Известня АН Арм ССР, Науки о Земле, XXXIV, № 6, 3-11, 1981

NAK: 550 34.550.814(479 25)

А. Т. АСЛАНЯН, А. С. ДЕБАБОБ, А. С. КАРАХАНЯН, Г. Л. КОРОВИНА, Д. А. УСИКОВ

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИЗ КОСМОСА ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ АНАТОЛИЙСКО-АРМЯНО-ИРАНСКОГО РЕГИОНА)

Для регнона построены карты космографических линеаментов, эпицентров землетрясений и сейсмостатических параметров, которые доказывают зональный характер распределения сейсмической активности. Выделяются протяженные линеаментные зоны концентрации высокой сейсмичности и изометричные сейсмоактивные зоны, являющиеся следствием суперпозиции первых Проведена автоматизированная обработка космических изображений, подтвердившая сделанные выводы и показавшая принципиальную возможность использования методов пространственного спектрального анализа космоизображений при сейсмологических исследованиях. Система линеаментов исследованного региона сформировалась в условиях сближения Евразийской и Гондванской платформ, сопровождаемого процессом субдукции и раздроблением литосферы на ряд блоков, взаимные перемещения которых обуславливают современную сейсмическую активность.

Одним из эффективных методов комплексных геолого-геофизичеоких исследований крупных регионов является дистанционное изучение земной поверхности на основе материалов аэрокосмической индикации. В настоящей статье делается попытка интерпретировать результаты, полученные при сопоставлении отдешифрированных линеаментов с данными о распределении сейсмичности для территории, входящей в Анатолийско-Армяно-Иранский сегмент Средиземноморского складчатого пояса.

Визуальное дешифрирование и комплексный анализ материалов дистанционного зондирования проводились в ИГН АН Армянской ССР, а сейсмологические исследования и автоматизированная обработка видеоинформации на ЭВМ—в Научно-Методическом центре исследования природных ресурсов и дистанционного зондирования ИКП АН СССР. Визуальная обработка аэрокосмической информации и сейсмологические исследования проводились независимо друг от друга с сопоставлением и автоматизированной обработкой на завершающей стадии работы.

При постановке задач исследований мы исходили из того, что в формировании изучаемого региона и распределении его сеисмичности важнейшую роль играют протяженные системы глубинных разломов

[1, 8], выделение которых с достаточной достоверностью невозможно без применения дистанционного зондирования и данных сейсмологии.

Предлагаемая схема основных линеаментных зон региона создана на основе обработки данных, полученных с ИСЗ «Метеор» всех серий за период 1974—1981 гг., ИСЗ «Зонд», а также советских ПКК и ОНС.

Под термином «линеамент» мы понимаем интегральное проявление на космических изображениях линейных неоднородностей структуры и рельефа литосферы, в которых концентрируются отдельные разломы или зоны сгущения элементов планетарной трещиноватости.





Рис. 1. Схема сейсмоактивных линеаментов и высокосейсмичных узлов их пересечений Антолийско-Армяно-Иранского региона. 1 — сейсмоактивные линеаменты и линеамсатные зоны, 2—несейсмоактивные линеаменты и линеаментные зоны; 3—высокосейсмичные линеаментные узлы.

Для характеристики сейсмичности исследуемой территории Т. Л. Коровиной, по данным каталогов, были построены карты: эпицентров землетрясений, сейсмических параметров—средней плотности эпицентров землетрясений (n) и средней плотности энергии землетрясений (e). Карты сейсмостатистических параметров позволяют перейти от дискретного распределения землетрясений к непрерывным функциям координат, количественно характеризующим сейсмический режим. Анализ карт средней плотности эпицентров и их энергии с учетом карт эпицентров показал, что пространственное распределение сейсмичности исследуемой территории имеет зональный характер. По конфигурации изолиний указанных карт можно выделить три типа сейсмических зон: изометричные, изометрично-линейные и линейные. Поскольку линейные зоны непосредственно подходят к изометричным, а в ряде случаев могут быть

