

УДК 551.24+551.4

АЛЬПИЙСКАЯ ГЕОДИНАМИКА, ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЯ И ГИГАНТСКИЕ ЗИЯЮЩИЕ ТРЕЩИНЫ НА СЕВЕРЕ АРАВИЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Т.П. Белоусов¹, Г.О. Акскалян², Т.П. Арутюнян², А.А. Аслизаян²

¹ Институт физики Земли РАН, Москва

² ЗАО "Атомсейсмоизыскание", Москва

Поступила в редакцию 12.04.05

На основе анализа результатов реконструкции ориентаций оси максимального сжатия альпийского поля напряжений северной части Аравийской платформы предлагается механизм формирования в Сирии гигантских зияющих трещин. Одним из возможных вариантов появления и развития их является активное и неравномерное перемещение Аравийской плиты вдоль Левантского трансформного разлома и Расафинской разрывной зоны на современном этапе развития. В Восточных Пальмирах на тектонические процессы наложились карстовые явления, существенно усложнившие рисунок зияющих трещин в плане.

В конце прошлого столетия группой советских геологов и геофизиков, в которую входили и авторы данной статьи, проводились сеймотектонические изыскания на севере Аравийской платформы (рис. 1). В процессе исследований были составлены схемы новейшей и четвертичной тектоники, выявлены активные разломы, выделены зоны возникновения очагов землетрясений и оценена сейсмическая опасность рассматриваемой территории. Наряду с этим была изучена трещиноватость горных пород и реконструированы альпийские палеонапряжения осадочного слоя земной коры региона. При проведении аэровизуальных наблюдений с вертолета в северо-западной части Аравийской платформы (Сирия) в районе Пальмирских гор на поверхности днища одной из сухих долин (вади) нами была замечена необычная продольная полосчатость. Эти формы рельефа оказались гигантскими зияющими трещинами, пересекающими днище вади Реал Хауа. В процессе последующих полевых исследований примерно в 150 км к северу от этой вади нами были обнаружены зияющие трещины в стенах построек небольшого населенного пункта. Анализ неотектонических данных показал, что и поселок, и вади Реал Хауа размещаются в пределах субмеридиональной зоны Расафинского разлома [31, 38].

Необходимо заметить, что зияющие трещины на земной поверхности являются уникальными геологическими образованиями, наиболее убедительно свидетельствующими о повышенной активности современных геодинамических процессов. Они встречаются довольно редко, располагаясь, как правило, в сейсмоактивных областях. Так, они изучены в пределах Восточно-Африканской рифтовой системы, в зоне разлома Сан-Андреас, во Вьетнаме и в некоторых других регионах. Особенно детально такие тре-

щины обследованы в Центральных Кызылкумах Узбекистана, вблизи эпицентральных зон газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. [16, 26, 27]. Нам представляется, что неизвестные ранее данные о гигантских зияющих трещинах на северо-западе древней Аравийской платформы могут быть интересны широкому кругу специалистов, занимающихся проблемами современной, новейшей и альпийской геодинамики.

Положение изученной территории в структурном плане Аравийской платформы и основные закономерности ее мезозойско-кайнозойского развития

Крупные структурные элементы и геологическое строение северной части Аравийской платформы. Территория, располагающаяся на севере Аравийской докембрийской платформы к югу от Альпийско-Гималайского складчатого пояса, в некоторых работах по тектоническому районированию называется Северо-Аравийским метаплатформенным массивом [22]. Согласно тектоническому районированию глобальной тектоники, практически вся Аравийская платформа входит в состав одноименной литосферной плиты. Северо-восточная и северная границы этой плиты проходят по Загросскому и Таврскому разломам соответственно. С запада Аравийская плита ограничена Левантским (Левантийским) разломом [25, 36, 37], отделяющим от нее Синайскую плиту. Этот разлом простирается более чем на 1000 км в субмеридиональном направлении от залива Акаба Красного моря на север вдоль восточного побережья Средиземного моря до фронтальных складок альпийских сооружений (рис. 2).

На северо-западе Аравийской платформы располагается Пальмирская складчатая зона (Пальмириды),

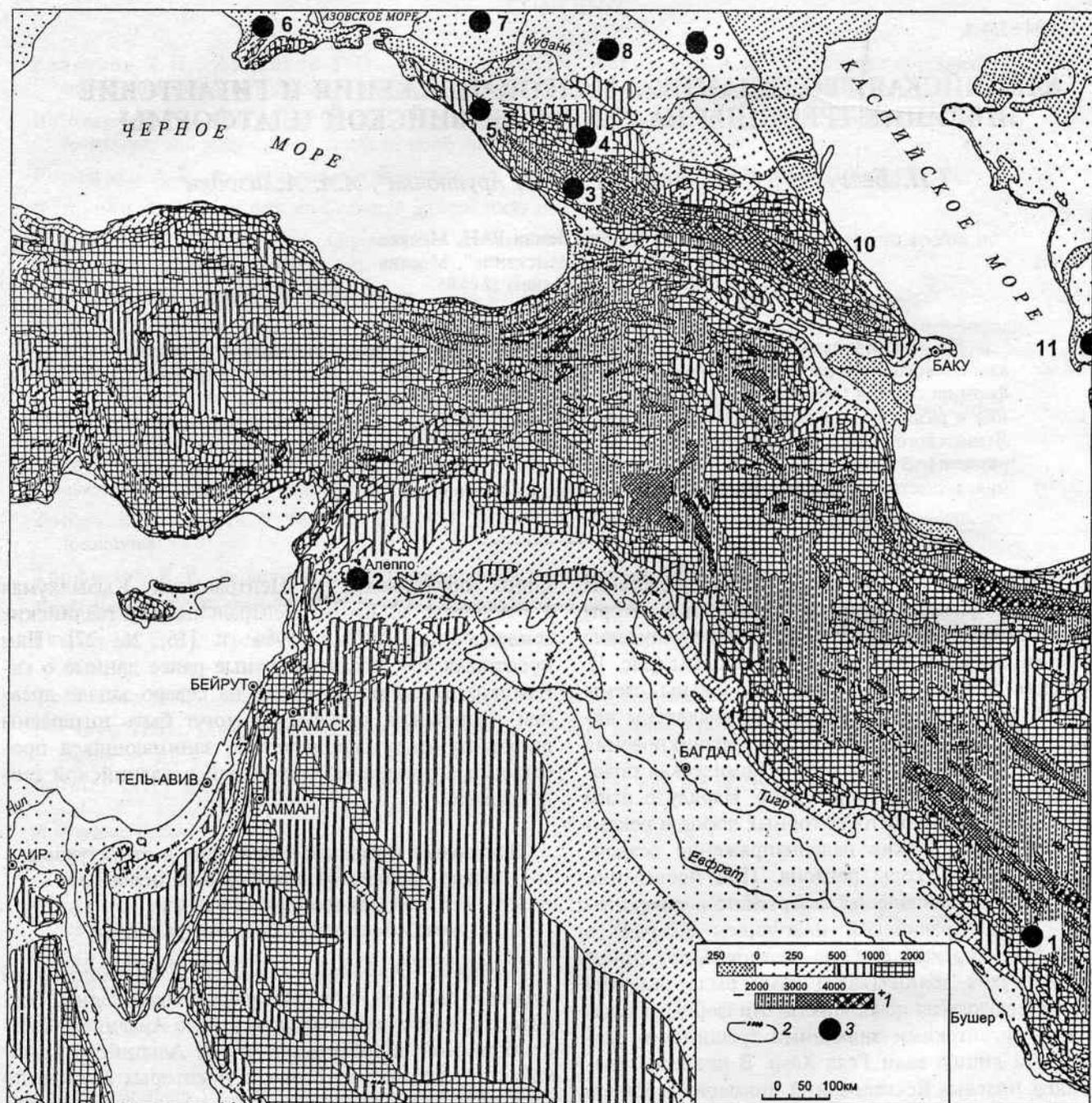


Рис. 1. Схема современного морфоструктурного плана северной части Аравийской платформы и сопредельной территории: 1 — шкала высот генерализованного рельефа, м; 2 — морфоизогины генерализованного рельефа, м; 3 — территории, в пределах которых изучена трещиноватость осадочных горных пород: восточная часть Аравийской платформы и Юго-Восточный Загрос (1), северо-западная часть Аравийской платформы (2), западная часть южного склона Большого Кавказа (3), Северо-Кавказская моноклинал Большого Кавказа (4), Западный Кавказ (5), Крым (6), Азово-Кубанская впадина (7), Ставропольский свод (8), восточная часть зоны сочленения Скифской и Восточно-Европейской платформ (9), Восточный Кавказ (10), Западный Копетдаг (11)

