

**И.Э. Ломакин, В.В. Покалюк,  
В.В. Кочелаб, Н.В. Шафранская, И.Н. Шураев**

Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины, Киев

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТИРОВКИ ТОПОЛИНЕАМЕНТНЫХ СИСТЕМ СЕВЕРНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ**

---

*Анализ материалов космической радарной съемки SRTM с визуализацией данных в виде роз-диаграмм тектоно- и тополинеаментов позволяет выявить в едином планетарном поле геодинамических напряжений Северного Причерноморья районы с выраженными индивидуальными геотектоническими характеристиками. Выделенные два главных региональных типа структурных рисунков тополинеаментных сетей обусловлены динамическим влиянием разноориентированных трансрегиональных мегалинеаментов (разломных зон) — транс-европейской глубинной шовной зоны Тессейра-Торнквиста и Азово-Черноморского глубинного разлома. Подчеркивается прямая генетическая связь образования тектонолинеаментных ансамблей с процессами реализации малосдвиговых дислокаций в поле развития глобальных регматических сетей. В подтверждение традиционных положений теории разломно-блокового строения и развития региона (В.Г. Бондарчук, 1959; И.И. Чебаненко, 1966, и др.) показана унаследованность и фиксированность пространственной ориентировки разломных сетей мезокайнозоя. Результаты работ закладывают основу разработки методики автоматизированного разномасштабного дистанционного геодинамического и тектонического картирования любого участка земной поверхности, покрытого космической радарной съемкой (SRTM, GEBCO).*

**Ключевые слова:** Северное Причерноморье, SRTM, тополинеаменты, разломно-блоковая тектоника, разломные сети.

### **Введение**

Тополинеаментный анализ актуален для целей структурно-тектонического районирования, определения расположения разломов как носителей потенциального оруденения в пределах закрытых равнинных областей, таких как Северное Причерноморье. Опыт работы по изучению разномасштабных линеаментных систем [11—13] и открывшиеся перспективы использования данных радарной космической съемки на фоне совершенствования возмож-

© И.Э. ЛОМАКИН, В.В. ПОКАЛЮК, В.В. КОЧЕЛАБ,  
Н.В. ШАФРАНСКАЯ, И.Н. ШУРАЕВ, 2016

ностей ее обработки [27] позволяют сегодня по-новому подойти к вопросам тектонического и геодинамического районирования региона.

Очевидное преимущество современных методов тектоно-тополинеamentного анализа (спутниковое изображение + цифровая обработка данных) — объективность, высокая разрешающая способность и информативность, экспрессность, низкая стоимость работ, воспроизводимость и проверяемость результатов исследований. Следует отметить, что данные радарной космической съемки обладают значительно большим потенциалом для решения структурно-геологических задач по сравнению с традиционными оптическими спутниковыми изображениями. Их использование позволяет выявить очень незначительные неоднородности линейных форм рельефа, обусловленные активностью трещинно-разломной сети в пределах равнинных областей. Это актуально для структурного анализа и геодинамической оценки практически любых территорий.

В предшествующих исследованиях Северного Причерноморья и северо-западного шельфа Черного моря отделом геодинамики ОМГОР НАН Украины [4, 5, 14] были обоснованы два структурообразующих направления в регионе — линия Тессейра-Торнквиста (Т-Т) и южный край Восточноевропейской платформы (ВЕР). В настоящей статье эти представления усовершенствованы и детализированы на основе обработки новейших материалов космической радарной съемки (*Shuttle Radar topographic mission — SRTM*) с визуализацией данных в виде роз-диаграмм тектоно- и тополинеamentов и анализа их площадного распределения. Такой статистический анализ был проведен впервые. Предложенная методика решает задачи геодинамического районирования и картирования, ее неоспоримые достоинства — проверяемость и малозатратность.

Особо следует подчеркнуть, что авторы не имеют целью в данной статье опровергнуть или доказать те или иные геодинамические концепции по Северному Причерноморью, здесь лишь излагается новый объективный фактический материал, который благодаря современным методам космодешифрирования легко воспроизводим. Полученные результаты могут послужить уточнению и совершенствованию фактологической базы по тектонике региона, а также перенесению проблемы закономерностей ориентации разломов Причерноморья, следуя высказыванию И.И. Чебаненко [23], «з галузі загальних міркувань щодо кількості систем глибинних розломів до області статистичного аналізу, тобто підрахування кількості азимутальних напрямків зон глибинних розломів за їх структурною витриманістю і встановлення зв'язку між розмірами зон розломів та їх переважною орієнтацією».

## Объект и методика исследований

Исследуемая область простирается в пределах 42—49° с. ш. и 26—41° в. д., охватывая территории, примыкающие с севера и северо-запада к Азово-Черноморскому бассейну (кроме Кавказа). В связи с отработкой методики выбраны локальные модельные полигоны: 1) «Добруджа», 2) «Одесса», 3) «Николаев», 4) «Приазовье» 5) «Крым». Внутри полигонов на основании различий текстурных рисунков рельефа был выделен ряд областей (районов) (рис. 1).

Исследование осуществляли путем визуального анализа тополинеamentов на радарных снимках и сопоставления результатов с имеющимися топографическими,

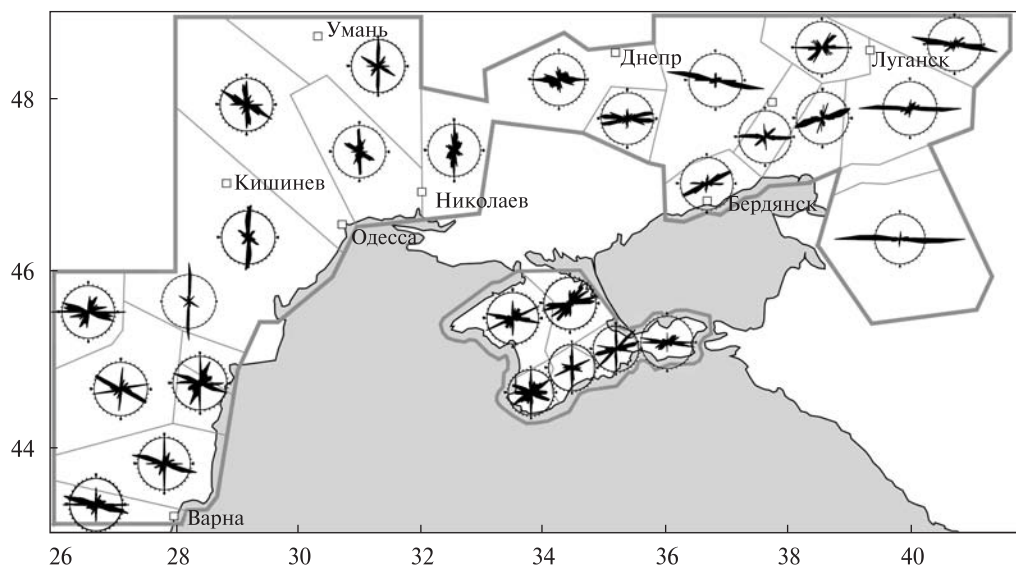


Рис. 1. Карта-схема тополинементных систем Северного Причерноморья на основе пространственного распределения роз-диаграмм мезотектоно-тополинементов