прослежены в пределах последних как сквозные, то вполне допустимо предположить, что изометричные зоны являются следствием суперпозиции линейных зон разного простирания. Полученные результаты позволяют сформулировать совокупность критериев выделения сейсмических зон, а именно: 1) преимущественное направление в простирании изолиний n: 2) преимущественное направление в простирании е; 3) зональность распределения участков с повышенным значением п и е и участков проявления катастрофических землетрясений. Необходимо отметить, что выделяемые линейные зоны неоднородны в сейсмическом отношении, в их пределах могут находиться как районы с повышенной сейсмической активностью, так и относительно асейсмичные участки. Районы повышенной сейсмической активности приурочены к местам пересечения сейсмоактивных зон различного простирания и характеризуются повышенной плотностью эпицентров землетрясений и их энергии. Именно в местах пересечения этих зон расположены известные сейсмоактивные районы и происходят сильные землетрясения. При дешифрировании аэрокосмической информации на исследуемой территории выделяются участки пересечения линеаментов, обладающие аномальным рисунком и фототоном изображения. Узлы пересечения характеризуются изменением критериев дешифрирования линеаментов на данном отрезке. При рассмотрении этих участков на крупномасштабных космических и аэровысотных изображениях регистрируется концентрация в выделенных узлах большого количества разнонаправленных разломов и трещин. нагромождения различных форм рельефа в виде сорванных блоков пород и крупных оползней. Дешифрируемые сорванные блоки пород (палеосейсмодислокации), видимо, образуются за счет гравитационно- сейсмотектонических деформаций рельефа, возникающих при сильных землетрясениях [5, 7]. Возможно, что узлы пересечения линеаментов представляют собой выражение на поверхности Земли внутрикововых деформаций, приводящих к образованию скрытых сейсмоактивных разломов. Пересечение линеаментов при этом происходит не в одной плоскости, а на разных уровнях земной коры, что как в плане, так и в разрезе отмечается наличием перекрестных структур [6].

Участки пересечения линеаментов по своим характеристикам аналогичны дизъюнктивным или морфоструктурным узлам, выделяемым на основе морфоструктурного анализа [4].

Характерное совпадение отдешифрированных на космических изображениях протяженных линеаментных систем и линейных сейсмических зон, выделенных на основе анализа сейсмостатистических параметров, позволяет нам предположить определенную сейсмическую активность опознанных линеаментов и выделить их в особый разряд мегарегиональных сейсмогенных линейных структур.

При сопоставлении узлов пересечения сейсмоактивных линеаментов, отдешифрированных на космических изображениях с площадями

5

аномально повышенного значения *n* и *e* и участками концентрации эпицентров сильных землетрясений, находящимися на пересечении выделенных сейсмических зон, наблюдаются определенные закономерности, указывающие на приуроченность эпицентров разрушительных землетрясений к узлам пересечения протяженных разломов и сейсмоактивных линеаментов.

Следует отметить, что как сами сейсмогенные линеаменты, так и узлы их пересечения отличаются по совокупности собственных критериев дешифрирования от остальных несейсмоактивных структур, выделяемых на космических изображениях.

Кроме визуального дешифрирования, часть изображений с ИСЗ «Метеор» (ближний инфракрасный диапазон) была обработана на комилексе математических машин «Ситрим-80» в НМЦ ИПР и ДЗ ИКИ АН СССР. Для обработки использовалась программа: «Пространственный Фурье-анализ фрагментов аэрокосмических изображений» (ПФАФАИ), разработанная А. С. Дебабовым. Программа обеспечивает выполнение пространственного Фурье-анализа фрагментов космических изображений, включая дискретнодвумерное преобразование Фурье на ЭВМ «Мitra—125» с помощью реализации алгоритмов БПФ (быстрое преобразование Фурье) действительнозначной функции (*Imf*=0) на массиве двухбайтовых целых чисел со скользящим общим масштабом.

