



KINEMATIC ANALYSIS OF THE NAIN AND DARRECH DEH FAULTS AND THEIR STRUCTURAL POSITION IN THE WESTERN SIDE OF THE CENTRAL IRANIAN RANGE

S. Beygi ¹, R.K. Ilalova ²✉, I.V. Talovina ², R.A. Schekoldin ²

¹ Kimiya Gostar Mining Company, Isfahan, Iran

² Saint Petersburg Mining University, 2 21st Line, Saint Petersburg, 199106, Russia

ABSTRACT. The western margin of Central Iran – the Nain area – is composed of the Mesozoic ophiolitic mélanges deposited during the Late Cretaceous. The Nain and Darrech Deh faults whose trace indicators can be seen in the study area are among the largest faults therein. These faults have a north-northwest strike and are the right-lateral transpressional active lineaments. The main aim of this research is to perform structural mapping and geometric analysis of structural features along the Nain and Darrech Deh fault system. The research was conducted using satellite imagery and field data. The structural analysis showed that the faults comprise a complex network which formed during two stages: 1) thrust faulting in the Late Cretaceous and 2) reactivation of thrust faults in the form of the right-lateral reverse-slip structures as a result of transpressional movements in the Upper Miocene. The Nain and Darrech Deh faults are presently active and exhibit the right-lateral strike slip displacement with a reverse component.

KEYWORDS: Nain area; ophiolitic mélange; Nain fault; Darrech Deh fault; right-lateral transpressional movement; Central Iran

FUNDING: The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (FSRW-2023-0002).



EDN: AJDTGB

RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Regina K. Ilalova, rk.ilalova@gmail.com

Received: April 27, 2023

Revised: February 26, 2024

Accepted: March 14, 2024

FOR CITATION: Beygi S., Ilalova R.K., Talovina I.V., Schekoldin R.A., 2024. Kinematic Analysis of the Nain and Darrech Deh Faults and Their Structural Position in the Western Side of the Central Iranian Range. *Geodynamics & Tectonophysics* 15 (3), 0785. doi:10.5800/GT-2024-15-3-0785

АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ РАЗЛОМОВ НАИН И ДАРРЕХ ДЕХ И ИХ ПОЛОЖЕНИЕ В СТРУКТУРЕ ЗАПАДНОГО БОРТА ЦЕНТРАЛЬНО-ИРАНСКОГО МАССИВА

С. Бейги¹, Р.К. Илалова², И.В. Таловина², Р.А. Щеколдин²

¹ Горнодобывающая Компания «Кимия Гостар», Исфахан, Иран

² Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2, Россия

АННОТАЦИЯ. Западная окраина Центрального Ирана – район Наин – сложена целым рядом мезозойских офиолитовых меланжей, сформировавшихся в позднемеловую эпоху. Разломы Наин и Даррах Дех, прослеженные на изучаемой территории, являются одними из наиболее крупных. Они имеют север-северо-западное простирание и представляют собой правосторонние транспрессионные активные линеаменты. Основной целью исследования является реконструкция тектонических движений с помощью структурного картирования и геометрического анализа структурных особенностей системы разломов Наин и Даррах Дех. При проведении исследования авторами были использованы полевые наблюдения и спутниковые изображения. Структурный анализ показал, что разрывные нарушения образуют сложную сеть, развитие которой прошло две стадии: 1) формирования надвигов в позднемеловую эпоху и 2) реактивации надвигов в правосторонние взбросо-сдвиги в результате транспрессивных движений в позднем миоцене. Разломы Наин и Даррах Дех активны в настоящее время и имеют правостороннее сдвиговое смещение со взбросовой составляющей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: район Наин; офиолитовый меланж; разлом Наин; разлом Даррах Дех; правостороннее транспрессионное движение; Центральный Иран

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (FSRW-2023-0002).

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых значительных орогенных поясов на Земле является Альпийско-Гималайский, который был образован в результате последовательного перемещения континентальных блоков с юга на север через бассейн океана Неотетис [Seton et al., 2012]. Территория Ирана является одним из лучших в мире примеров областей недавнего столкновения континентов, где располагаются активные разломы и эпицентры землетрясений [Fattahi et al., 2010]. Столкновение плит сопровождалось деформацией континентальной коры на огромном пространстве (3 млн км²) от Эгейского моря, через Кавказ, Копет-Даг и Иран до Персидского залива, которое стало одной из крупнейших зон конвергенции литосферных плит на Земле [Allen et al., 2004].