геологическими, геофизическими данными и материалами полевых наблюдений. В процессе работы провели серию методических экспериментов по выбору оптимальных длин линеаментов для решения конкретных геодинамических задач и определения оптимального количества измерений. На карту выносили прямолинейные непрерывные тектоно-тополинементы длиной от 1 до 10 км, в среднем 2—5 км. Количество измерений определялось необходимостью получения статистически достоверных максимумов на розах-диаграммах для всех основных линеаментных систем. Минимальное количество линеаментов для конкретных районов составило 200, максимальное — 1200. Общее количество обработанных линеаментов — 9540. Розы-диаграммы линеаментов строили с помощью автоматизированного программного модуля [27] в среде MapInfo. Оптимальный интервал объединения данных при построении роз-диаграмм, исходя из нашего опыта и математического обоснования, —  $5^\circ$  [16, 22]. Морфоструктурная типизация роз-диаграмм и анализ их площадного распределения служат основой для создания программы автоматизированного геодинамического картирования и районирования территории по характеру проявления полей напряжений. Разные морфологические типы роз-диаграмм линеаментов соответствуют разным типам полей напряжений. Первые результаты иллюстрирует приведенная карта-схема (см. рис. 1).

**Основные критерии морфоструктурной типизации роз-диаграмм.** Розы-диаграммы тектоно-тополинементов, полученные на основе обработки SRTM-данных, — статистически выраженное распределение всех разноранговых и разновременных линеаментов на выбранной территории, которое отображает суммарный эффект всех полей напряжений, существовавших в конкретном регионе за всю геологическую историю. Однако количественно они иллюстрируют главным образом новейший мезокайнозойский этап развития, ответственный за формирование современного рельефа.

Важнейшие категории или критерии, по которым можно проводить морфоструктурную типизацию роз-диаграмм: 1 — степень изотропии-анизотропии диаграмм (степень директивности), 2 — общее доминирование определенного вектора, сектора, румбов (направление директивности), 3 — общее количество статистически достоверных максимумов, 4 — количество, величина, «мощность» и дисперсия главных максимумов, 5 — угол между главными максимумами.

По степени изотропии-анизотропии розы-диаграммы в общем случае можно разделить на три вида: резко анизотропный, промежуточный, или умеренно анизотропный, изотропный. Они проиллюстрированы на рис. 2. В общем, чем региональное масштаб изучаемой территории, тем изотропнее характер роз-диаграмм, но изотропия диаграмм может отмечаться и для небольших, локальных блоков, что указывает на их расположение в узлах пересечения (зонах динамического влияния) разноориентированных разломных зон более крупного ранга.

**Результаты анализа ориентировки тополинеamentов на основе обработки SRTM-данных. Полигон «Добруджа»** охватывает несколько различных в геологоструктурном и тектоническом отношении областей, которые заметно отличаются друг от друга текстурой рельефа. Здесь присутствуют: 1) области альпийских складчатых орогенов (юго-восточные Карпаты, Предбалканский форланд); 2) платформенные и субплатформенные области: (Мизийская плита, Предкарпатский краевой прогиб, южная часть Преддобруджского прогиба; Центральная Добруджа; 3) горстовое поднятие раннепалеозойского фундамента (Северная Добруджа). Перекрывание четвертичным чехлом неоднородно. Плотность тополинеamentов наименьшая на площади Предкарпатского прогиба, перекрытого пролювиально-аллювиальным четвертичным покровом.

В целом все диаграммы, построенные для различных областей полигона, можно отнести к единому морфоструктурному типу. На диаграммах фиксируются шесть одних и тех же достоверных максимумов (по часовой стрелке): 270°, 285—295°, 0°, 20—25°, 40—45°, 50—70°. В числе самых распространенных — три максимума (в порядке убывания): 285—295°, 0°, 20—25°, образующие устойчивый парагенезис. Такое соотношение максимумов свидетельствует о достаточно сильно проявленной анизотропии ориентировок и ромбовидном типе структурного рисунка линеamentной сети. Дискретность максимумов не вызывает сомнений. Привлекают внимание малая дисперсия (узкие пики) для ортогональных направлений — широтной (270°) и меридиональной (0°) систем, с одной стороны,



Рис. 2. Степень изотропии-анизотропии роз-диаграмм

и более широкие вариации для диагональных и субдиагональных направлений, с другой. Такая особенность в целом характерна для планетарной регматической сети. Устойчивый парагенезис трех главных максимумов ( $285-295^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $20-25^\circ$ ) определяет общую директивность (вытянутость) диаграмм, совпадающую с простираем трансевропейской шовной зоны Т-Т, что свидетельствует о ее определяющем структурообразующем влиянии на формирование данного парагенезиса.

Сравнение диаграмм, полученных для разных структурно-тектонических блоков полигона «Добруджа», показывает удивительно хорошую их сопоставимость. Такое сходство вполне объяснимо, например, для платформенных и субплатформенных областей (Мизийская плита, Преддобруджа, Центральная Добруджа), однако сходство между платформенными блоками и складчатыми альпийскими орогенами было неожиданным и позволило сделать ряд важнейших выводов:

- 1) наблюдаемый однотипный структурный рисунок тектоно-тополинементов (или морфотип роз-диаграмм) не зависит от общего деления региона на крупные тектонические элементы, такие как платформа, прогиб, складчатый ороген;
- 2) этот рисунок развит на огромной площади, что указывает на формирование его под воздействием широкого, регионального, относительно равномерного, регулярного поля напряжений.

**Полигон «Одесса»** включает различные в структурно-тектоническом отношении области: юго-западную часть Украинского щита и его пологий склон (с возрастанием к югу мощности платформенного чехла до 1,5 км), а также Преддобруджский прогиб. Последний частично перекрывается с полигоном «Добруджа». Все розы-диаграммы, построенные для разных частей полигона, очень похожи между собой и относятся к одному морфоструктурному типу, свойственному предыдущему полигону «Добруджа» — с незначительными отличиями как в целом, так и по отдельным районам.

