), вариант регионального подхода (Центральный суперрегион)	стр. 126
5.2.3. Сейсмотектонический потенциал ( $M_{max}$ ), вариант внерегионального подхода	стр. 135
5.3. Другие подходы к оценке сейсмотектонического потенциала ( $M_{max}$ )	стр. 156
5.3.1. Парагенезисы типов земной коры и	

сейсмотектонический потенциал	стр. 156
5.3.2. Оценка сейсмотектонического потенциала с учетом группирования типов земной коры	стр. 170
5.4. Обсуждение результатов	стр. 172
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	стр. 179
ЛИТЕРАТУРА	стр. 202
ОГЛАВЛЕНИЕ	стр. 208

Рейснер Георгий Игоревич

Иогансон Лидия Ивановна

Рейснер Михаил Георгиевич

Баранов Юрий Ефимович

ТИПИЗАЦИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Утвержден к печати

Ученым советом

Института физики Земли РАН



---

Подп. в печать 05.10.93. Ф.б. 60x90 1/16. Печ.л. 13,25.  
Тираж 276. Заказ 1054. Цена свободная.

---

Отпечатано в НИИЭИР

ISBN N 5-201-11891-7

470.00

K38918

79/6.12.95