Центрально-Иранский микроконтинент – один из основных тектонических элементов Ирана – ограничен с севера хребтами Эльбурс и Копет-Даг, с запада и юга – хребтами Загрос и Макран, с востока – Восточно-Иранским хребтом (рис. 1). Центрально-Иранский микроконтинент представляет собой коллаж нескольких докембрийских фрагментов Гондваны и включает блоки Лут, Табас, Пошт-э-Бадам и Язд. Эти блоки разделены системой пересекающихся разломов регионального масштаба: субмеридиональными правосторонними и субширотными левосторонними сдвигами [Berberian, King, 1981; Javadi et al., 2013]. Некоторые исследователи [Kaz'min et al., 2010] рассматривают Центрально-Иранский микроконтинент и Лутский массив

в качестве самостоятельных блоков, что обусловлено наличием офиолитовой зоны, протягивающейся от южного склона Восточного Эльбурса и свидетельствующей о существовании между ними в мелу бассейна с (суб)океанической корой.

Почти все разрывные нарушения Центрального Ирана сейсмически весьма активны, но по большей части активные тектонические движения в Центральном Иране происходят по разломам регионального масштаба [Wellman, 1966; Tchalenko, Ambraseys, 1970; Tchalenko, Berberian, 1975; Mohajer-Ashjai et al., 1975; Hessami, Jamali, 1996; Berberian, Yeats, 2001; Trifonov et al., 2002; Moghimi, 2009]. Центрально-Иранский массив ограничен разломами: Доруне (к северу от Центрального Ирана), Нехбандан (восточнее блока Лут), системами разломов Кух Банан, Махан-Джорджафк, Рафсанджан-Раян (к востоку от Кермана), Наин-Бафт и Шахр-и-Бабак (юго-запад Центрального Ирана) и Нейбанд (к западу от блока Лут) (рис. 1).

Территория исследования расположена в западном сегменте Центрально-Иранского блока, в зоне распространения офиолитового меланжа в пределах района Наин (рис. 1, 2). Выходы офиолитов в этом районе смещены относительно друг друга по системе сдвигов Наин и Даррах Дех. Геоморфологические наблюдения (новейшие поднятия) показывают активность этих разломов в четвертичном периоде. Работами предшественников по изучению геологии района Наин (рис. 2) выявлены тектонические структуры, свидетельствующие о правосторонней кинематике движения горных

масс Центрального Ирана, а также установлено происхождение метаморфизованных мантийных перидотитов за счет тектонической переработки офиолитовых комплексов Наин [Shirdashtzadeh et al., 2010]. Структурные же исследования и анализ активных деформаций системы разломов Наин до сих пор не проводились: структурное картирование разлома Наин, идентификация и геометрический анализ структурного парагенеза разломов Наин и Даррех Дех осуществлены впервые.

2. ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА И ГЕОЛОГИЯ ИЗУЧАЕМОГО РАЙОНА

Широко распространенный на территории района Наин офиолитовый меланж является реликтом океана Неотетис [Kopp, 1997; Gansser, 1955; Gansser, Huber,

1962]. Этот меланж сформировался в позднемеловую эпоху при обдукции на континентальное основание Центрально-Иранского микроконтинента. Площадь распространения офиолитового меланжа на изучаемой территории около 600 км². Граница офиолитов в районе Наин определяется дугообразным изгибом в области сочленения разломов Наин-Бафт и Доруне и имеет простирание с северо-запада на юго-восток (см. рис. 1). Меланж окружен осадочными породами на востоке и вулканическими породами на западе. Он представлен рассланцованным, тектонизированным и серпентинизированным перидотитом, прорванным дайками крупнозернистых габбро-пегматитов, расчлененных габбро, долеритов, а также подушечными базальтами. Меланж состоит из тектонической смеси магматических, метаморфических и осадочных пород.