Программа обеспечивает наглядное представление пространственных спектров фрагментов изображений, возможность предварительной классификации фрагментов изображений характерных областей земной поверхности по их пространственным спектрам Фурье, энергиям спектральных поддиапазонов модулей пространственной частоты, автокорреляционным функциям. преобладающим направлениям структур, а также их сравнение с заданными моделями изображений. Программа ПФАФАН обеспечивает сравнение ПСФ (пространственных спектров Фурье) для идентичных фрагментов многозональных изображений из разных каналов, построение на экране TRIM графических матриц энерго-спектральных поддиапазонов и азимутальных пиков на фоне исходного изображения, получение яркостных матриц распределения энергии по спектральным подднапазонам в масштабе исходного изображения, а также визуализацию автокорреляционных и взаимокорреляционных функций произвольных фрагментов изображений. Программа располагает средствами представления изображений в псевдоцветах с непрерывной шкалой яркости. Обрабатываемые изображения были представлены в трех (красном, синем и зеленом) псевдоцветах с непрерывной шкалой яркости по каждому цвету и со смещением положения центра таблицы цветов в сторону высоких значений яркости (100-140). При этом яркость красного цвета линейно возрастает в сторону максимальной яркости изображения, яркость синего цвета линейно возрастает в сторону нулевой яркости изображения, а яркость зеленого цвета соответствует яркости изображения, которой отвечает выбранный условный центр шкалы.

Основными методами обработки космических изображений являлись методы пространственного спектрального анализа. Было выполнено дискретное двумерное преобразование Фурье (ДПФ), в результате которого для каждого фрагмента изображения (квадрат 32×32 пикселов) определялись спектральные характеристики и производилась визуализация на экране TRIM гистограмм спектра (гистограмм распределений энергий в зависимости от модуля пространственной частоты) и занесения спектральных характеристик в массив. Для изображений в яркостной или табличной форме получены пространственные спектры Фурье, позволяющие судить о пространственном распределении на изображении спектральных (энергетических) характеристик рассматриваемого диапазона изменения модуля пространственной частоты.

Для некоторых изображений получены энергетические спектры в фурье-пространстве. Для более строгой оценки, возможно рассчитать распределение энергии в нескольких угловых структурах Фурье-пространства. В программе реализовались расчеты для 8 секторов. Причем, если доля энергии в каждом секторе превышает 1,2 доли энергии в секторе для изотропного распределения, то в графической памяти строится центрально-симметричный вектор вдоль этого направления, длина которого пропорциональна доле энергии, а направление вектора совпадает с направлением структур в исходном изображении. Для отдельных фрагментов обрабатываемых космических изображений были построены автокорреляционные функции, получаемые в результате дискретного двумерного преобразования Фурье (ДПФ) квадрата модуля спектра Фурье (в линейном масштабе яркости). Предварительный анализ результатов автоматизированной обработки космических изображений региона в псевдоцветах показал, что сейсмоактивным узлам соответствует определенная зональность псевдоцветов в виде изометрических областей, окрашенных в синий цвет с зеленым пятном в центре.

Полученные предварительные результаты пространственного распределения спектрально-энергетических характеристик показывают, что на высоких гармониках некоторым сейсмоузлам соответствует максимальное значение интенсивности энергии спектральных поддиапазонов.

На изображениях энергетического спектра Фурье наблюдается увеличение яркости вдоль какого-либо азимута. Это направление перпендикулярно преимущественному направлению структур на исходном изображении. В большинстве случаев простирание зон повышенной яркости спектра Фурье совпадает с простиранием наиболее четко выделяемых сейсмоактивных линеаментов.

Согласно предварительным данным, на диаграммах преимущественных направлений, для фрагментов, расположенных вдоль известных сейсмоактивных линеаментов, выделяется одно преобладающее направление, или длина одного из векторов значительно больше других. В узлах пересечения выделяются несколько векторов разных направлений, без фиксации преимущественного. Сравнение автокорреляционных функций,

полученных в результате дискретно-двумерного преобразования Фурье (ДПФ) квадрата модуля спектра Фурье (в линейном масштабе яркости), показывает, что вид автокорреляционной функции в линеаментных сейсмоузлах существенно меняется. Происходят смещение или поворот главных осей эллипсов, образование лепестков и другие изменения.

Необходимо отметить, что перечисленные выше результаты носят предварительный характер и будут в дальнейшем уточняться, пока их необходимо рассматривать скорее как доказательство возможности использования методов пространственного спектрального анализа космических изображений для выяснения пространственных закономерностей распределения сейсмичности.