На диаграммах фиксируются четыре-шесть достоверных максимумов (по часовой стрелке):  $270^\circ$ ,  $300-310^\circ$ ,  $350-5^\circ$ ,  $20-25^\circ$ ,  $35-40^\circ$ ,  $50-55^\circ$ . Из них наиболее распространены три (в порядке уменьшения значимости):  $350-5^\circ$ ,  $300-310^\circ$ ,  $30-35^\circ$ , а самыми мощными — два: субмеридиональный ( $350-5^\circ$ ) и запад-северо-западный ( $300-310^\circ$ ), образующие устойчивую сопряженную пару. Угол между этими системами составляет  $\sim 60^\circ$ , что может свидетельствовать о вероятном сколовом  $R-R'$ -парагенезисе в терминологии структурно-парагенетического анализа [17, 20]. Отличия от полигона «Добруджа» выражены во второстепенных максимумах — здесь четче проявлен максимум  $30-35^\circ$ , менее выражен максимум  $20-25^\circ$  и очень слабо —  $50-55^\circ$ . Однако по наиболее значимым максимумам все диаграммы обнаруживают почти полное совпадение.

Сопоставление роз-диаграмм полигона «Одесса» позволяет к ранее сделанным выводам добавить следующие:

- 1) морфоструктурный тип роз-диаграмм тополинементов не зависит от особенностей текстуры мезорельефа (районы с разной текстурой мезорельефа могут характеризоваться одинаковыми розами-диаграммами);
- 2) наблюдаемый однотипный структурный рисунок проявлен независимо от мощности платформенного перекрытия кристаллического фундамента (докембрийские блоки, практически лишенные чехла, и блоки с относительно мощным чехлом могут характеризоваться одинаковыми розами-диаграммами);

3) в пределах жестких докембрийских блоков молодая линеаментная сеть, выраженная в современном рельефе, избирательно использует ансамбли более древних разломов и пликвативных структур докембрийского фундамента.

**Полигон «Николаев»** в структурном отношении сходен с полигоном «Одесса», частично перекрываясь с ним территориально. Он включает южную часть докембрийского щита (на широте Первомайска и Кривого Рога) и его пологий южный склон, перекрытый относительно маломощным платформенным чехлом. По текстуре рельефа полигон грубо можно разделить на три части: северо-западную, юго-западную и восточную. Граница между юго-западной и северо-западной проходит приблизительно по долине Южного Буга. Восточная часть располагается восточнее широты г. Николаев. Запад и восток полигона различаются, прежде всего, преобладающей ориентировкой речных долин: СЗ направлением в западной части и СВ — в восточной.

Роза-диаграмма тополинеаментов для *западной части полигона «Николаев»* аналогична таковой для полигона «Одесса». Здесь характерны пять значимых достоверных максимумов (по часовой стрелке):  $270^\circ$ ,  $295\text{--}305^\circ$ ,  $355\text{--}0^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $35^\circ$ . Из них подавляющим преимуществом пользуются два —  $295\text{--}305^\circ$  и  $355\text{--}0^\circ$ , образующие сопряженную пару.

*Восточная часть полигона «Николаев»* обнаруживает существенные отличия розы-диаграммы от ранее рассмотренных. При совпадении многих максимумов здесь мы отмечаем такие изменения: 1) исчезновение максимума  $270^\circ$ ; 2) резкое уменьшение роли максимума  $300^\circ$ ; 3) появление новой сопряженной пары ( $350^\circ$  и  $30\text{--}40^\circ$ ), которая начинает играть определяющую роль; 4) появление нового максимума  $10^\circ$ . Общая директивность диаграммы меняется на субмеридиональную, при этом важное значение в общем структурном рисунке приобретает максимум  $30\text{--}40^\circ$ . Объяснение такого изменения вида структурной диаграммы мы связываем с тем, что здесь большая часть территории перекрыта мощным четвертичным чехлом. Сквозь него пробились только те тектоносистемы, которые были активны в голоцене. Вероятно, на изменение вида диаграммы также повлиял возможный переход территории в зону динамического воздействия север-северо-восточного мегалинеамента — Криворожско-Кременчугского глубинного шва, имеющего ориентировку  $5\text{--}15^\circ$ .

Таким образом, на основании почти полного сходства роз-диаграмм линеаментов для полигонов «Добруджа», «Одесса» и западной части полигона «Николаев», можно говорить о едином для этих регионов иницирующем поле напряжений (см. рис. 1). Такой же структурный парагенезис тополинеаментов и трещинно-разломных сетей установлен на территории Приднестровской Подолии [16]. Площадь распространения данного парагенезиса в пределах исследованных нами территорий Балканид, Добруджи, ЮВ Карпат, Подолии, Приднестровья, Побужья составляет примерно  $300 \times 800$  км, что указывает на формирование его под воздействием широкого регионального относительно равномерного регулярного поля напряжений. Диагностируемый парагенезис тектоно-тополинеаментных систем обусловлен динамическим влиянием наиболее крупной глубинной разломной зоны на данной территории — долгоживущей трансрегиональной (трансевропейской) шовной зоны Т-Т северо-западного ( $\sim 315\text{--}320^\circ$ ) простираения, аппроксимирующей директивные направления тополинеаментной сети. Ширина динамического воздействия этой шовной зоны по предварительным

оценкам составляет ~300 км. В общую систему этой зоны, кроме главного глубинного шва Т-Т, связанного на территории Добруджи с разломом Печеняга-Камена, входят также ряд соседних субпараллельных глубинных разломов — Одесский и Западнокрымский. Шовная зона Т-Т как мегалинеамент планетарного масштаба является здесь основным структурообразующим направлением.

Согласно палеотектоническим и палеогеографическим реконструкциям [2], лито-фациальная граница вдоль линии Т-Т существовала с поздней юры, определяя границы поднятых и опущенных блоков. Последующая активность этой зоны в кайнозое и сохранение ее структурной кинематики доказывается наблюдениями и статистическими подсчетами ориентировок спелеоиницирующих трещин в торгонских гипсах Подолии и понтских известняках Одессы [9, 16]. Таким образом, подтверждается долгоживущий характер (с поздней юры до настоящего времени) регионального поля напряжений, сформировавшего однотипную трещинно-разломную сеть на данной территории.

**Полигон «Приазовье»** охватывает юго-восточную часть Украинского кристаллического щита, его восточный и северный склоны, в том числе часть Днепровско-Донецкой впадины и Скифской плиты. Общая территория включает Днепропетровскую, Запорожскую, Донецкую и Луганскую области Украины, а также часть Ростовской и Краснодарской областей РФ.

По виду роз-диаграмм тополинеаментов полигон резко отличается от ранее рассмотренных — здесь доминируют субширотная (270—280°) и восток-северо-восточная (45—60°) системы линеаментов. При этом разные районы «Приазовья» очень сходны между собой по направлению вытянутости (директивности) диаграмм. Есть все основания для выделения второго регионального морфологического типа роз-диаграмм (в отличие от первого, характерного для полигонов «Добруджа», «Одесса» и западной части полигона «Николаев»). В целом диаграммы второго типа, как и первого, характеризуются ярко выраженной анизотропией. Однако степень анизотропии здесь сильнее — резко доминирует одно (субширотное) или два (субширотное и восток-северо-восточное) направления. Это может свидетельствовать о большей величине анизотропии регионального поля напряжений по сравнению с полигонами «Добруджа» и «Одесса».