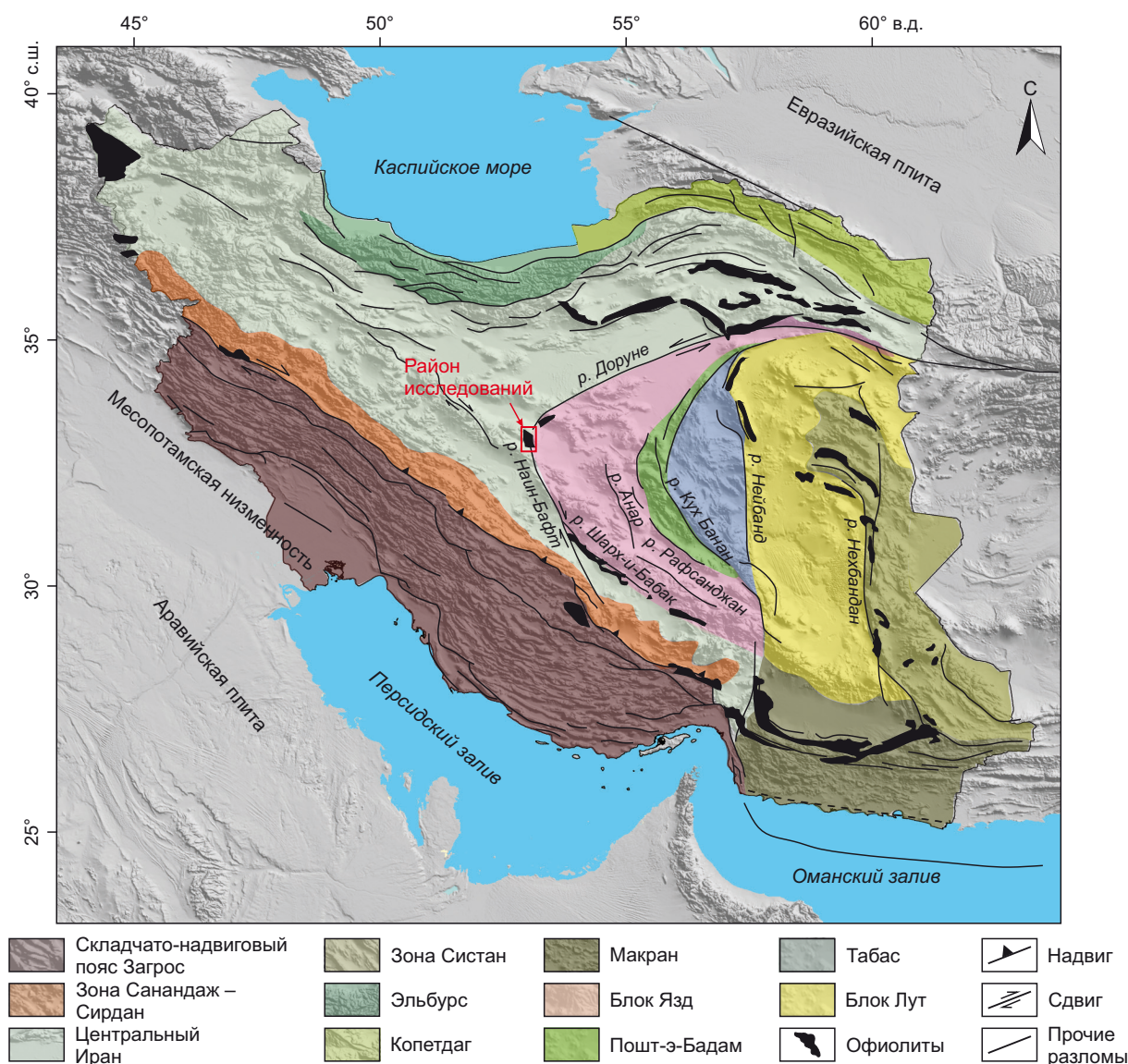


Рис. 1. Положение офиолитов в структуре иранского сегмента Альпийско-Гималайского пояса. Цветной заливкой показаны основные тектонические элементы Альпийско-Гималайского пояса и его обрамления.

Fig. 1. The structural position of ophiolites in the Iranian segment of the Alpine-Himalayan belt. The main tectonic elements of the Alpine-Himalayan belt and its framing are shown with colored fill.