являющаяся интереснейшим морфоструктурным образованием. Эта внутриплатформенная (внутриплитная) структура осложняет равнинную территорию Сирии в ее центральной части, располагаясь к северо-востоку от Дамаска. Пальмириды простираются примерно на 400 км в ВСВ-направлении от хр. Антиливан на юго-западе до долины Евфрата на северо-востоке. К северу от Пальмирид находится

обширное Алеппское поднятие, восточный борт которого ограничен Расафинской разрывной зоной. Последняя располагается примерно в 180 км к востоку от Левантского трансформного разлома, прослеживаясь более чем на 200 км в субмеридиональном (ССВ) направлении. Пальмириды с востока окаймлены Евфратской впадиной, простирающейся на юго-восток. К северо-востоку от этой впадины в

субширотном направлении располагаются поднятия Абд-эль-Азиз и Синд-жар, разделяющие Северо-Евфратскую и Северо-Синджарскую впадины. Эти структуры входят в состав северо-западного замыкания Месопотамского передового прогиба.

Осадочный чехол северной части Аравийской платформы сложен в основном карбонатными породами, представленными морскими отложениями палеозоя и мезозой-кайнозоя. Палеозойские осадочные образования в большинстве случаев залегают непосредственно на докембрийском кристаллическом фундаменте. В их строении принимают участие породы практически всего возрастного спектра [14, 17]. Верхняя часть осадочного чехла, сложенная породами мезозой-кайнозоя, включает в себя триас-юрский, мел-палеогеновый и неоген-четвертичный структурные комплексы [20].

Толща пород мезозойско-палеогенового возраста представлена известняками, мергелями, доломитами, глинами, песчаниками и конгломератами. В основании этой толщи залегают отложения триаса с включениями гипсов, ангидритов и солей. Мощность триаса в Пальмирах превышает 1,5 км. На большей части Сирии, особенно на востоке, породы мезозойско-палеогенового возраста перекрыты неоген-четвертичными отложениями. В пределах Пальмирид палеогеновые, меловые и в отдельных местах юрские образования обнажены на земной поверхности. Самые верхние горизонты платформенного чехла сложены неоген-четвертичной молассой и вулканитами, формирование которых обусловлено новейшей активизацией тектонических процессов. В западной части Сирии эти образования представлены терригенно-карбонатными отложениями, в центральной и восточной — континентальными конгломератами, галечниками, песками и глинами [13, 17, 24, 33, 34].

Основные этапы развития северной части Аравийской платформы в доновейшее время. Формирование осадочного чехла и структуры северной части Аравийской платформы практически в течение всего периода развития протекало в условиях относительного тектонического спокойствия. Большинство исследователей предполагает, что основные черты структурного плана этой территории заложены в палеозое [24] и даже в докембрии [32]. Результаты новых геологических исследований [17] показали, что начало формирования крупных структурных элементов рассматриваемого региона вероятнее всего приходится на середину триаса. На этом этапе развития Ара-

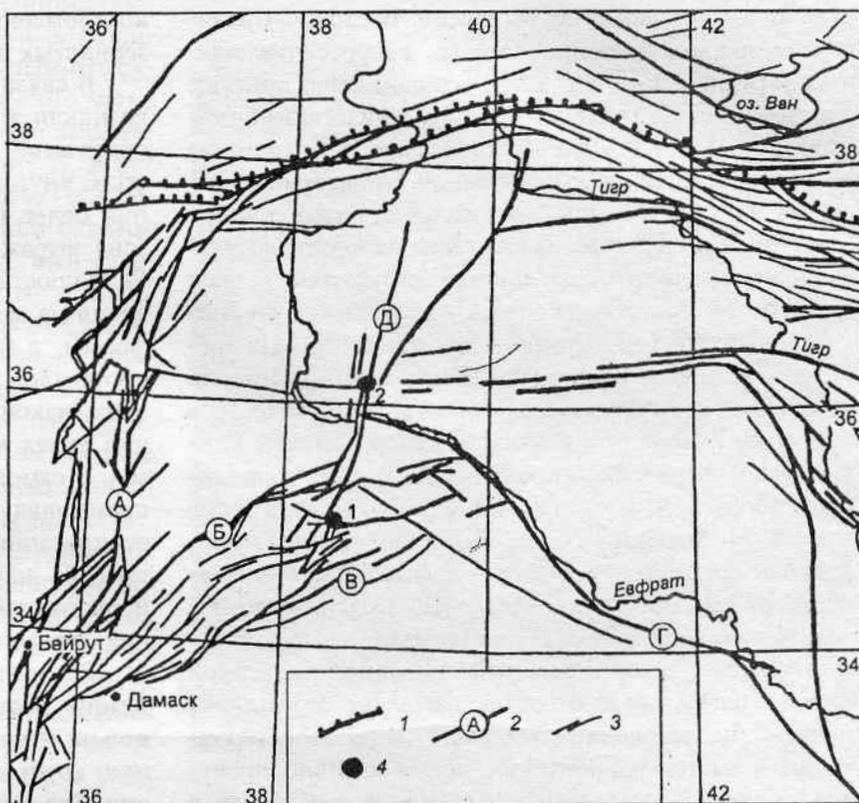


Рис. 2. Схема крупных разрывных нарушений, выраженных в современном рельефе северной части Аравийской платформы и сопредельной территории [3]: 1 — зона Тавро-Загросского надвига; 2 — зоны глубинных и крупных региональных разломов: А — Левантская, Б — Северо-Пальмирская, В — Южно-Пальмирская, Г — Евфратская; Д — Расафинская; 3 — локальные разрывные нарушения; 4 — местоположения вадии Реал Хауа (1) и поселка, в стенах которого развиты зияющие трещины (2)

вия являлась частью Африкано-Аравийской платформы, которая в свою очередь входила в состав Пангеи. На территории последней во второй половине триаса—ранней юре произошло усиление тектонических движений. Активно проявились процессы рифтообразования, предвзяя начало распада суперконтинента [28, 29]. В пределах Аравии процессы тектонической дифференциации, приведшие к дроблению платформы, наиболее активно протекали в ее северной части. По-видимому, именно в это время заложился Пальмирский прогиб, простиравшийся на сотни километров в ВСВ-направлении. К юго-востоку от него формировалась Евфратская зона прогибания [17].

Весьма активно тектонические процессы в пределах рассматриваемого региона протекали и во второй половине юры. Это время являлось важнейшим рубежом геологического развития всего Восточного Средиземноморья и особенно территории северной части Аравийской платформы. В ее пределах в средней и большей части поздней юры повсеместно проявлялись нисходящие движения, что способствовало трансгрессии моря и распространению морских отложений соответствующего возраста [20]. Главной чертой интервала времени, охватывающего конец юры—начало мела, явилось усиление восходящих движений на севере Аравийской платформы, что

обусловило проявление регрессии Восточно-Средиземноморского бассейна. Особый интерес представляет середина позднего мела, которой было присуще чередование нисходящих и восходящих тектонических движений. Примерно такие же геологические условия развития рассматриваемой территории существовали на протяжении большей части палеогена.

Новейший этап развития северной части Аравийской платформы. Современный структурный план Аравийской платформы создан в результате активного проявления неотектонических движений. На границе олигоцена и миоцена Африкано-Аравийский континент вступил в новейший этап геологического развития. Вскоре после этого на северо-востоке континента началось формирование Восточно-Африканской рифтовой системы, приведшее к отделению Аравии от Африки [28, 29]. В раннем миоцене проявилось раскрытие Аденского залива и Красноморского рифта, обусловив начало оформления очертаний Аравийской литосферной плиты.

Анализ схемы новейшей тектоники северной части Аравии, составленной нами по результатам полевых исследований, показал, что на этой территории в неоген-четвертичное время активно проявлялись восходящие движения. На северо-западе в сводовых частях некоторых поднятий вдоль Левантского разлома их амплитуды достигли 2000—3000 м, а в пределах Пальмирской складчатой зоны на большей ее части — 750—1250 м. Наряду с Пальмиридами на северо-западе Аравии развивались сопредельные поднятия (Алеппское, Рутба, Рауда и др.) с амплитудами восходящих движений в отдельных местах до 1000 м.