Для полигона «Приазовье» характерно: 1) общее количество значимых максимумов — восемь-десять (по часовой стрелке): 270°, 280°, 290°, 350°, 0°, 20°, 45°, 60°, 70—75°, 80°. Это говорит об использовании данной линеаментной сетью всей пространственной матрицы разломов, существовавших здесь начиная с раннего докембрия, а также о присутствии нескольких структурных парагенезисов линеаментных сетей; 2) количественно доминируют только три главных максимума (в порядке уменьшения значимости): субширотный (270—280°), северо-восточный (45—60°), субмеридиональный (355—5°), формирующие основной парагенезис. Угол между двумя главными сопряженными направлениями (270—280° и 45—60°) составляет 40—45°, что определяет их вероятное отнесение к сколовому R-P—парагенезису.

Доминирование в пределах полигона сколовой сопряженной пары 270—280° и 45—60° может быть обусловлено динамическим влиянием глобального (надрегионального) тектонолинеамента — Главного Азовского (или Азово-Черноморского, Азово-Сиваш-Каркинитского) глубинного разлома. На востоке мегалинеамент пространственно совпадает с направлением долины р. Дон и Таганрогского

залива, в пределах азовской акватории — с Главным Азовским нарушением, далее на запад проходит вдоль северной береговой линии Тарханкутского полуострова, вдоль системы грабенных пересечений северо-западный черноморский шельф в направлении дельты Дуная, затем вдоль восток-северо-восточного участка долины Дуная до юго-западного края Мизийской плиты. Дальнейшее его продолжение через Балканы прослеживается не столь явно. Общая протяженность мегалинеамента более 1500 км. Представляется возможным, что наблюдаемый структурный рисунок полигона «Приазовье» обусловлен системой вторичных сколов в зоне динамического влияния этого мегалинеамента.

Такая интерпретация структурного рисунка полигона «Приазовье» находит свое подтверждение в работе А.Я. Краснощека [10], где были изложены представления о зигзагообразном эшелонированном строении и унаследованном развитии Главного Азовского разлома, основанные на геофизических материалах и данных о рельефе морского дна. Директивное «азовское» простирание  $75^\circ$  формируется из фрагментов как собственно  $75^\circ$ , так и сочетанием вторичных зигзагообразных субширотных и северо-восточных направлений. Наличие здесь зоны глубинного разлома подтверждается данными ГСЗ. В гравитационном поле он выделяется по цепочке относительных минимумов силы тяжести и гравитационным ступеням.

Исходя из вышеизложенного, мы можем вполне обоснованно предполагать, что структурный парагенезис линеаментов полигона «Приазовье» обусловлен влиянием широкой зоны тектонической активизации, связанной с Азово-Черноморским глубинным мегалинеаментом. Ширина этой зоны, учитывая результаты наших исследований по акватории и континентальной части, предварительно оценивается в 350 км. Предполагается меловой возраст начала формирования данного парагенезиса — такой же возраст начала формирования Главного Азовского мегалинеамента [10]. Вполне очевидно наследование общего структурного плана в последующих молодых активизациях вплоть до настоящего времени.

Структурный парагенезис тополинеаментов полигона «Приазовье» не соответствует в общем пликративной структурной основе докембрийского кристаллического фундамента (в фундаменте доминируют субмеридиональные и северо-северо-восточные пликративные элементы). Это говорит о том, что проявленная в рельефе молодая сеть линеаментов, накладываясь на докембрийский фундамент, создает свой собственный новый структурный парагенезис, селективно используя древнюю разломную матрицу и адаптируя ее к новым условиям. Этот вывод подтверждается также на докембрийском блоке полигона «Одесса».

**Полигон «Крым»** в геотектоническом отношении состоит из двух типов областей: платформенных и субплатформенных (части Скифской плиты), а также альпийского орогена Горного Крыма. По общему виду роз-диаграмм тополинеаментов Крым неоднороден — здесь имеют место как минимум два их морфологических типа (подтипа). Самый общий взгляд на характер диаграмм разных районов полигона (см. рис. 1) обнаруживает как черты сходства, так и различия между ними.

**Черты сходства.** На всех диаграммах разных областей присутствуют качественно одни и те же (или очень близкие) повторяющиеся статистические максимумы, общее количество которых составляет от четырех до десяти:  $270^\circ$ ,  $280^\circ$ ,  $290^\circ$ ,  $300^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45-50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ . Наименьшей дисперсией характеризуется ортогональная пара направлений — меридиональное  $0^\circ$  и широтное  $270^\circ$ . Они хо-



рошо проявлены на всех диаграммах, азимутально строго выдержаны (образуют узкие пики). Диагональные и субдиагональные направления по сравнению с ортогональными проявлены мощнее и с большей дисперсией (до  $10^\circ$ ).

*Черты различия.* Наиболее ярко различия между районами полуострова выражены в направлении и степени анизотропии диаграмм (см. рис. 1). Наименьшей анизотропией обладают, как это ни удивительно, горные складчатые области на юге, а наибольшей — платформенные равнинные области на севере и востоке. Это может указывать на то, что в горных областях равномерно проявлены несколько разнонаправленных стресс-парагенезисов, в то время как в платформенных доминирует один стресс-парагенезис, сходный с морфотипом полигона «Приазовье». Нарастание степени изотропии диаграмм происходит с северо-востока на юго-запад. Намечается разделение полигона по степени анизотропии диаграмм на три зоны: I — Керченский п-ов (резко анизотропный вид); II — северные равнинные и юго-восточные горные области (Судак, Ялта; промежуточный, умеренно анизотропный вид); III — юго-западная горная область (Форос; изотропный вид).

Наряду с изменением степени анизотропии меняются также общая «вытянутость» диаграмм и направление директивности. Для Керченского п-ва оно — субширотное восток-северо-восточное (аппроксимирующее направление  $75^\circ$ ); для центральных и северных областей — северо-восточное (аппроксимирующее направление  $45^\circ$ ). В пределах южного района «Форос» диаграмма становится изотропной, и для юго-западного района «Севастополь-Гераклея» директивное направление меняется на северо-западное (аппроксимирующее направление  $310\text{—}330^\circ$ ). Такая эмпирическая закономерность находится в полном соответствии с общей «дугообразной» формой крымского альпийского орогена, обращенного выпуклостью на северо-запад. Это указывает, что в юго-западном направлении происходит переход от зоны динамического влияния восток-северо-восточного Главного Азовского мегалинеамента к зоне влияния другого мегалинеамента, северо-западного (Т-Т). Похожие представления были высказаны А.В. Чекуновым [25], который писал, что Крымский полуостров расположен на пересечении двух разломных систем — северо-восточной и северо-западной, в области их суперпозиции.