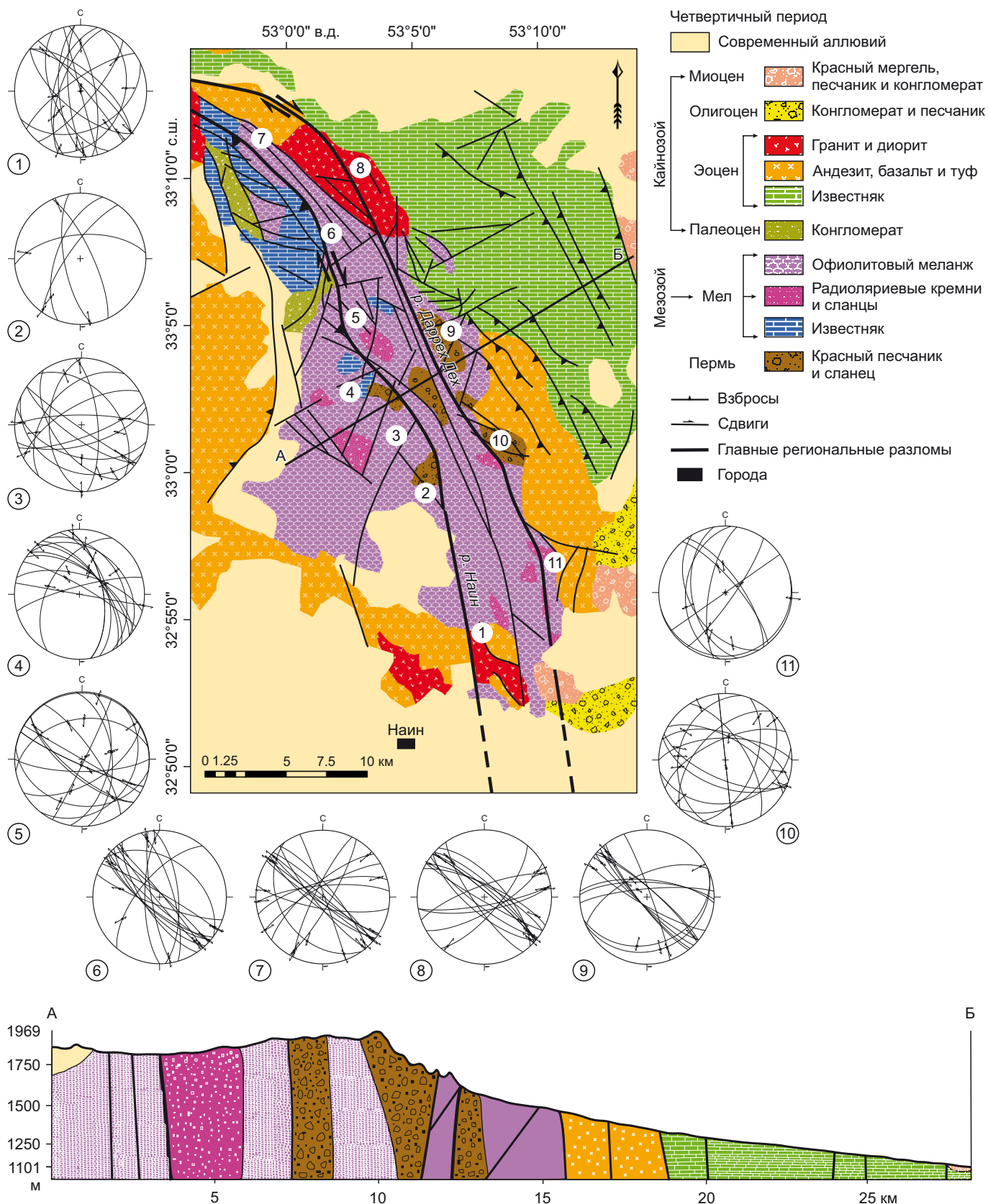


Рис. 2. Структурно-геологическая карта и профиль района Наин.

На стереографических проекциях – ориентировка основных сопряженных и оперяющих структур разломов Наин и Даррех Дех (по [Mahabadi, Foudazi, 2004], с дополнениями).

Fig. 2. Structural and geological map and profile of the Nain area.

The stereographic projections show the orientation of the main conjugated and feathering structures of the Nain and Darrech Deh faults (after [Mahabadi, Foudazi, 2004], as supplemented).

Магматические породы представлены гарцбургитами, лерцолитами, дунитами и их серпентинизированными разновидностями. Коровые плутонические и вулканические породы включают габбро, диориты, гранодиориты, дайки долеритов, подушечные лавы, андезибазальты, андезиты и более кислые породы, такие как тоналиты, трондьемиты и аплиты. Также имеются разнообразнейшие метаморфические породы, включая амфиболиты (метаморфизованные основные породы), сланцы, скарны, мраморы, родингиты и листвениты. Связанные с офиолитами осадочные породы включают пелагические известняки, кремнистые сланцы и радиоляриты (рис. 2).

3. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

При проведении работ авторами были использованы космические изображения Sentinel 2, которые являются бесплатными и доступными на сайте Геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Геологической основой для анализа космических материалов послужили геологические карты районов Наин и Ашин в масштабе 1:100000 [Mahabadi, Foudazi, 2004]. Одним из авторов данной работы, С. Бейги, были выполнены структурные полевые исследования разломов Наин и Даррах Дех с целью последующего проведения структурного анализа этой области. Кинематика разломов определялась стандартными методами для зон хрупкого сдвига [Petit, 1987]. Обработка данных была выполнена с использованием программ ENVI 5.1 и ArcGis 10.2. Анализ простирания и кинематики разломов проводился с помощью программы Daisy 5.38.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В Центральном Иране существует несколько доминирующих направлений простирания тектонических структур, обусловленных распределением крупных и второстепенных разломов. Основные направления простирания разломов – северо-западное, северо-восточное и субмеридиональное (рис. 2). Эти разломы пересекают и смещают офиолитовые комплексы и магматические породы, а на отдельных участках также плиоценовые и четвертичные осадочные породы. Разлом Наин-Бафт является главной структурой на западной окраине Центрального Ирана. Разлом имеет север-северо-западное простирание, длину около 430 км. Он трассируется с северо-запада от г. Наин в сторону г. Бафта на юге, а затем соединяется с Загросским главным надвигом (см. рис. 1). Разломы Наин и Даррах Дех расположены в северной оконечности зоны разлома Наин-Бафт и являются составной частью сложной картины региональной деформации, включающей сокращение земной коры, горизонтальный поворот блоков и локальное поднятие на западной окраине Центрального Ирана.