В большинстве областей относительного прогибания на северо-западе Аравии новейшие воздымания не превысили 500—1000 м. В некоторых приразломных впадинах протекало абсолютное прогибание, амплитуды которого составили —500 ... —1000 м. В их пределах в условиях активизации тектонических процессов, приводящих к усилению контрастности структурных элементов, формировался комплекс континентальных неоген-четвертичных отложений, особенно интенсивно в Дамасской и Северо-Евфратской впадинах, а также по долинам крупных рек. На западе рассматриваемой территории начиная с раннего миоцена формировался Латакийский прогиб, в пределах которого существовали морские условия осадконакопления. В плиоцене морские условия седиментации сохранились лишь на крайнем юго-западе этого прогиба, тогда как на большей его части происходило накопление континентального материала. В конце плиоцена—плейстоцене на северо-западе Аравии накопление отложений происходило на фоне прерывистого воздымания этой территории [13]. Цикличность восходящих движений способствовала формированию морских, озерных и речных террас, а также грубообломочных отложений, представленных

конгломератами и галечниками с прослоями разнозернистых песков, супесей и суглинков.

В связи с тем что гигантские зияющие трещины возникли в пределах восточной части Пальмирской складчатой зоны, рассмотрим новейшую тектонику этого внутриплатформенного структурного образования более подробно. В рельефе региона складчатая зона выражена системой невысоких гряд и хребтов ВСВ-простираения. Они сформировались в Новейшее время на месте глубокого прогиба Аравийской платформы, в пределах которого в мезозое и палеогене протекало активное опускание. Благодаря этому здесь накопилась мощная толща отложений, основной вклад в которую вносят породы нижнего мезозоя. В самом начале неогена в Пальмирском прогибе произошла инверсия тектонического режима. В середине миоцена в верхней части осадочного чехла прогиба началось формирование складчатой зоны, испытавшей практически на всей территории сложнодифференцированное воздымание.

Восходящие движения в Пальмиридах на протяжении неоген-четвертичного времени проявлялись весьма неравномерно, что способствовало обособлению крупных блоков земной коры. В пределах большинства поднятий складчатой зоны амплитуды движений составили предположительно 750—1250 м, в локальных впадинах они не превысили 500 м. Наиболее интенсивно неотектонические движения в Пальмиридах проявились на западе в пределах блока Небк. В северо-восточном направлении активность неотектонических движений этого блока довольно резко понижалась. Величины относительных подвижек по разломам в отдельных местах превысили 500 м.

Тектонический блок, в восточной части которого в рельефе выражены зияющие трещины, называется массивом Тадмор (Билас). Он простирается примерно на 200 км в субширотном направлении. Абсолютные высоты его рельефа составляют 700—1300 м, наивысшая гипсометрическая отметка (1387 м) приурочена к восточной части массива. В Новейшее время тектонические движения в пределах блока Тадмор проявились слабо дифференцированно. За миоцен-плиоценовое время он подвергся поднятию всего лишь на 100—300 м, тогда как за четвертичный период — на 600—900 м.

В пределах Алеппского поднятия новейшие восходящие движения наиболее активно проявились в его северной части, где их амплитуды составили 500—1000 м. Для нее характерно преобладающее СЗ-простираение разрывных нарушений с амплитудами вертикальных относительных перемещений в 50—100 м. Южная часть поднятия была менее подвижна, поэтому амплитуды восходящих движений не превысили здесь 250—550 м. Для этой его части характерно развитие разломов СЗ, субширотного и ВСВ-простираений. Амплитуды относительных перемещений по ним варьируют от 10—20 до 50—100 м.

Вдоль северо-западного и юго-восточного бортов Пальмирид располагаются зоны крупных разломов, развитие которых связано с разрывными нарушениями в фундаменте платформы. Особенно четко в рельефе земной поверхности и на глубине выражена зона Южно-Пальмирского разлома (рис. 2). В нее входит система кулисообразных разрывных нарушений и узких приразломных антиклинальных складок с крутыми юго-восточными и более пологими северо-западными крыльями. Предполагается, что на глубине плоскости этих разрывов составляют единую поверхность, погружающуюся в ССЗ-направлении под Пальмириды. Зона Южно-Пальмирского разлома активно развивается на протяжении всего Новейшего времени. По ней осуществлялись взбросовые перемещения с амплитудами относительных подвижек от 50—100 м на востоке до 500—750 м на западе. С северо-запада и севера Пальмириды ограничены зоной Северо-Пальмирского разлома. Амплитуды относительных движений по ней за Новейшее время не превысили 100—300 м. С северо-востока Пальмириды ограничены зоной Евфратского разлома и одноименным прогибом. Амплитуды вертикальных перемещений по разлому за Новейшее время варьировали от 100 м на северо-западе до 200—300 м в его центральной части.

Наряду с крупными разрывными зонами, ограничивающими Пальмирский складчатый ансамбль, в его пределах широко развиты внутриблочные разломы. В большинстве своем они простираются в ВСВ-направлении, контролируя с юга гребневидные антиклинали. Характер движений по ним, как правило, взбросовый и взбрососдвиговый. На территории блока Тадмор кроме субширотных разрывов выражена система узких грабенов ССВ (субмеридионального) направления, поперечного к общему простиранию Пальмирид. В современном рельефе грабены представлены узкими с крутыми бортами вад. Амплитуды относительных опусканий их днищ в отдельных местах превысили 100 м. Результаты морфоструктурного анализа показали, что формирование субмеридиональных грабенов происходило вероятнее всего в четвертичное время.

Активное развитие Расафинской разрывной зоны и заложение в Пальмиридах субмеридиональных грабенов, параллельных Левантскому разлому, свидетельствуют об активном развитии на северо-западе Аравии перестройки структурного плана. Возникновение гигантских зияющих трещин на поверхности днища одного из субмеридиональных грабенов указывает на продолжение перестройки и на современном этапе развития региона.

Гигантские зияющие трещины в рельефе Сирии

Восточная часть Пальмирской складчатой зоны. Субмеридиональная грабенообразная вад Реал Хауа, на поверхности днища которой нами обнаружены продольные зияющие трещины, находится на восто-



Рис. 3. Характерный облик осевой зияющей трещины на поверхности днища вад Реал Хауа в восточной части Пальмирид

ке горного массива Тадмор в горах Абу-Руджмейн (рис. 1, 2). Длина вад составляет 10—12 км, ширина на уровне днища равна примерно 700 м, максимальная ширина не превышает 1 км. Вад выработана в слоистых известняках верхнемелового возраста. Ее глубина на всем протяжении не выходит за пределы 180—200 м. Она обладает корытообразным поперечным профилем с крутыми (70—80°) нетеррасированными бортами. Плоское днище вад с поверхности сложено верхнеплейстоцен-голоценовыми суглинистыми осадками аллювиально-пролювиального и озерного генезиса.

Гигантские зияющие трещины на поверхности днища вад простираются более чем на 5 км в продольном направлении. В их распределении имеется определенная закономерность. Наиболее четко трещины развиты в рельефе днища южной и северной частей вад, где протяженность каждого из участков трещин составляет около 2 км. В южной части вад при перемещении вдоль нее в северном направлении на плоской поверхности днища, практически лишенной растительности и неровностей, довольно неожиданно обнаруживается прямолинейная канава глубиной 0,3—0,5 м и шириной 0,5—0,7 м. Примерно через 50—100 м она превращается в глубокую рывти-



Рис. 4. Рисунок зияющих трещин на поверхности дна южной части вадии Реал Хауа

ну, по форме напоминающую овраг. Осевая рытвина на 5—6 м врезана в суглинистую толщу, слагающую дно вадии. Ее ширина в верхней части составляет 3—5 м. С глубиной ширина уменьшается до 0,5 м и рытвина превращается в зияющую трещину с плотными субвертикальными стенками, уходящую вниз. Видимая глубина ее проникновения в отдельных местах достигает 10 м. По краям трещины происходит повсеместное отседание грунта, который в одних местах свободно уходит вниз, в других временно засыпает трещину (рис. 3).