Наибольшую степень анизотропии структурного рисунка в Крыму обнаруживает *Керченский полуостров*. Диаграмма здесь по качественному и количественному соотношению максимумов полностью аналогична морфологическому типу полигона «Приазовье, центр» (рис. 1, 3). Учитывая относительную территориальную близость этих областей (их разделяет Азовское море), представляется очевидным, что новейшая линеamentная сеть обеих областей сформирована под воздействием одного и того же поля напряжений, обусловленного активизацией долгоживущей глубинной разломной зоны Главного Азовского (Азово-Черноморского) мегалинеамента.

Меловой возраст инициации Азово-Черноморского мегалинеамента [10] и его последующее влияние на формирование молодых структур Керченского п-ва показывают, что этот структурообразующий мегалинеament проявлял активность на протяжении всего неотектонического этапа, включая современный.

*Области Северного Крыма* также обнаруживают большое сходство с полигоном «Приазовье», точнее с его отдельными областями (см. рис. 3). Сходство это

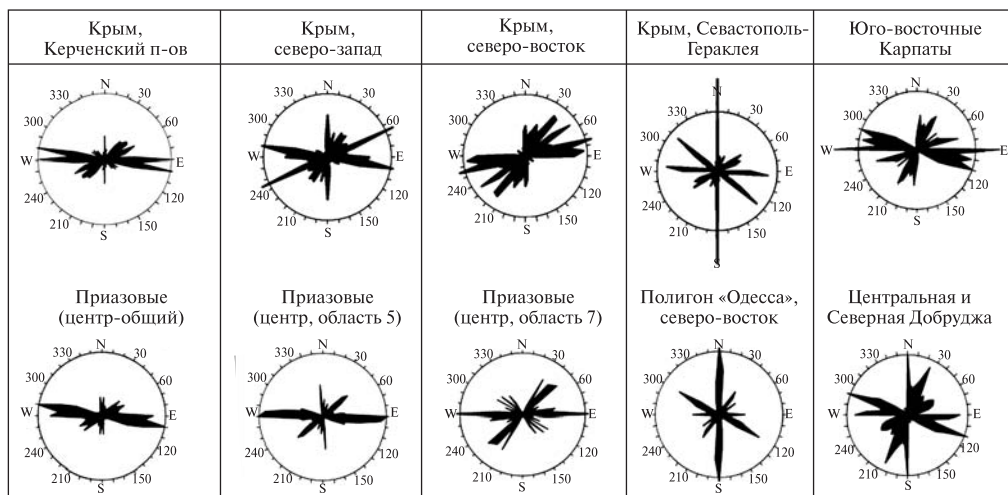


Рис. 3. Примеры аналогий (см. столбцы в рисунке) роз-диаграмм тектоно-тополинементов различных в структурно-тектоническом отношении районов Северного Причерноморья

выражается в одинаковом восток-северо-восточном направлении директивности диаграм, в совпадении значений и количественных соотношений главных максимумов. Отличие областей Северного Крыма от областей «Приазовья» лишь в том, что первые менее анизотропны, в них четче и мощнее проявлено меридиональное направление.

Среди платформенных и субплатформенных областей Крыма особняком стоит крайний юго-западный район «Севастополь-Геракля». Для него отмечаются уже не восток-северо-восточные румбы директивности диаграммы, а север-северо-западные, какие свойственны первому региональному морфотипу роз-диаграмм, характерному для полигонов «Добруджа», «Одесса» и западной части полигона «Николаев». Сравнение с конкретными областями показывает наибольшее сходство диаграммы района «Севастополь-Геракля» с северо-восточным районом полигона «Одесса» (см. рис. 3). Представляется вполне очевидным соответствие района «Севастополь-Геракля» первому региональному морфотипу диаграмм и связь его с зоной влияния Одесского глубинного разлома, который, в свою очередь, связан с более крупным мегалинеamentом этого же направления — шовной зоной Т-Т.

Области горного Крыма («Форос», «Ялта», «Судак») качественно (по наличию одних и тех же достоверных максимумов) во многом сходны между собой и с платформенными областями севера и востока Крыма, сохраняя при этом достаточно выразительные индивидуальные черты. Устанавливаются девять достоверных максимумов: 270°, 280°, 290°, 0°, 10—20°, 30°, 45°, 55—65°, 75°. Для платформенных областей Крыма — 270°, 280°, 0°, 10°, 20°, 30°, 55—65°, 75°. Таким образом, совпадение 8 из 9 максимумов иллюстрирует сходство между платформенными и складчато-орогенными областями Крыма. Различия связаны, как это уже было отмечено, со степенью анизотропии диаграмм, направлением их директивности, мощностью и соотношением главных максимумов.

## Обсуждение результатов

Полученная нами роза-диаграмма тополинеаментов для всей территории Северного Причерноморья (суммарно по всем изученным полигонам, выборка 9878 линеаментов) показана на рис. 4. Морфологически она относительно изометрична и соответствует розам-диаграммам для крупных надрегиональных континентальных и океанических сегментов земной коры [13] и, в частности, розе-диаграмме, построенной нами для территории всей Украины на основании карты разрывных нарушений и основных зон линеаментов юго-запада СССР Н.А. Крылова [8]. Характерно присутствие достаточно ограниченного числа основных линеаментных систем, в ориентации которых наблюдается отчетливая связь с положением современной оси вращения Земли (присутствуют хорошо выраженные меридиональная, широтная и диагональные системы). Примечательно, что ассоциация ортогональных и диагональных систем характерна для всех континентов, океанов и литосферы в целом [13]. Таким образом, устанавливается единство пространственной ориентации тектонолинеаментных сетей Северного Причерноморья, всей Украины, Европы, других крупных сегментов земной поверхности, что указывает на их генетическую связь с глобальным планетарным ротационным полем. Важно отметить, что в указанные системы входят разломы и линеаменты разного ранга и возраста формирования или активизации. Анализ компилятивного материала указывает на сохранение общей закономерной ориентации трещинно-разломных систем на всех масштабных уровнях их организации — от планетарных мегалинеаментов до кливажа [1, 13, 18], что свидетельствует о подчинении ориентировок трещинно-разломных сетей законам фрактальной геометрии [21].