Анализ деформационных структур и вызвавших их сил, а также сейсмостатистических данных, показывает, что система линеаментов Тавро-Кавказского орогена формировалась в условиях сближения Евразийской и Гондванской платформ, в пределах которых мощность литосферы достигает 220-260 км. Процесс сближения, по-видимому, сопровождается резко выраженной субдукцией Аравийской плиты под Анатолийско-Армяно-Иранский субконтинент, северной половины последней под сооружение Большого Кавказа, который ограничивается на обоих склонах системами крупных продольных разломов. Особое место зани мают в рассматриваемой области мезозойские офиолитовые пояса, которые локализованы в рифтовых трогах; на юге четко выделяются Тавро-Загросокий офиолитовый пояс, на севере Малокавказские пояса сходящиеся в единый пояс у Галатского массива в Центральной Анатолии. Отчетливо выделяются также вулканические пояса в юре, нижнем мелу, палеогене, среднем плиоцене и антропогене, которые имеют протяженность около 5 тыс. км и прослеживаются от Балкан через всю Тавро-Кавказскую область в Белуджистан [3].

Другой вулканический пояс, известный под названием Транскавказского пояса (и его ветвей), прослеживается вкрест простирания предыдущих поясов в систему грабенов Восточной Африки и Мертвого моря. Он отмечен крупными излияниями и силловыми интрузиями обратнонамагниченных долеритовых базальтов, имеющих возраст 3,5 млн. лет.

Структуры глубоководных частей Черного моря и Южного Каспия рассматриваются как результат ограниченного спрединга и днапирового поднятия плотных мантийных масс. По некоторым геодинамическим соображениям допускается возможность дальнейшего продолжения спрединга вдоль Закавказской низменности и последующее слияние котловин Черного моря и Южного Каспия.

В результате сближения Евразиатской и Гондванской платформ, литосфера Тавро-Кавказской области была раздроблена на целый ряд блоков (типа торосов морских ледяных полей). Современная сейсмическая активность области отражает взаимные передвижения указанных блоков и является откликом разрядки тех упругих напряжений, которые накапливаются в контактах названных блоков. Необходимо подчеркнуть, что досреднепалеозойские тектонические структуры Тавро Кавказской области (особенно Байкальские и Гренвильские) имеют антикавказское (уральское) простирание. Указанная выше блоковая структура наследует элементы как общекавказских, так и антикавказских структур. Суперлинеаменты, пересекающие как Тавро-Кавказокую, так и соседние платформенные области Евразии и Гондваны, равно как и суперлинеаменты Средиземноморского пояса, отражают, очевидно, глобальный рисунок деформации всей литосферы и являются (по мнению А. Т. Асланяна) следствием гравитационного сжатия Земли и концентрации деформирующих сил в наиболее податливых поясах литосферы [2].

Проведенное сопоставление сейсмичности с элементами, выявленными по материалам аэрокосмической индикации Анатолийско-Армяно-Иранского региона, позволяет выдедить на космических изображениях особые сейсмоактивные линеаменты, что является дополнительной информацией, получаемой при обработке данных дистанционного зондирования. Совпадение узлов пересечения отдешифрированных на космических изображениях сейсмоактивных линеаментов с узлами пересечения выделенных сейсмических зон и приуроченность к ним участков повышенного значения *n* и *e* и эпицентров сильных землетрясений возможно даст дополнительные критерии при выделении сейсмоопасных зон и районов. Указанное, наряду с известными методами космического геодезического контроля и дистанционного сбора информации с сейсмических станций, расширяет возможности применения аэрокосмического

зондирования Земли в исследованиях по предсказанию землетрясении.

Институт геологических наук АН Армянской ССР, Институт космических исследований АН СССР

Поступила 19. VI. 1981.

9

Ա. Տ. ԱՍԼԱՆՅԱՆ, Ա. Ս. ԴԵԲԱԲՈՎ, Ա. Ս. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ, Տ. Լ. ԿՈՐՈՎԻՆԱ, Դ. Ա. ՈՒՍԻԿՈՎ

ՏԻԵՉԵՐՔԻ ԴԻՍՏԱՆՑԻՈՆ ՉՈՆԴՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ ՍԵՅՍՄԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԱՐԱԾԱԿԱՆ ՏԵՂԱՔԱՇԽՄԱՆ ԳՈՐԾՈՒՄ (ԱՆԱՏՈԼԻԱԿԱՆ–ՀԱՅԿԱԿԱՆ–ԻՐԱՆՅԱՆ ՌԵԳԻՈՆԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ)