Осевая трещина на протяжении более 1 км обладает четкими прямолинейными очертаниями. Севернее она приобретает более сложный рисунок в плане. От нее к бортам вадии ответвляются более мелкие поперечные трещины. Чаще всего они отходят под прямыми и тупыми углами, вследствие чего осевая трещина приобретает коленообразные очертания. Ближе к центральной части вадии ее дно на южном участке практически повсеместно разбито мелкими трещинами, ширина которых варьирует от 1—2 до 10—30 см. В непосредственной близости от осевой зияющей трещины практически на всем ее протяжении располагается старая трещина. Она почти полностью заполнена рыхлым материалом и имеет сглаженные борта. Молодая трещина местами смыкается со старой, но чаще они располагаются рядом (рис. 4, 5).

Длина системы трещин в северной части вадии также превышает 2 км. По морфологическим и морфометрическим признакам трещины на северном и южном участках имеют много общего. На земной поверхности здесь, как и на юге, четко выделяется прямолинейная осевая трещина. При приближении к центральной части вадии рисунок трещины усложняется. Осевая трещина приобретает коленообразный вид в плане. К бортам вадии от нее отходят поперечные трещины более высоких порядков. Важно отметить, что на северном участке, как и на южном, повсеместно рядом с молодыми трещинами развиты более древние. На земной поверхности мо-

лодые трещины не всегда наследуют старые, чаще они располагаются вблизи друг от друга.

Внешний облик трещин, развитых в пределах вадии Реал Хауа, весьма существенно зависит от погодных условий. В засушливые периоды трещины имеют сглаженный вид. Они полузасыпаны рыхлым мелкообломочным материалом, вследствие чего зияющие участки встречаются редко. В периоды дождей материал, заполняющий полости, пропитывается водой и повсеместно проседает, уходя на неизвестную глубину. Трещины приобретают свежий облик, создавая впечатление того, что они только что образовались.

В пределах центрального участка вадии Реал Хауа трещины развиты нечетко и их размеры незначительны. Протяженность этого участка не превышает 1 км.

В вопросе о времени появления трещин много неясного. Этот район Сирии населяют в основном кочующие племена бедуинов, живущих в палатках и шатрах. При их опросе установлено, что трещины возникли где-то в 50-х гг. прошлого столетия. Ранее в пределах вадии существовало мелководное озеро, наполнявшееся в период дождей. Неожиданно это озеро исчезло, а на поверхности его дна проявились трещины. Однако, по словам некоторых бедуинов, трещины на поверхности дна вадии возникли после двух землетрясений примерно в 1950 и 1970 гг. Нам представляется, что частично верны обе версии. Трещины в дна вадии образовались, по-видимому, значительно раньше, чем 50 лет назад. В какой-то период развития они не проявляли активности и были заполнены рыхлым суглинистым материалом. В период дождей в пониженном месте вадии образовалось озеро. Его спуск происходил, по-видимому, во время землетрясений, приводящих к активизации трещин. С точкой зрения о проявлении в этом районе в историческое время двух землетрясений хорошо согласуются и наши данные: в пределах вадии Реал Хауа на земной поверхности развиты трещины двух разновозрастных генераций.

Расафинская разрывная зона и ее морфоструктурное выражение в рельефе Северной Сирии. К северу от Пальмирид и востоку от Левантского разлома, как уже отмечалось, располагается Алеппское поднятие. Его восточный борт ограничен Расафинской разрывной зоной, прослеживаемой в субмеридиональном направлении от северных гряд Пальмирид до фронтальных складок Альпийско-Гималайского складчатого пояса (рис. 2). Анализ крупномасштабных топографических карт, дешифрирование аэрофото- и космических снимков северо-западной части Аравийской платформы свидетельствуют о том, что Расафинская разрывная зона на севере уходит за пределы Сирии. На юге Турции на продолжении этой зоны находится система узких грабенообразных долин субмеридионального простиранья. Их местоположение было уточнено нами при аэровизуальных наблюдениях с самолета, который из Дамаска в Москву на север летел над Расафинской зоной. Была прекрасная видимость, что позволило не только проследить разрывную зону на юге Турции, но и обнаружить на поверхности днища одной из грабенообразных долин продольную полосчатость, аналогичную обнаруженной нами в пределах вадии Реал Хауа.

Южный сегмент Расафинской разрывной зоны находится непосредственно на продолжении грабенообразной вадии Реал Хауа, на поверхности днища которой выражены зияющие трещины. По ширине Расафинская зона на юге не превышает 5–10 км. Амплитуды вертикальных подвижек по отдельным разрывам равны 5–20 м. В современном рельефе раннеплейстоценовой равнины, простирающейся к северу от Пальмирид, южный сегмент разрывной зоны выражен в виде системы кулисообразных субмеридиональных уступов высотой до 10–20 м. Они ограничивают с востока односторонний приразломный грабен, который, согласно геофизическим данным, испытывает относительное опускание. В среднем плейстоцене вдоль него заложилась субмеридиональная долина правобережного притока р. Евфрата.

Примерно в 50 км к северу от Пальмирид на разрывной зоне расположена древняя крепость Расафа (Ar Rasafah), построенная около 1 тыс. лет до н.э. Предполагается, что в древности она была разрушена сильнейшим землетрясением, возникновение которого обусловлено сейсмотектонической активностью Расафинской разрывной зоны. Следы динамического воздействия на крепостные каменные стены и другие постройки прекрасно сохранились до настоящего времени. Подтверждением сейсмотектонической активности Расафинской разрывной зоны является наличие вдоль нее многочисленных палеосейсмодислокаций рельефа.

В районе Евфрата Расафинская разрывная зона пересекается с Евфратским и Синджарским разломами, образуя Раккский дизъюнктивный узел. Переплетение разрывных нарушений субмеридионального, северо-западного и субширотного простиранья зна-

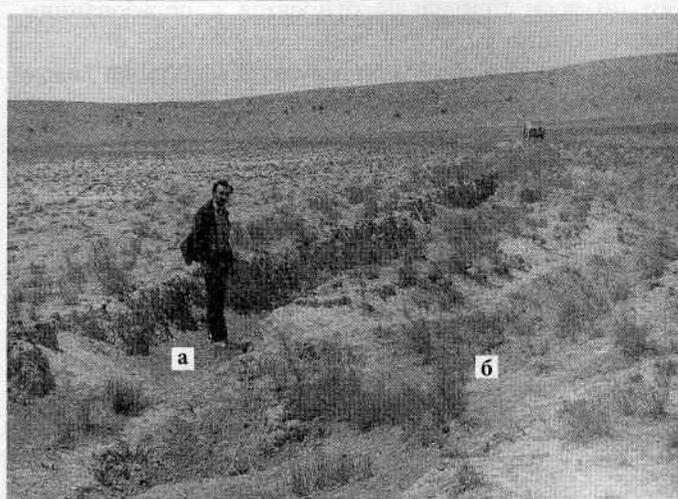


Рис. 5. Осевые зияющие трещины в южной части вадии Реал Хауа: а — молодая; б — старая

чительно усложняет развитие восточной границы Алеппского блока. Об этом весьма убедительно свидетельствует наличие в толще четвертичных отложений в районе дизъюнктивного узла мелких разрывных нарушений, которые буквально пронизывают эту толщу. Субширотное русло Евфрата, пересекая Расафинскую разрывную зону, испытывает резкий коленаобразный изгиб, вследствие чего река более 10 км течет на ССВ. Четвертичные террасы в зоне разлома претерпевают сложные деформации. Повсеместно выражены плейстоценовые и голоценовые сбросы, амплитуды смещений аллювиальных галечников по которым, согласно нашим данным, составляют 0,5–1,0 м. Практически вдоль всех субмеридиональных разрывов сформировались кластические дайки. Примерно в 25–30 км к востоку от Расафинской разрывной зоны по левому берегу Евфрата расположено поле позднеплейстоценовых базальтов. О возможности нахождения в этом районе более молодых (голоценовых, современных) базальтов говорит в своей работе по магматизму Сирии Е.В. Шарков [30]. Это может свидетельствовать о повышенной неотектонической активности Расафинской разрывной зоны.