4.1. Разлом Наин

Разлом Наин имеет север-северо-западное простирание, длину 60 км и образует западную границу офио-

литового меланжа в районе Наин (рис. 2). Этот разлом является активным, подтверждением чему служат зарегистрированные сейсмические явления, в том числе во многих местах четвертичных отложений. Вдоль зоны разлома Наин в меловых офиолитовых меланжах и эоценовых магматических породах были сделаны замеры ориентировки плоскостей и борозд скольжения (85 замеров) (рис. 2, рис. 3, а, б).

Стереографические проекции и полимодальное распределение простирания разломов по Гауссу показывают, что они образуют две доминирующие группы: 1) разломы северо-западного простирания (114° , 316°), 2) разломы субмеридионального простирания (183° , 351°) (рис. 3, а, б). По углу склонения борозд скольжения они подразделяются на четыре группы: (а) с правосторонним и (б) левосторонним сдвиговым склонением борозд скольжения (угол склонения $0-27^\circ$), (в) со сбросовым и (г) взбросовым склонением борозд скольжения (угол склонения $60-100^\circ$) (рис. 3, в). Основная группа данных указывает на правостороннее сдвиговое и взбросовое смещение по разлому Наин (рис. 3, г). На рис. 4, а, показаны полевые данные в точке наблюдения 6, демонстрирующие зону разлома с простиранием 288° и падением 57° на северо-восток. На плоскости сместителя разлома по бороздам скольжения были определены правостороннее сдвиговое и взбросовое смещение (рис. 4, а). Также в центральной части района в ходе полевых наблюдений было задокументировано смещение офиолитов по разлому Наин, а также по расположению сколов Риделя определена его правосторонняя сдвиговая кинематика (рис. 4, б).

4.2. Разлом Даррах Дех

Разлом Даррах Дех является ответвлением главного разлома Наин-Бафт, протягивающимся вдоль восточной границы выходов офиолитов.

На рис. 5 показаны стереографические проекции (63 замера), ориентировки трещин и разломов, ассоциирующих с разломом Даррах Дех, протягивающимся через эоценовые вулканические и плутонические породы и меловые офиолиты. На основе статистики полимодального распределения Гаусса установлено, что разломы можно разделить на две группы в зависимости от их простирания: разломы северо-западного простирания (130° , 310°) и разломы северо-восточного простирания (65° , 250°) (рис. 5, а, б). В то же время анализ частоты встречаемости угла склонения борозд скольжения позволяет выделить четыре основные кинематические группы: правостороннее и левостороннее сдвиговое склонение борозд скольжения (угол склонения борозд скольжения $0-10^\circ$), сбросовое и взбросовое склонение борозд скольжения ($70-80^\circ$) (рис. 5, в). Группа разломов Даррах Дех демонстрирует субвертикальное положение структур. Частотный анализ показывает падение разломов под углом 69 и 79° (рис. 5, г).

Полевые данные и интерпретация спутниковых снимков показывают, что в восточной части района