Ամփոփում

Ունգիոնի Տամար կազմված են տինզերագրական լինեամենտների, երկրաշարժերի էպիկենտրոնների և սեյսմոստատիկ բնութագրերի ջարտեզները, որոնջ ապացուցում են երկրաշարժային ակտիվության տեղաբաշխման գոտային բնույթը։ Առանձնացվում են բարձր սեյսմականության կուտակման լինեամենտային գոտիներ, ինչպես նաև իզոմետրիկ սեյսմոակտիվ շրջաններ, որոնջ Տանդիսանում են առաջինների արդյունը։ Կատարված է տիեղերքից ստացված պատկերների ավտոմատացված մշակում, որը Հաստատում է արված եզրակացությունները և ցույց է տալիս սեյսմագրական հետասոտությունների ընթացքում տիեզերապատկերների տարածական սպեկտրալ անալիզի կիրառման սկզրունքային հնարավորությունը։ Ուսումնասիրված ռեգիոնի լինեամենտների համակարգն առաջացել է Եվրասիական և Գոնդվանայի պլատֆորմների մերձեցման պայմաններում, որն ուղեկցվել է լիթոսֆերայի սուբդուկցիայի և բեկորատման երևույթնարով. ըստ որում, առանձին բեկորների փոխադարձ տեղաշարժերը պայմանավորում

A. T. ASLANIAN, A. S. DEBABOV, A. S. KARAKHANIAN, T. A. KOROVINA, D. USIKOV

ON THE POSSIBILITY OF USING THE RESULTS OF DISTANCE SOUNDING FROM COSMOS FOR INTERPRETATION OF SEISMICITY SPACE DISTRIBUTION (ON THE EXAMPLE OF ANATOLIAN-ARMENIAN-IRANIAN REGION)

Abstract

Maps of cosmographic lineaments, earthquake epicenters and seismostatic parametres, which prove the zonal character of seismic activity distribution are built for the region. Stretched lineament zones of high seismicity concentration and isometric seismoactive zones, being the result of the superposition of the first ones, are distinguished. Automated processing of cosmic photographs, corroborating the received conclusions and demonstrating the principal possibility of using the methods of space spectral analysis of cosmic photographs during seismological researches, was held. The system of lineaments of the investigated region was formed under conditions of Eurasian and Gondwanian platforms approachment accompanied by the process of subduction and crushing of the lithosphere on blocks, interdisplacement of which stipulates the modern seismic activity.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Аверьянова В. Н. Сейсмотектоническое течечие горных масс в Альпийской складчатой области. В кн. «Геофизика. Геология и катастрофические природные явления». «Наука», М., 1980.
- 2. Асланян А. Т. Возбуждение чандлеровских колебаний полюса как проявление конструкции Земли. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 4-5, 1977.
- 3. Асланян А. Т. Основные черты геологического строения Армянской ССР, Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 3, 1981.
- 4. Гельфинд И. М., Губерман Ш. А., Жидков М. А., Кейлис-Борок В. И., Ранцман Е. Я., Ротвайн И. М. Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений. Часть 2. Четыре ранона Малой Азии и Юго-Восточной Европы. В кн.

«Машинный анализ цифровых сейсмических данных». Вычислительная сейсмология, вып. 7, «Наука», М., 1974.

- Караханян А. С. Выделение крупных оползней, сорванных и гравитационно сползших блоков пород при дешифрировании космических снимков. Изв. высш. учеби. завед., Геол. и разв., № 3, 1981.
- 6. Макаров В. И., Соловьева Л. И Перекрестный структурный план земной коры и проблема проявления ее глубинных элементов на поверхности (на примере Тянь-Шаня и Туранской плиты). В сб. «Исследования природной среды космическими средствами», т. 5, «ВИНИТИ», М., 1976.
- 7. Хромовский В. С., Солоненко В. П., Ссменов Р. М., Жилкин В. М. Палеосейсмология Большого Кавказа. «Наука», М., 1979.
- 8. Щукин Ю. К. Сейсмогенные структуры и фокальные зоны альпийского пояса и их связь с геофизическими полями и разломами. В кн. «Разломы земной коры». «Наука», М., 1977.