О высокой сейсмической активности района Раккского дизъюнктивного узла свидетельствуют также грандиозные палеодислокации, располагающиеся к востоку от него по правому борту долины Евфрата. Они протягиваются в субширотном направлении более чем на 20 км при ширине их полосы до 1 км. Дислокации рельефа представлены цирками и мощными блоками отседания, которые деформируют субгоризонтальную миоценовую толщу. Длина отдельных цирков превышает 4–5 км. По соотношению с террасами р. Евфрата нами установлены две стадии их развития в позднем плейстоцене и голоцене. Молодые дислокации зачастую формируются по более древним, местами разрывая уже залеченные трещины в миоценовых гипсоидах. Палеодислока-

ции по всем признакам относятся к образованиям гравитационно-сейсмоструктурного типа.

Примерно в 5 км к северу от Евфрата на левом его берегу расположен молодой поселок, вытянутый вдоль невысоких субмеридиональных уступов Расафинской разрывной зоны. Он был построен для жителей населенных пунктов, находящихся на низких речных террасах и подтопленных при заполнении водохранилища Эль-Асад. В 1980-х гг. в районе поселка произошло небольшое местное землетрясение. При этом стены многих домов были рассечены трещинами, которые из-за сохранявшейся активности Расафинской разрывной зоны оставались активными в течение многих лет. Жилые постройки подвергались долговременному воздействию процесса трещинообразования и не поддавались ремонту. Так, в здании местной школы в результате этого бетонные стены разошлись более чем на 20 см. Недалеко от поселка в толще верхнеплейстоценовых отложений нами были обнаружены субмеридиональные сбросы, кластические дайки и другие голоценовые тектонические деформации. Какие-либо данные, указывающие на развитие в этом месте карстовых явлений, не установлены. Детальное изучение комплекса неотектонических данных позволяет предполагать, что в районе поселка, как и на южных участках субмеридиональной Расафинской зоны, а также в пределах вадии Реал Хауа, активно проявляются современные тектонические процессы.

Необходимо напомнить, что аналогичный процесс современного трещинообразования на стенах домов пос. Тамдыбулак и на земной поверхности Центральных Кызылкумов детально изучен узбекскими учеными [16, 26], а позднее и сотрудниками Института физики Земли РАН при обследовании газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. [10, 19].

Альпийские палеонапряжения и геодинамика северной части Аравийской платформы

К методике реконструкции альпийских палеонапряжений земной коры северной части Аравийской платформы. Для того чтобы установить геодинамические закономерности развития северной части Аравийской платформы и понять механизм формирования современных зияющих трещин на земной поверхности региона, нами проанализирована трещиноватость мезозойско-кайнозойских осадочных пород и на ее основе реконструированы альпийские палеонапряжения. Данные были собраны в процессе полевых сейсмоструктурных и тектонофизических исследований в некоторых районах древней платформы и новейшего Загроса. Так, на северо-западе Аравийской платформы трещиноватость горных пород изучена в 65 обнажениях Сирии (далее — точках наблюдения, ТН). На осадочные образования из них приходится 60 ТН: мезозой (Mz) — 7 ТН: средняя юра (J₂) — 2 ТН, верхний мел (K₂) — 5 ТН;

кайнозой (Kz) — 53 ТН: средний эоцен (Pg₂²) — 8 ТН, верхний эоцен (Pg₂³) — 8 ТН, олигоцен (Pg₃) — 9 ТН, средний миоцен (N₁²) — 19 ТН, плиоцен (N₂) — 8 ТН, верхний плейстоцен (Q₃) — 1 ТН. Наряду с осадочными породами (песчаники, известняки и т.д.) нами в методических целях в 5 ТН изучена трещиноватость базальтов: N₁³ — 2 ТН, Q₁ — 2 ТН, Q₃ — 1 ТН.

Более детально обследована трещиноватость мезозойско-кайнозойских осадочных пород на северо-востоке Аравийской платформы в районе северо-восточного берега Персидского залива и в центральной части Юго-Восточного Загроса. В базу данных занесена информация об элементах залегания плоскостей трещин в 275 точках наблюдения. Из них на мезозойские осадочные образования приходится 25 ТН: верхняя юра (J₃) — 5 ТН, нижний мел (K₁) — 8 ТН, верхний мел (K₂) — 12 ТН. Трещиноватость кайнозойской осадочной толщи изучена в 250 ТН: палеоген (Pg) — 41 ТН: палеоцен—эоцен (Pg₁₋₂) — 10 ТН, олигоцен (Pg₃) — 32 ТН; неоген (N) — 187 ТН: нижний миоцен (N₁¹) — 22 ТН, средний миоцен (N₁²) — 43 ТН, верхний миоцен—нижний плиоцен (N₁³—N₂¹) — 43 ТН, нижний плиоцен (N₂¹) — 26 ТН, верхний плиоцен (N₂³) — 53 ТН; плейстоцен (Q₁₋₃) — 9 ТН, голоцен (Q₄) — 12 ТН. Из литологических разновидностей в составе обследованных осадочных образований преобладают песчаники, известняки и известняки-ракушечники.

За период многолетних тектонофизических исследований нами обобщены данные по трещиноватости пород различных по тектоническому развитию территорий. Среди них Кавказско-Загросский регион и сопредельные с ним области. На основе фактического материала создан компьютерный банк, включивший данные по трещиноватости осадочных образований, программные средства их обработки и геолого-тектонические характеристики районов расположения каждого из обнажений горных пород. Изучение трещиноватости горных пород проводилось нами с целью реконструкции альпийских и новейших палеонапряжений сейсмоактивных территорий. В процессе геодинамических исследований мы пришли к выводу, что для таких палеореконовструкций наиболее удобным объектом является *рисунок трещиноватости осадочных пород*. Было установлено, что горные породы, различные по генезису, литологии и текстуре, обладают разными системными углами между сопряженными трещинами. Поэтому замеры элементов трещиноватости в каждой точке наблюдения перспективнее производить в одном слое осадочных пород. При обработке таких данных на стереограммах ориентационных распределений трещин их системы из-за слабого фона выделять значительно проще [5, 6]. Нас это обстоятельство привело к тому, что постепенно мы полностью перешли к изучению рисунка *внутрислойной* трещиноватости осадочных пород [2, 12].