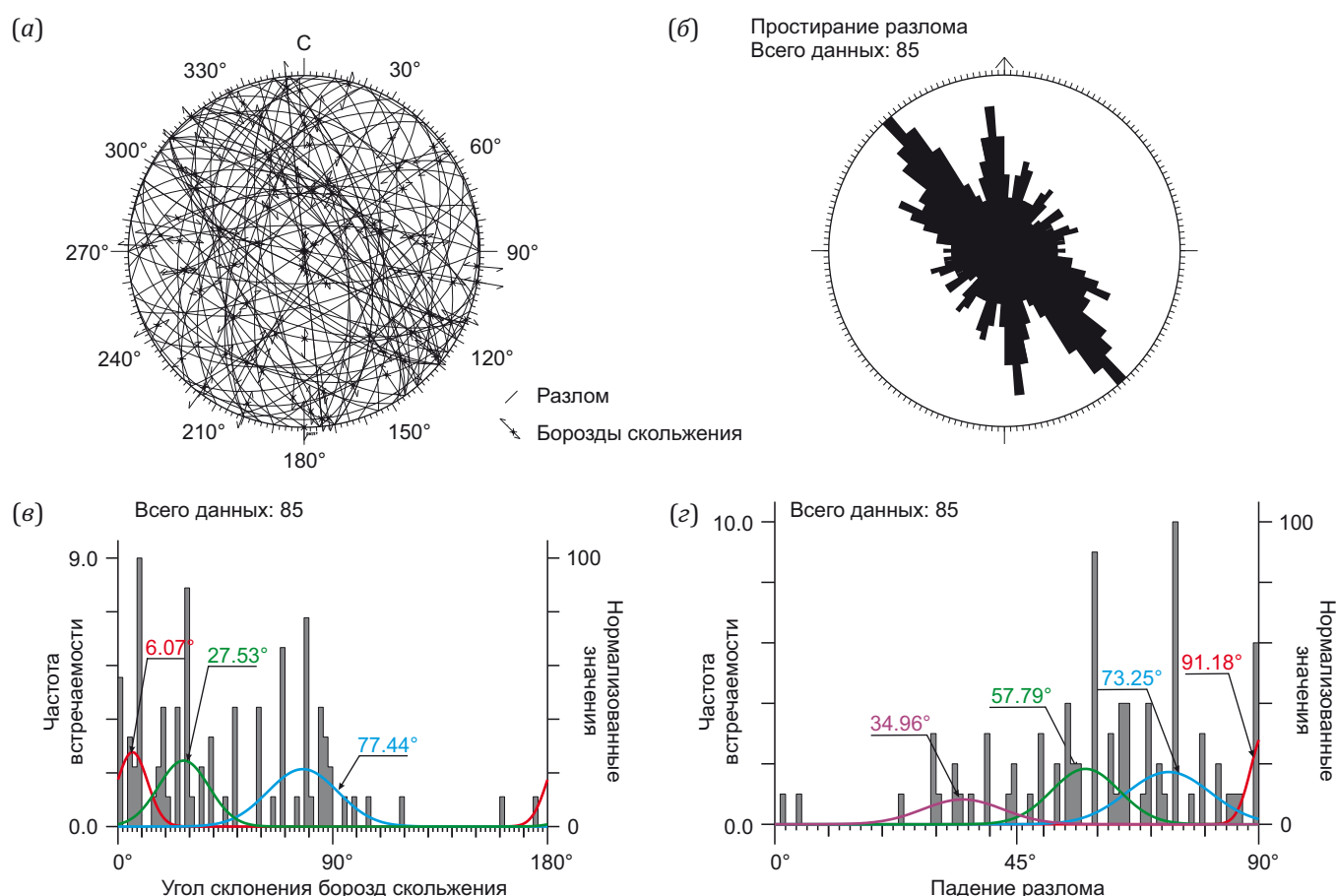


Рис. 3. Результаты замеров ориентировки плоскостей и борозд скольжения (85 замеров) вдоль разлома Наин.

(a) – стереографические проекции (сетка Шмидта), построенные по измерениям ориентировок разломов вдоль системы Наин; (б) – роза-диаграмма простираения разломов; (в) – полимодальное распределение борозд скольжения разломов по Гауссу; (г) – полимодальное распределение падения разломов по Гауссу.

Fig. 3. Orientation measurements (85) for slickensides and slickenlines along the Nain fault.

(a) – stereographic projections (Schmidt grid) drawn from the fault orientation measurements along the Nain fault system; (б) – rose-diagram of fault strike; (в) – polymodal Gaussian distribution of slickenlines; (г) – polymodal Gaussian distribution of fault dip.

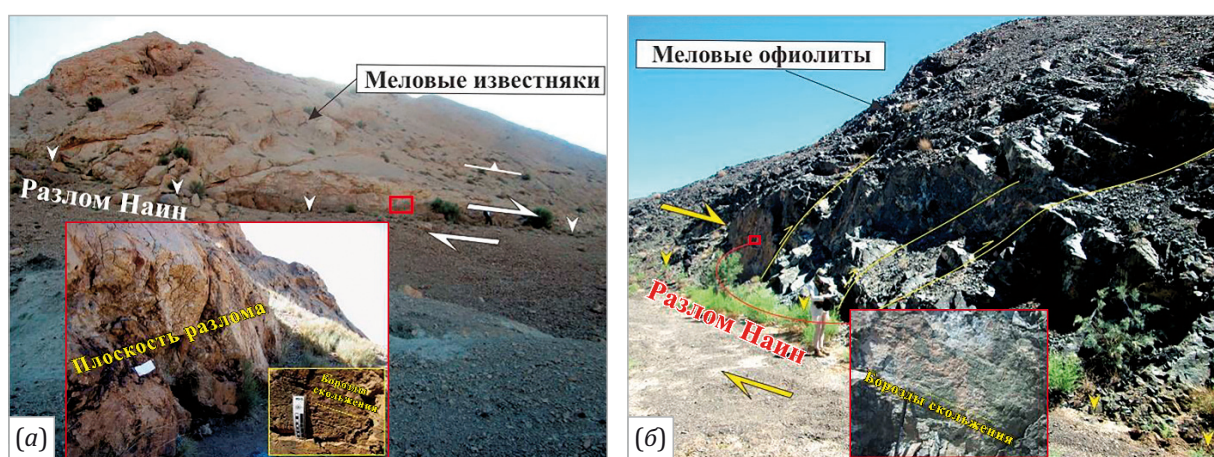


Рис. 4. Полевые наблюдения вдоль разлома Наин.

(a) – линии борозд скольжения на меловых известняках, указывающие на правостороннюю сдвиговую и взбросовую кинематику вдоль плоскости разлома Наин; (б) – изображение, иллюстрирующее движение по разлому Наин на сколах Риделя основного разлома.