Наряду с общими закономерностями, свойственными планетарной разломной сети, анализ роз-диаграмм тектоно-линеаментных сетей регионального и локального ранга позволяет определить районы с индивидуальными геотектоническими характеристиками, выраженными разной степенью проявления тех или иных доминирующих направлений. Для территории Северного Причерноморья (включая Крым) нами установлены два главных морфоструктурных типа роз-диаграмм, имеющих четкое различие в ориентировке доминирующих максимумов и приуроченных к определенным территориям. Поэтому можно говорить о двух главных *региональных типах роз-диаграмм*: «Одесском» и «Азовском». Они напрямую связаны с разными типами структурных рисунков тектоно-линеаментных сетей и инициирующих региональных полей напряжений. Выделяются также два второстепенных типа роз-диаграмм, имеющих ограниченное территориальное распространение: «Восточнониколаевский» и «Форосско-Ялтинский». Последний, вероятно, не имеет самостоятельного значения, а является интерференцией первых двух.

Исследуемые регионы Северного Причерноморья в соответствии с двумя региональными типами роз-диаграмм линеаментов разделяются на две мегаобласти — западную (полигоны «Добруджа», «Одесса», западная часть полигона «Николаев») и восточную («Приазовье», север и восток полигона «Крым»). Исходя из такого пространственного разделения, территория Северного Причерноморья на мезокайнозойском этапе испытала воздействие двух разноориентированных региональных мегаполей напряжений. Сходные выводы о разделении Черномор-

ского региона на две области, подверженные действию двух различных систем напряжений, были сделаны Е.И. Паталахой с соавторами [15] на основании реконструкций тензоров напряжений в обрамлении Черного моря по очагам землетрясений.

Установлено, что каждый из двух вышеупомянутых главных региональных типов роз-диаграмм или структурных парагенезисов линеаментов — «Одесский» и «Азовский» — никак не зависит от текстуры ландшафта и геотектонической структуры блоков земной коры. Области с разной текстурой ландшафта или принадлежащие к разным геотектоническим элементам земной коры (платформа, прогиб, складчатый ороген, докембрийский щит) и с разной мощностью осадочного чехла могут характеризоваться одинаковыми розами-диаграммами линеаментов. Так, например, Приазовский выступ докембрийского фундамента, практически лишенный осадочного чехла, и часть Индоло-Кубанского прогиба в пределах Керченского полуострова с мощным осадочным наполнением характеризуются совершенно одинаковыми розами-диаграммами. Также идентичны по характеру роз-диаграмм области альпийской складчатости Балканид, ЮВ Карпат и прилегающие платформенные области Мизийской плиты и Предкарпатского прогиба. Это свидетельствует о том, что инициирующие формирование линеаментных сетей поля напряжений имеют надрегиональный (скорее всего, планетарный) масштаб, воздействуют на всю мощность земной коры и верхней мантии. Они мало зависят от особенностей геотектонического строения блоков земной коры и от мощности осадочного чехла. Эти признаки вместе с доминированием ограниченного числа направлений, свойственных планетарной системе разломов, указывают на генетическую связь инициирующих полей напряжений с ротационным режимом планеты. Молодые мезокайнозойские разломные сети качественно используют всю пространственную матрицу разломов, существовавших с раннего докембрия, однако количественно адаптируют ее к новым структурно-тектоническим условиям. Новый структурный кинематический парагенезис может не соответствовать более древней пликативной структурной основе.

Выявленные региональные морфотипы роз-диаграмм и структурных парагенезисов проявлены на огромных площадях. Например, «Одесский» тип охватывает из изученных нами территорий Предбалканский форланд, Мизийскую плиту, Центральную и Северную Добруджу, Преддобруджский прогиб, ЮВ Карпаты,

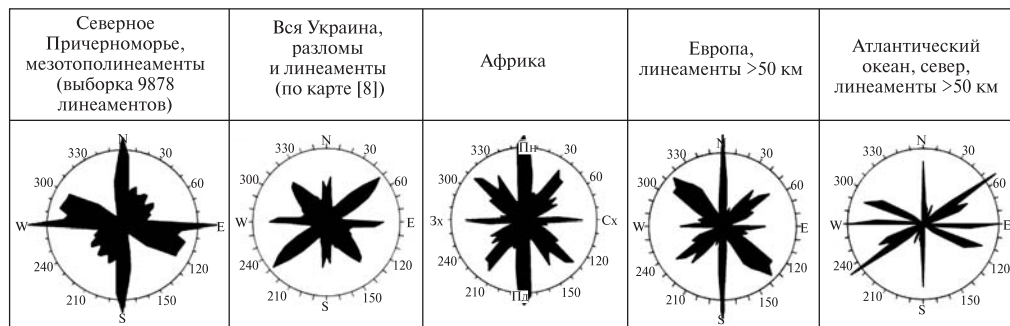


Рис. 4. Соответствие суммарной розы-диаграммы всех мезотополинеаментов Северного Причерноморья (выборка 9878 линеаментов) розам-диаграммам крупных надрегиональных континентальных и океанических сегментов земной коры [13]

Приднестровье, Одесскую и западную часть Николаевской областей, занимая площадь  $300 \times 800$  км, что указывает на формирование его благодаря воздействию широкого, регионального поля напряжений.

Один из важных научных результатов работы — подтверждение точки зрения И.И. Чебаненко с соавторами [24] о приоритетности двух диагональных мегалинеаментных зон (их структурообразующей роли) в формировании разломных сетей Северного Причерноморья на протяжении мезокайнозоя. Анализ тектоно-тополинеаментов мезомасштабного ранга (непосредственного объекта наших исследований, к которому относятся разломные и трещинные сети, проявленные в мезорельефе), показывает их генетическую связь с зонами динамического влияния линеаментов более крупного ранга — региональных и надрегиональных. К таким структурам в пределах площади исследований относятся линеаменты двух направлений (диагонального северо-западного и субдиагонального восток-северо-восточного): СЗ (шовная зона Т-Т) и ВСВ (Азово-Черноморский мегалинеамент). С зоной Т-Т связаны глубинные разломы того же простирания меньшего ранга — Одесский и Западнокрымский. Доминирование двух диагональных систем разломов, контролирующих основные тектонические элементы Черноморского региона, отражается также в особенностях распределения магнитного и гравитационного полей [19].

Линеаменты меридионального направления не были структурообразующими в мезокайнозое и не формируют своих полей влияния, своих сетей. Они образовались как второстепенные вторичные дизъюнктивы в парагенезисах диагональных и субдиагональных линеаментных зон путем перманентного обновления меридиональной системы планетарной трещиноватости и более древних субмеридиональных разломных зон докембрийского фундамента. Последние широко проявлены на Украинском щите (Ингульская (Кировоградская), Криворожско-Кременчугская, Орехово-Павлоградская зоны). В фанерозое они остаются канвой развития оновленных разломных систем. Так, например, для первого регионального морфотипа роз-диаграмм («Одесского») меридиональная система остается в числе главных направлений, отражая специфику региональных и локальных геодинамических напряжений.