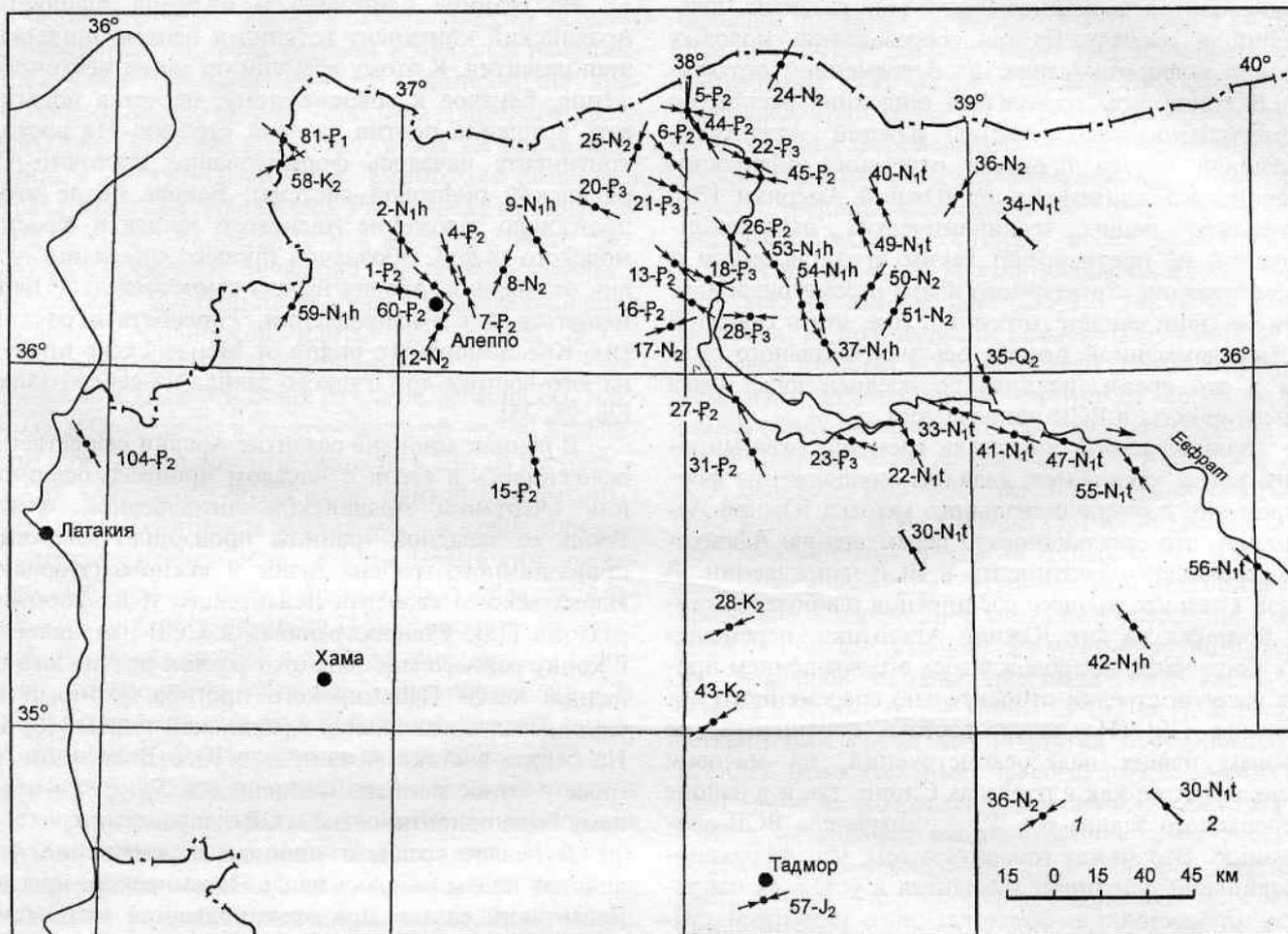


Рис. 6. Схема ориентаций оси максимального сжатия ($S_{H, \max}$) альпийского поля напряжений на северо-западе Аравийской платформы:

1 — однозначно устанавливаемая ориентация оси $S_{H, \max}$ (в каждой точке наблюдения показан ее номер и возраст изученных осадочных пород); 2 — ориентация, выбранная из двух возможных взаимно перпендикулярных направлений

Не останавливаясь подробно на методике реконструкции палеонапряжений, которая детально отображена в многочисленных наших статьях и монографиях [3, 5–9], отметим следующее. На современном уровне знаний получение достоверных геодинамических результатов без детального анализа данных об ориентации осей сжатия ($S_{H, \max}$) и растяжения ($S_{H, \min}$) полей палеонапряжений невозможно. Наш метод палеореконовки опирается на представления о том, что системы трещин в осадочных образованиях несут информацию об ориентации главных осей палеонапряжений, действующих в период формирования пород. Основываясь на факте наличия правильных систем ослабления в молодых отложениях, мы пришли к выводу о зарождении направлений трещиноватости на ранних стадиях литогенеза (диагенезе) осадков. Их внутренняя неустойчивость, связанная с разупрочнением, приводит к локализации пластических сдвиговых деформаций в узких регулярно расположенных сопряженных микрizonaх, представляющих собой направления будущих первичных систем трещин [9]. Эти микрizonaы, закладываемые под воздействием палеонапряжений в про-

цессе диагенеза формирующихся осадков, по времени возникновения близки к возрасту осадочной породы. Благодаря этому при последовательных замерах трещиноватости в разновозрастных отложениях и их правильной интерпретации появляется возможность устанавливать закономерности эволюции напряженного состояния земной коры не только в пространстве, но и во времени.

Трещиноватость мезозойско-кайнозойских осадочных пород Аравийской платформы, как уже отмечалось, изучена нами в ее северо-западной (рис. 6) и северо-восточной частях. Обследованные районы расположены вдоль границы платформы с Альпийско-Гималайским складчатым поясом и, несмотря на значительное удаление друг от друга, характеризуются сходными тектоническими условиями развития. Это позволило сопоставить результаты палеореконовки для этих районов и установить новые закономерности эволюции напряженного состояния и геодинамики территории Аравии.

Основные закономерности альпийской геодинамики и палеонапряжений северной части Аравийской платформы. В середине юры в истории Земли начался

позднемезозойско-кайнозойский этап развития, приведший к распаду Пангеи, образованию молодых океанов и формированию их современной структуры. В конце юры проявилась тенденция раскрытия субмеридионального участка Южной Атлантики, обусловив начало процесса отделения Африкано-Аравийского континента от Южной Америки [29]. Результаты наших геодинамических палеорекопструкций не противоречат таким представлениям о формировании структурного плана рассматриваемого региона. Они свидетельствуют о том, что в северной части современной Аравии ось максимального сжатия в это время, начиная со средней юры, была ориентирована в ВСВ-направлении.

Главной чертой интервала времени, охватывающего конец юры и мел, являлось продолжение формирования субмеридионального участка Южной Атлантики, что способствовало перемещению Африкано-Аравийского континента в ВСВ-направлении. В связи с тем что процесс расширения наиболее активно протекал на юге Южной Атлантики, перемещение континента сопровождалось его вращением против часовой стрелки относительно современного положения [29]. На северо-востоке континента, по данным наших палеорекопструкций, на меловом этапе развития как в пределах Сирии, так и в районе Персидского залива ось $S_{H, \max}$ сохраняла ВСВ-ориентацию. Это может говорить о том, что Африкано-Аравийский континент находился в условиях напряженного состояния, обусловленного развитием субмеридионального участка Южной Атлантики.

Примерно в таких же геодинамических условиях развивался Африкано-Аравийский континент на протяжении большей части палеогена. Он перемещался в ВСВ-направлении, испытывая устойчивый поворот против часовой стрелки относительно своего современного положения [29]. В среднем эоцене в северной части Аравии геодинамическая обстановка изменилась, вследствие чего произошла переориентация главных осей палеонапряжений. На северо-западе платформы в пределах Алеппского блока Сирии ось максимального сжатия, согласно данным наших палеорекопструкций, приобрела ССЗ-ориентировку. Изменение направления сжатия произошло в палеоцене—раннем эоцене. В конце эоцена ось $S_{H, \max}$ имела ориентацию на СЗ, в олигоцене — на ЗСЗ, что свидетельствует о том, что континент продолжал претерпевать поворот против часовой стрелки. На северо-востоке Аравии, в районе Персидского залива, ось сжатия в палеогене приобрела направление, близкое к СВ [7], претерпев по сравнению с мелом также слабый поворот против часовой стрелки. Вращение Африкано-Аравийского континента способствовало интенсивному сжатию земной коры в северной части Аравии, что привело к прекращению мезозойского вулканизма и проявлению в палеогене амагматического периода развития этой территории [30].

На границе олигоцена и миоцена Африкано-Аравийский континент вступил в неотектонический этап развития. К этому времени он занял местоположение, близкое к современному, перестав испытывать вращение против часовой стрелки. На востоке континента началось формирование Восточно-Африканской рифтовой системы. Вскоре после этого произошло заложение Аденского залива и Красноморского рифта, обозначив процесс отделения Аравии от Африки. Аравия начала самостоятельно перемещаться в СВ-направлении, способствуя раскрытию Красноморского рифта от Мендебского пролива на юго-востоке до Суэцкого залива на северо-западе [28, 29, 35].

В раннем миоцене развитие Аравии существенно осложнилось в связи с началом процесса оформления очертаний Аравийской литосферной плиты. Вдоль ее западной границы произошло заложение приразломного грабена Акаба и южного (Иордано-Израильского) сегмента Левантского трансформного разлома [18]. Распространяясь в ССВ-направлении, к концу раннего миоцена этот разлом достиг юго-западной части Пальмирского прогиба, который заблокировал продвижение Аравийской плиты [18, 35]. На северо-востоке Аравии и в Юго-Восточном Загросе в конце раннего миоцена ось $S_{H, \max}$ по-прежнему была ориентирована в СВ-направлении.