Fig. 4. Field observations along the Nain fault.

(a) – slickenlines on the Cretaceous limestones, indicating the right-lateral strike-slip and reverse fault kinematics along the Nain fault plane; (б) – an image showing the movement along the Nain fault on the Ridel shears of the main fault.

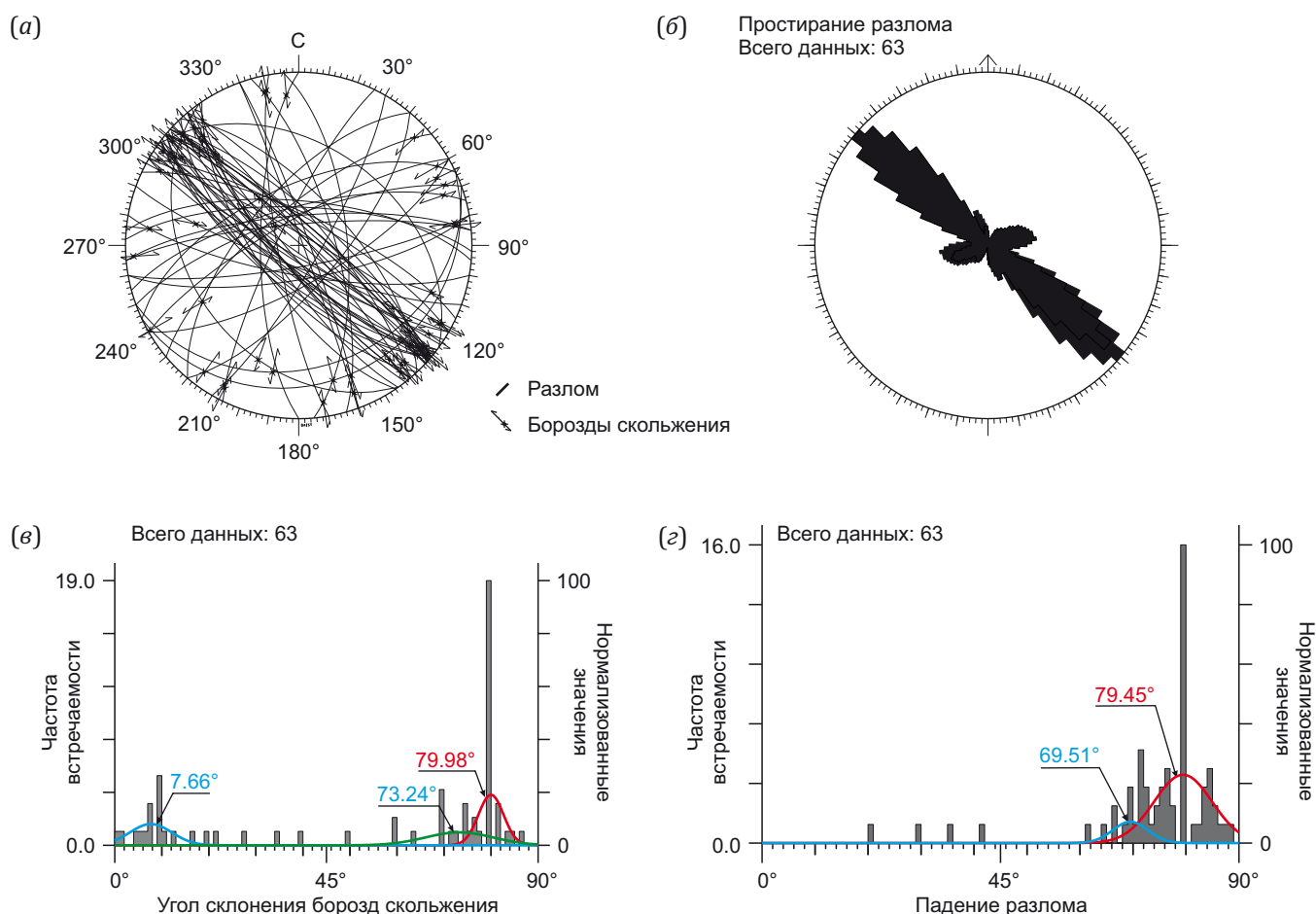


Рис. 5. Результаты замеров ориентировки плоскостей и борозд скольжения (63 замера) вдоль разлома Даррех Дех.

(a) – стереографические проекции (сетка Шмидта), построенные по измерениям ориентировок разломов вдоль системы Даррех Дех; (б) – роза-диаграмма простираания разломов; (в) – полимодальное распределение борозд скольжения разломов по Гауссу; (г) – полимодальное распределение падения разломов по Гауссу.

Fig. 5. Orientation measurements (63) for slickensides and slickenlines along the Darrech Deh fault.