В Северном Причерноморье индивидуальные различия роз-диаграмм для разных локальных соседних областей обусловлены степенью динамического влияния ближайших мегалинеаментов более крупного ранга. Практически по характеру роз-диаграмм можно достаточно обоснованно проводить отрисовку зон влияния этих мегалинеаментов.

Важно отметить, что общий структурный план территории (подчинение двум взаимопересекающимся субдиагональным мегалинеаментам, Т-Т и Азово-Черноморскому) не менялся, по крайней мере, с конца юры и до настоящего времени, что противоречит возможности существования значительных латеральных сдвиговых перемещений и реализации плейт-тектонических механизмов при формировании Черноморского бассейна, а свидетельствует о малосдвиговом типе дислокаций. Многие исследователи [24] указывают на еще более древний возраст (конец палеопротерозоя) заложения указанных мегалинеаментов. Уместно вспомнить, что крупные линеаменты раннепалеозойского возраста, ограничивающие Днепровско-Донецкую впадину, почти параллельны зоне Т-Т и многим другим крупным надрегиональным структурам ВЕП. Это еще раз

подчеркивает общую унаследованность регматического плана, по-видимому, еще с раннего докембрия.

Приведенные результаты и методика исследований могут иметь реальное практическое значение для поисков полезных ископаемых. Например, основная раздвиговая компонента внутри «Одесского» парагенезиса (мегаполя) связана со сколо-раздвигами ЗСЗ направления с ориентировкой  $\sim 300^\circ$  [16], что указывает на приоритет этой системы трещин/разломов для миграции поверхностных и глубинных рудоносных флюидов. Для периклиналей Крымского горного сооружения с точки зрения поиска зон золотосульфидной минерализации приоритетны тектонолинеаментные зоны северо-восточного простирания [7, 28], многие из которых до настоящего времени еще не выявлены. Это касается также проявлений природных битумов, которые связаны в западном Крыму с разломами меридионального простирания [6]. Комплекс проведенных исследований показывает, что каждая конкретная геодинамическая ситуация находит свое индивидуальное отражение в характерных ансамблях дизъюнктивных структур. Выявление границ распространения этих ансамблей может оказать существенную помощь в решении конкретных задач тектонического районирования и выявления перспективных районов поиска определенных типов полезных ископаемых.

## **Выводы**

1. Главные системы тополинеаментов Северного Причерноморья ориентированы в достаточно ограниченном числе направлений, соответствующих планетарной регматической сети. Ориентировка этих главных систем фактически повторяет параметры тектонолинеаментных сетей крупных надрегиональных континентальных и океанических сегментов земной коры. Таким образом, на надрегиональном уровне устанавливается единство пространственной ориентации тектоно-тополинеаментных сетей Северного Причерноморья с такими же системами всей Украины, Европы, других крупных сегментов земной поверхности. Это свидетельствует об их генетической связи с глобальной сетью тектонических нарушений, обусловленных ротационным режимом Планеты. Влияние локальных геодинамических нагрузок находит отражение в особенностях организации ансамблей разрывных нарушений отдельных районов, областей и зон и фиксируется, в первую очередь, по степени развитости тех или иных максимумов роз-диаграмм.

2. Главенствующее влияние на формирование структурного плана разломных сетей Северного Причерноморья в мезокайнозое (включая современный неотектонический этап) имели две трансрегиональные мегалинеаментные глубинные (мантийно-коровые) зоны, относящиеся к диагональным системам регматической сети планетарного масштаба: диагональная северо-западная шовная зона Т-Т ( $315\text{—}320^\circ$ ) и субдиагональная восток-северо-восточная зона Азово-Черноморского глубинного разлома ( $75^\circ$ ). Последняя соответствует в общем приближении юго-западной границе ВЕП. Эти зоны являются структурообразующими для формирования параллелепипедальных (ромбовидных) разломных сетей различной ориентировки. Первая зона формирует ромбовидную сеть с парагенезисом меридионального и запад-северо-западного ( $285\text{—}300^\circ$ ) направлений, вторая — с парагенезисом северо-восточного ( $40\text{—}55^\circ$ ) и восток-юго-восточного (субширот-

ного 90—100°) направлений. Значительные площади распространения этих двух основных типов структурных рисунков — основание для выделения *двух главных региональных типов разломных сетей* — «Одесского» и «Азовского». Динамическое взаимовлияние вышеуказанных двух мегалинеаментных зон определило, в основном, динамику развития в мезокайнозойе всех остальных линеаментов меньшего ранга на исследованной территории.

3. Полевые наблюдения, анализ картографического и компилятивного материала указывают на высокую степень тектонической активности (вплоть до настоящего времени) и раздробленности территории.

4. Унаследованность и фиксированность структурного плана разломных сетей Северного Причерноморья на протяжении мезокайнозоя свидетельствует о малосдвиговом типе дислокаций и подтверждает традиционную для украинской геологической школы разломно-блоковую модель геодинамического развития региона [3, 23 и др.].

5. Анализ площадного распределения роз-диаграмм тополинеаментов позволяет проводить автоматизированное объективное картирование и районирование территории по типам структурных рисунков разломных сетей. Это имеет чрезвычайно важное значение для установления закономерностей локализации и структурной обусловленности проявлений полезных ископаемых, в частности углеводородов. Результаты проведенных работ закладывают основу разработки методики автоматизированного тектонического и геодинамического картирования любых участков земной поверхности либо дна акваторий, покрытых сетью спутниковых радарных съемок (SRTM, GEBCO).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин В.М. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. СПб: Недра, 2006. 161 с.
2. Афанасенков А.П., Никишин А.М., Обухов А.Н. Геологическое строение и углеводородный потенциал Восточно-Черноморского региона. М.: Науч. мир, 2007. 172 с.
3. Бондарчук В.Г. Геология Украины. Київ: Вид-во АН УРСР, 1959. 832 с.
4. Занкевич Б.А., Шафранская Н.В., Мельниченко Т.А. Унаследование структурных планов северо-западной шельфа Черного моря. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2009. № 1. С. 52—60.
5. Занкевич Б.А., Шафранская Н.В. Тектоническая позиция зоны газовых факелов северо-западной части Черного моря. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2009. № 3. С. 35—54.
6. Иванов В.Е., Ломакин И.Э., Крутов В.В. О находке битумсодержащих пород в районе г. Севастополя. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2009. № 3. С. 85—89.
7. Иванов В.Е., Ломакин И.Э., Тополок А.С., Ефремцева Л.Л., Болдырев С.Н. Особенности тектоники Юго-Западного Крыма. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2009. № 4. С. 27—39.
8. Карта разрывных нарушений и основных зон линеаментов юго-запада СССР (с использованием материалов космической съемки), м-б 1: 1 000 000. Ред. Н.А. Крылов. Составители: М.Г. Распопова, И.Б. Вишняков, Л.С. Галецкий, Р.Г. Гарецкий, В.В. Глушко и др. 1988.
9. Климчук А.Б., Пронин К.К., Тимохина Е.И. Спелеогенез в понтических известняках Одессы. *Спелеология и карстология*. 2010. № 5. С. 76—93.
10. Краснощек А.Я. Пространственные особенности активизации глубинных разломов в западной части Черного моря. *Геол. журн.* 1989. № 1. С. 84—88.
11. Ломакин И.Э. Линеаменты дна Атлантического океана. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2012. № 2. С. 5—24.
12. Ломакин И.Э. Линеаменты дна Индийского океана. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2009. № 1. С. 5—14.