В начале среднего миоцена перемещение Аравийской плиты началось вдоль Пальмирского прогиба. Левантский разлом при этом подвергся веерообразному расщеплению и претерпел резкий изгиб в ВСВ-направлении. Перемещение плиты из-за этого стало более сложным. Оно происходило вдоль зоны Южно-Пальмирского разлома на ВСВ, сопровождаясь некоторым разворотом по часовой стрелке. Вследствие изменения перемещения плиты ось $S_{H, \max}$ на северо-западе Аравии к северу от Пальмирского прогиба приобрела ориентацию на ССЗ, которая вероятнее всего сохранялась до начала позднего миоцена. По сравнению с концом олигоцена ось максимального сжатия претерпела поворот по часовой стрелке. Это оказало влияние на условия тектонического развития региона. В частности, ориентация интенсивного сжатия ортогонально к простиранию Пальмирского прогиба привела к инверсии тектонических движений и обозначила начало формирования складчато-разрывной структуры Пальмирид [17]. На востоке Аравии благодаря вращению плиты по часовой стрелке произошло ослабление давления на юго-восточную часть формирующегося Загроса, что обусловило кратковременную переориентацию оси $S_{H, \max}$ с СВ на СЗ.

В позднем миоцене проявилась новая фаза раскрытия Красноморского рифта, в результате чего прорезался северный, Сирийский сегмент Левантского разлома, простирающийся, как и южный, на ССВ. Произошло изменение направления перемещения Аравийской плиты и прекратилось ее вращение

по часовой стрелке. Из-за неравномерности перемещения плиты под воздействием локальных напряжений в зонах разрывных структур формировались грабенообразные структуры сдвига-раздвигового (pull-apart) типа [18]. По-видимому, в это же время примерно в 180 км к востоку от Левантского разлома и параллельно ему заложилась Расафинская разрывная зона. К концу миоцена по ней вероятнее всего проявлялись сдвиговые движения. На востоке Аравии в районе Юго-Восточного Загроса из-за прекращения вращения Аравийской плиты ось сжатия $S_{H, \max}$ снова приобрела СВ-ориентировку.

На плиоценовом этапе развития региона ось максимального сжатия в северо-западной части Аравийской плиты была ориентирована на ССВ, на востоке — на СВ. Обретение Аравийской плитой современных очертаний в основном завершилось в конце плиоцена — начале плейстоцена, когда Левантский трансформный разлом достиг фронтальных складок Альпийско-Гималайского пояса [17]. На востоке Аравийской плиты ось сжатия в плейстоцене, как и в плиоцене, по-прежнему обладала ориентацией на СВ. Лишь в голоцене она отклонилась по часовой стрелке, приобретая простирание по линии ВСВ—ЗЮЗ.

На северо-западе Аравийской плиты завершение формирования ее западной границы в плейстоцене привело к изменению ориентации сжатия. Из-за неравномерности перемещения Аравийской плиты в зонах субмеридиональных разрывных структур активно формировались грабенообразные структуры при сдвигового типа, а в голоцене — локальные структуры растяжения (сбросы, микрограбены, зияющие трещины и т.д.). Так, гигантские провалы и изломы современной земной поверхности мы наблюдали на севере Левантийского разлома в пределах локального грабена на территории Турции в непосредственной близости от ее границы с Сирией.

Вероятнее всего близкие геодинамические условия развития в четвертичное время были присущи и Восточным Пальмирадам. На этой территории в пределах блока Тадмор в среднем плейстоцене заложилась система узких грабенов ССВ-направления, поперечного к общему простиранию Пальмирской складчатой зоны. На поверхности днища одного из грабенов возникла система гигантских зияющих трещин, указывающая на активное продолжение тектонических процессов на современном этапе развития.

Природа гигантских зияющих трещин на северо-западе Аравийской платформы

Геолого-тектонические условия размещения зияющих трещин на северо-западе Аравийской платформы имеют много общего с расположением таких же трещин на востоке Туранской платформы в районе Центральных Кызылкумов. Так, районы их развития находятся относительно недалеко от новейших

областей поднятий — Загроса и Тянь-Шаня соответственно. Зоны современного трещинообразования приурочены к крупным разломам, по которым на новейшем этапе развития проявлялись и проявляются сдвиговые перемещения. Простирание зияющих трещин преимущественно продольное. В отдельных случаях трещины размещены на поверхностях днищ эпизодических озер, которые после землетрясений чаще всего исчезают. Трещинообразование проявляется как на земной поверхности, так и на стенах построек, не поддаваясь периодическому ремонту. Эти признаки сходства могут свидетельствовать о том, что механизмы формирования гигантских зияющих трещин в обоих регионах близки между собой.

В работах Я.Б. Айсанова, Р.И. Мансурова [1], А.С. Быковца, В.И. Уломова, Г.П. Черепанова [11] и Т.К. Каржаува, В.И. Уломова [16] возникновение гигантских зияющих трещин в Центральных Кызылкумах обосновывается активностью тектонических процессов. Современное трещинообразование в этом регионе происходит вдоль зоны субширотного разлома, разделяющего новейшие поднятия Букантау (на севере) и Ауминзатау—Тамдытау (на юге). В неоген-четвертичное время эти поднятия претерпевали по разлому относительные правосдвиговые перемещения. Такое же направление смещений, согласно данным о механизмах очагов местных землетрясений, присуще современному времени. Авторы предполагают, что из-за неравномерных сдвиговых перемещений верхние слои земной коры на отдельных участках пространства между новейшими поднятиями подвергаются воздействию растягивающих тектонических напряжений, что способствует возникновению зияющих трещин на земной поверхности.

Тот факт, что зияющие трещины на севере Аравийской и востоке Туранской платформ не являются сейсмодислокациями, позволяет отнести их к криповым образованиям. Напомним, что криповые трещины (сгееру — ползучий) — это трещины, возникающие под воздействием тектонических процессов, но вне связи с сейсмическими явлениями [23]. На основе анализа геоморфологических, неотектонических и геодинамических данных можно предположить, что на севере Аравии возникновение криповых трещин обусловлено неравномерным перемещением Аравийской литосферной плиты на ССВ вдоль Левантского и Расафинского разломов.

Как показано выше, в позднем миоцене в результате проявления одной из фаз раскрытия Красноморского рифта произошло изменение направления перемещения Аравийской плиты с ВСВ на ССВ. В результате этого прорезался Сирийский сегмент Левантийского трансформного разлома, простирающийся в субмеридиональном направлении. На востоке формирующейся Пальмирской складчатой зоны в наиболее узком ее месте, осложненном Евфратским разломом, в это же время заложилась система локальных разрывов ССВ-простирания, по которым



Рис. 7. Трещиноватость верхнемеловых известняков Центральных Пальмирид на фоне зияющих трещин на поверхности днища вадии Реал Хауа

начались левосдвиговые перемещения. К северу от Пальмирид на продолжении этих разрывов обозначился Расафинский разлом, по которому также происходили левосдвиговые движения.

Особенно активно эти процессы протекали в четвертичное время. Так, согласно данным геодинамических палеорекопструкций, ось сжатия в районе Расафинской зоны в позднем плейстоцене была ориентирована на ССЗ, ось растяжения — на ВСВ. При такой ориентации главных осей палеонапряжений к простиранию субмеридиональной зоны по ней проявлялись левосторонние сдвиговые движения. Из-за неравномерности перемещения Аравийской плиты под воздействием тектонических движений вдоль Расафинской разрывной зоны формировались грабенообразные структуры присдвигового типа и структуры субширотного растяжения, осложненные продольными криповыми трещинами. Подтверждением этого является наличие кластических даек в плейстоценовых отложениях Расафинской зоны и Северных Пальмирид.

Продолжение активного и неравномерного перемещения Аравийской плиты вдоль Расафинской зоны на современном этапе развития, по нашему мнению, является наиболее вероятной причиной возникновения гигантских зияющих трещин.

В заключение стоит кратко остановиться на работе А.В. Ершова и др. [15], в которой на основе анализа данных сейсмотомографии показано, что со стороны Африки вдоль Восточно-Африканского и Красноморского рифтов через западную часть Аравии до Большого Кавказа проходит верхнемантийный горячий пояс, совпадающий с Транскавказским поперечным поднятием Е.Е. Милановского [21]. В пределах пояса происходит верхнемантийное течение

горячего плюмового материала на север, определяемое рельефом нижней границы литосферы. Можно предполагать, что на северо-западе Аравии этот процесс особенно интенсивно протекал в конце плейстоцена и в голоцене, ослабляя литосферу и способствуя возникновению структур растяжения и зияющих трещин. Этому не противоречат и сведения о проявлении в Сирии базальтового вулканизма в голоцене [30].

В Пальмиридах отдельные особенности рисунка зияющих трещин в плане не могут быть объяснены с тектонических позиций. Так, осевая трещина в южной и северной частях вадии Реал Хауа располагается прямолинейно, но при приближении к центральному участку начинает ветвиться и приобретает концентрический облик. При этом большая часть центрального участка вадии практически лишена зияющих трещин. Эти особенности не позволяют исключать возможность наложения на механизм формирования трещин карстовых явлений. Можно предположить, что под толщей четвертичных отложений в меловых известняках днища вадии Реал Хауа в ее центральной части располагается карстовая воронка, развитие которой существенно усложняет рисунок зияющих трещин. Вместе с тем известно, что карстовые процессы особенно активно развиваются, используя трещиноватость карбонатных пород. Согласно нашим наблюдениям, в верхнемеловых известняках Восточных Пальмирид трещины в большинстве случаев ориентированы на СВ (40—50°) и СЗ (290—310°), тогда как зияющие трещины имеют субмеридиональное простирание (5—15°). Несовпадение простираний зияющих трещин на днище вадии и трещин в известняках весьма убедительно подтверждается рис. 7.

Таким образом, одним из возможных вариантов появления и развития гигантских зияющих трещин на северо-западе Аравийской плиты является активное и неравномерное ее перемещение вдоль Левантского трансформного разлома и Расафинской разрывной зоны на современном этапе развития. В Пальмиридах на тектонические процессы наложилось карстовые явления, существенно усложнившие рисунок трещин вадии Реал Хауа.

Авторы работы искренне признательны д.ф.-м.н. Ш.А. Мухамедиеву за конструктивную критику, замечания и пожелания.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ — БФФИ (грант 04-05-4188) и программы № 5 ОНЗ РАН “Глубинное строение Земли, геодинамика, магматизм и взаимодействие геосфер”.

ЛИТЕРАТУРА

3. Белоусов Т.П. Современный морфоструктурный план зон сочленения Памира с Тянь-Шанем и Малого Кавказа с Большим (сравнительный анализ в связи с сейсмичностью) // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М., 1995. С. 181—195.

4. Белоусов Т.П. Морфоструктурный план и тектонические движения Загроса на новейшем этапе тектонического развития // Проблемы экологической геоморфологии. Белгород, 2000. С. 100—101.

5. Белоусов Т.П., Куртасов С.Ф., Мухамедиев Ш.А. Методы обработки и результаты интерпретации данных по трещиноватости горных пород. М., 1994. 104 с.

6. Белоусов Т.П., Куртасов С.Ф., Мухамедиев Ш.А. Делимость земной коры и палеонапряжения в сейсмоактивных и нефтегазоносных регионах Земли. М., 1997. 320 с.

7. Белоусов Т.П., Куртасов С.Ф., Мухамедиев Ш.А. Новейшая геодинамика Кавказско-Загросского региона // Общие вопросы тектоники. Тектоника России. М., 2000. С. 43—46.

8. Белоусов Т.П., Куртасов С.Ф., Мухамедиев Ш.А. Некоторые закономерности геодинамики центральной части Альпийско-Гималайского складчатого пояса // Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков. Т. 3: Геофизика. М., 2002. С. 203—204.

9. Белоусов Т.П., Мухамедиев Ш.А. К реконструкции палеонапряжений по трещиноватости горных пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1990. № 2. С. 16—29.

10. Белоусов Т.П., Теремецкий А.Л. Оценка макросейсмического эффекта сильных землетрясений в пустынных областях (на примере Газлийского землетрясения 1984 г.) // Сильные землетрясения и сейсмические воздействия. (Вопр. инж. сейсмол. Вып. 28). М., 1987. С. 146—152.

11. Быковец А.С., Уломов В.И., Черепанов Г.П. О моделях гигантских трещин в Центральных Кызылкумах // Физика Земли. 1984. № 5. С. 3—14.

12. Гзовский М.В. Внутрислойные деформации, поля напряжений и разрывы // М.В. Гзовский и развитие тектонофизики. М., 2000. С. 60—116.

13. Девяткин Е.В., Додонов А.Е. Стратиграфия неогеновых и четвертичных отложений // Очерки геологии Сирии. М., 2000. С. 129—176.

14. Долгинов Е.А., Хадж Шейхмус Н.Н. О некоторых особенностях развития тектонической структуры "Сирийского амфитеатра" на Аравийской платформе // Изв. вузов. Геол. и разведка. 2001. № 4. С. 3—11.

15. Ершов А.В., Никишин А.М., Брунэ М.Ф., Спакман В. Позднекайнозойская геодинамика Кавказского региона: данные численного моделирования и сейсмотомографии // Тектоника неогоя: общие и региональные аспекты. Т. 1. М., 2001. С. 230—235.

16. Каржауэ Т.К., Уломов В.И. Проявления современной тектоники и сейсмичность Кызылкумов // Узб. геол. журн. 1966. № 3. С. 69—75.

17. Копп М.Л., Леонов Ю.Г. Тектоника Сирии // Очерки геологии Сирии. М., 2000. С. 7—104.

18. Копп М.Л., Леонов Ю.Г., Аджамян Ж. Деформации запада Аравийской плиты как результат сдвиговых переме-

щений по Левантскому разлому // Геотектоника. 1994. № 3. С. 61—76.

19. Крестников В.Н., Белоусов Т.П., Штанге Д.В. Сейсмотектонические условия возникновения Газлийских землетрясений 1976 г. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1980. № 9. С. 12—28.

20. Кузнецова К.И., Доброва М.Р. Стратиграфия юрских отложений // Очерки геологии Сирии. М., 2000. С. 105—128.

21. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М., 1968. 484 с.

22. Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли. Рифтогенез в подвижных поясах. М., 1987. 298 с.

23. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М., 1988. 491 с.

24. Поникаров В.П., Казьмин В.Г., Козлов В.В. и др. Геология и полезные ископаемые зарубежных стран. Вып. 18: Сирия. Л., 1969. 216 с.

25. Трифонов В.Г., Трубихин В.М., Аджамян Ж. и др. Левантская зона разломов на северо-западе Сирии // Геотектоника. 1991. № 2. С. 63—75.

26. Уломов В.И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент, 1972. 218 с.

27. Уломов В.И., Полякова Т.П., Медведева Н.С. О долгосрочном прогнозе сильных землетрясений в Центральной Азии и в Черноморско-Каспийском регионе // Физика Земли. 2002. № 4. С. 31—47.

28. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). М., 2001. 606 с.

29. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М., 1995. 480 с.

30. Шарков Е.В. Мезозойский и кайнозойский базальтовый магматизм // Очерки геологии Сирии. М., 2000. С. 177—200.

31. Belousov T.P. Paleoseismodislocations and present-day geodynamics of the Rasafin fracture zone in Central Syria // Regional Workshop on archeoseismicity in the Mediterranean region. Syria. Damascus, 1992. P. 25.

32. Best J., Barazangi M., Al-Saad D. et al. Buguer gravity trends and crustal structure of the Palmyride mountain belt and surrounding northern Arabian platform in Syria // Ibid. 1980. Vol. 18. P. 1235—1239.

33. Geological map of Syria. S. 1:500 000 / Ed.-in-chief V. Ponikarov. Moscow, 1964.

34. Geological map of Syria. S. 1:1 000 000 / Ed.-in-chief V. Ponikarov. 2nd ed. Moscow, 1986.

35. Hempton M.R. Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea // Tectonics. 1987. Vol. 6, N 6. P. 687—705.

36. Mart Y. The Dead Sea Rift: from continental rift to incipient ocean // Tectonophysics. 1991. Vol. 197. P. 155—179.

37. Picard L. Thoughts on the graben system in the Levant // Pap. Geol. Surv. Canada. 1965. N 14. P. 22—31.

38. Sal ah Qudmani, Belousov T.P., Khoja Jbraheem et al. The new forming of grabens in the Middle of Palmyrian Mountain Syria // The Energy and the Development of Syria. Damascus, 1988. N 48—49. P. 116—125.

ALPINE GEODYNAMICS, PALEOSTRESSES, AND GIANT OPENED CRACKS IN NORTH ARABIAN PLATFORM

T.P. Belousov, G.O. Akskalian, T.P. Aratyunian, A.A. Aslizadian

The long and wide trenches in the plain area of Syria are interpreted as opened tectonic cracks produced during recent extension event related to Arabian plate motion to the north.