13. Ломакин И.Э., Анохин В.М., Кочелаб В.В., Покалюк В.В., Шафранская Н.В., Шураев И.Н. Тектонолинеаменты и некоторые проблемы глобальной тектоники. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2016. № 3. С. 59—75.
14. Мельниченко Т.А., Шафранська Н.В. Тектоника и структурный план Преддобруджского прогиба. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2010. № 3. С. 76—84.
15. Паталаха Е.И., Гончар В.В., Трофимов Г.Л. Своеобразие современного состояния и геодинамики западной и восточной котловин Черного моря. *Геол. журн.* 1997. № 3—4. С. 145—151.
16. Покалюк В.В., Аронский А.А., Шафранская Н.В., Матошко А.А. Трещиноватость пещер Подолии в аспекте ротационных и тектонических причин образования. *Геофиз. журн.* 2012. 34, № 6. С. 101—112.
17. Расцветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений. *Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов*, ч. 2. М.: ГИН АН СССР. 1987. С. 173—235.
18. Свинко И.М. Основные черты новейшей тектоники северной части Подолии. Материалы по четвертичному периоду Украины. Киев: Наук. думка, 1974. С. 376—385.
19. Старостенко В.И., Макаренко И.Б., Русаков О.М., Пашкевич И.К., Кутас Р.И., Легостаева О.В. Геофизические неоднородности литосферы мегавпадины Черного моря. *Геофиз. журн.* 32. № 5. 2010. С. 3—21.
20. Стоянов С. Механизм формирования разрывных зон. М.: Недра, 1977. 144 с.
21. Тверитинова Т.Ю., Курдин Н.Н. Разрывные нарушения как фрактальные динамические системы: Тезисы науч. конф. «Ломоносовские чтения», Секция Геология, апрель 2005 г. URL: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1172760>
22. Ходоровский А.Я., Апостолов А.А. Метод количественного выделения систем линеаментов. *Доп. НАН України*. 2013, № 1. С. 111—117.
23. Чебаненко И.И., Довгаль Ю.И. и др. Тектоника Северного Причерноморья. Отв. ред. И.И. Чебаненко. Киев: Наук. думка, 1988. 164 с.
24. Чебаненко И.И. Розломна тектоніка України. Київ: Наук. думка, 1966. 180 с.
25. Чекунов А.В. Крым в системе разломов Черноморского региона. *Доклады академии наук СССР. Сер. Б*, № 3., 1990. С. 20—24.
26. Чекунов А.В., Веселов А.А., Гилькман А.Н. Геологическое строение и история развития Причерноморского прогиба. Киев: Наук. думка, 1976. 162 с.
27. Шафранська Н.В. Алгоритм побудови кругових структурних діаграм, реалізований у середовищі ГІС. *Геоінформатика*. 2011. № 1. С. 80—83.
28. Шнюков Е.Ф., Гаврилюк И.В., Маслаков Н.А., Красножина З.В., Ломакин И.Э. Золото в недрах Крыма. Киев: Логос, 2010. 187 с.

Статья поступила 29.08.2016

*І.Е. Ломакін, В.В. Покалюк,  
В.В. Кочелаб, Н.В. Шафранська, І.М. Шураєв*

#### ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОСТОРОВОГО ОРІЄНТУВАННЯ ТОПОЛІНЕАМЕНТНИХ СИСТЕМ ПІВНІЧНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я

Аналіз матеріалів космічної радарної зйомки SRTM із візуалізацією даних у вигляді діаграм тектоно- і тополинеаментів дозволяє виявити в єдиному планетарному полі геодинамічних напружень Північного Причорномор'я райони з вираженими індивідуальними геотектонічними характеристиками. Виділено два головних регіональних типи структурних рисунків тополинеаментних мереж, що обумовлено динамічним впливом різноорієнтованих трансрегіональних мегалінеаментів (розломних зон) — трансєвропейської глибинної шовної зони Тессейра-Торнквіста і Азово-Чорноморського глибинного розлому. Підкреслюється прямий генетичний зв'язок утворення тектонолінеаментних ансамблів з процесами реалізації малоздвигових дислокацій у полі розвитку глобальних регматичних мереж. На підтвердження традиційних положень теорії розломно-блокової будови і розвитку регіону (В.Г. Бондарчук, 1959; І.І. Чебаненко, 1966 та ін.) показано успадкованість і фіксованість просторового орієнтування розломних



мереж мезокайнозою. Результати робіт закладають основу розробки автоматизованої методики різномасштабного дистанційного геодинамічного та тектонічного картування будь-якої ділянки земної поверхні, покритої космічною радарною зйомкою (SRTM, GEBCO).

**Ключові слова:** *Північне Причорномор'я, SRTM, тополінеamenti, розломно-блокова тектоніка, розломні мережі.*

*I.E. Lomakin, V.V. Pokalyuk, V.V. Kochelab, N.V. Shafranskaya, I.N. Shuraev*

#### CONSISTENT PATTERNS OF THE SPATIAL ORIENTATION OF TOPOLINEAMENT SYSTEMS IN THE NORTHERN PRE-BLACK SEA REGION

The analysis of satellite radar images SRTM with data visualization in form of rose-diagrams of tectonic and topographical lineaments allows to identify regional areas with clear individual geotectonic characteristics in a global planetary geodynamic stress field of the Northern Black Sea. Two main regional structural patterns of topographical lineament networks are caused by the dynamic influence of the differently oriented transregional mega lineaments (fault zones) — Transeuroasia Teisseyre-Tornquist deep suture zone and Azov-Black Sea deep fault. A direct genetic relation of the formation of tectonolineament ensembles with the processes of implementation of small shear dislocations in the field of global development regmatic networks is emphasized. In confirmation of traditional theory of fault-block structure and development of the region (V.G. Bondarchuk, 1959; I.I. Chebanenko, 1966 etc.) the heredity and fixedness of the spatial orientation of fault networks during Meso-Cenozoic is shown. The results provide the basis for the development of automated methods of remote multi-scale geodynamic and tectonic mapping of any surface area of the Earth, covered by space radar surveys (SRTM, GEBCO).

**Keywords:** *Northern Black Sea region, SRTM, topographical lineaments, fault-block tectonics, fault networks.*