(a) – stereographic projections (Schmidt grid), drawn from the fault orientation measurements along the Darrech Deh fault system; (б) – rose-diagram of fault strike; (в) – polymodal Gaussian distribution of slickenlines; (г) – polymodal Gaussian distribution of fault dip.

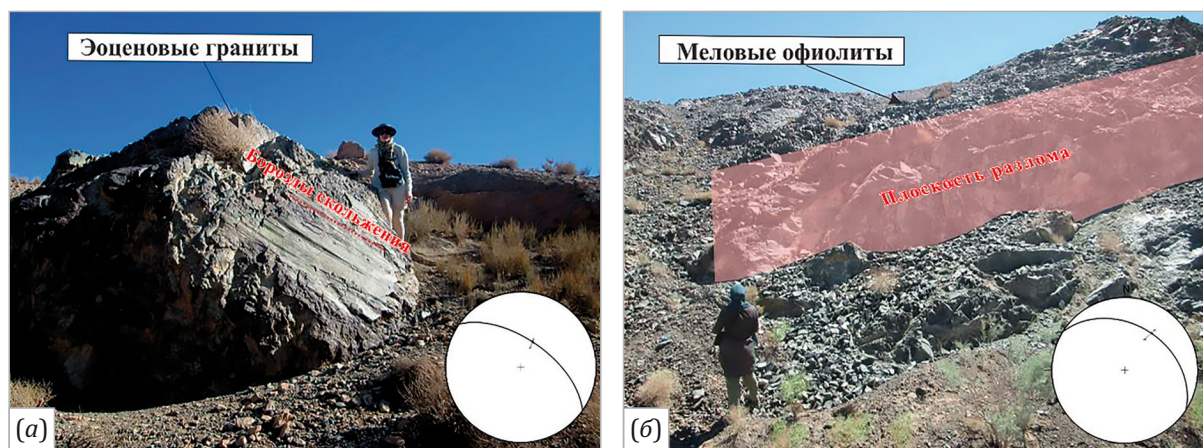


Рис. 6. Полевые наблюдения вдоль разлома Даррех Дех.

(a) – борозды скольжения на эоценовых гранитах, указывающие на взбросовую и правостороннюю сдвиговую кинематику вдоль плоскости разлома Даррех Дех; (б) – плоскость разлома и борозды скольжения в меловых офиолитах.

Fig. 6. Field observations along the Darrech Deh fault.

(a) – slickenlines on the Eocene granites indicating the reverse and right-lateral strike-slip fault kinematics along the Darrech Deh fault plane; (б) – fault plane and slickenlines in the Cretaceous ophiolites.

имеется множество разломов северо-западного простирания со взбросовой кинематикой (рис. 6, а, б). При активизации этих разломов офиолиты сместились к северо-востоку в сторону поля осадочных толщ эоцено-олигоценового возраста. Следовательно, согласно собранной авторами информации, система разломов Даррех Дех демонстрирует преобладающую взбросовую составляющую и меньшую сдвиговую составляющую по сравнению с системой разломов Наин.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Конвергенция Иранского блока и Аравийской плиты происходила в позднем палеоцене в северо-восточном направлении. Внутриоканские островные дуги океанов Неотетис и Наин-Бафт были обнаружены на северо-восточной окраине северной части Аравии в виде поздне меловых офиолитов [Ghasemi, Talbot, 2006]. После обдукции офиолита Наин в результате более поздней конвергенции и орогенных движений в позднем олигоцене – миоцене все древние образования были деформированы. Внутри надвигов, перекрывающих брекчии разломов, сформировались покровные структуры разного масштаба, породы сильно смяты и расчленены. До миоцена Аравийская плита контактировала

с Иранским литосферным блоком по главному надвигу Загрос. Согласно реконструкциям [McQuarrie et al., 2003], основанным на расчетах относительных движений плит и сокращения земной коры, направление конвергенции Аравия – Евразия изменилось с северо-востока на север и под углом к орогенному поясу Загрос примерно 19 млн лет назад в раннем миоцене. Во время смены направления конвергенции инициировались сдвиговые движения, а взбросы и надвиги сменялись косыми правосторонними взбросо-сдвигами. В изученном районе современные активные тектонические движения включают правосторонний сдвиг по разломам север-северо-западного простирания, а также надвиги и сопутствующую им складчатость. Активность правосторонних сдвигов в плиоцен-четвертичное время устанавливается по деформациям пород и рыхлых осадков. Во время сдвиговых деформаций некоторые ранние разломы, имевшие во время предыдущего геотектонического события взбросовые или надвиговые смещения, изменили свою кинематику на взбросо-сдвиговую или сдвиговую.

Активность зоны главного разлома Наин-Бафт упоминалась в некоторых предыдущих исследованиях. В работе [Allen et al., 2011] разлом Наин-Бафт определен

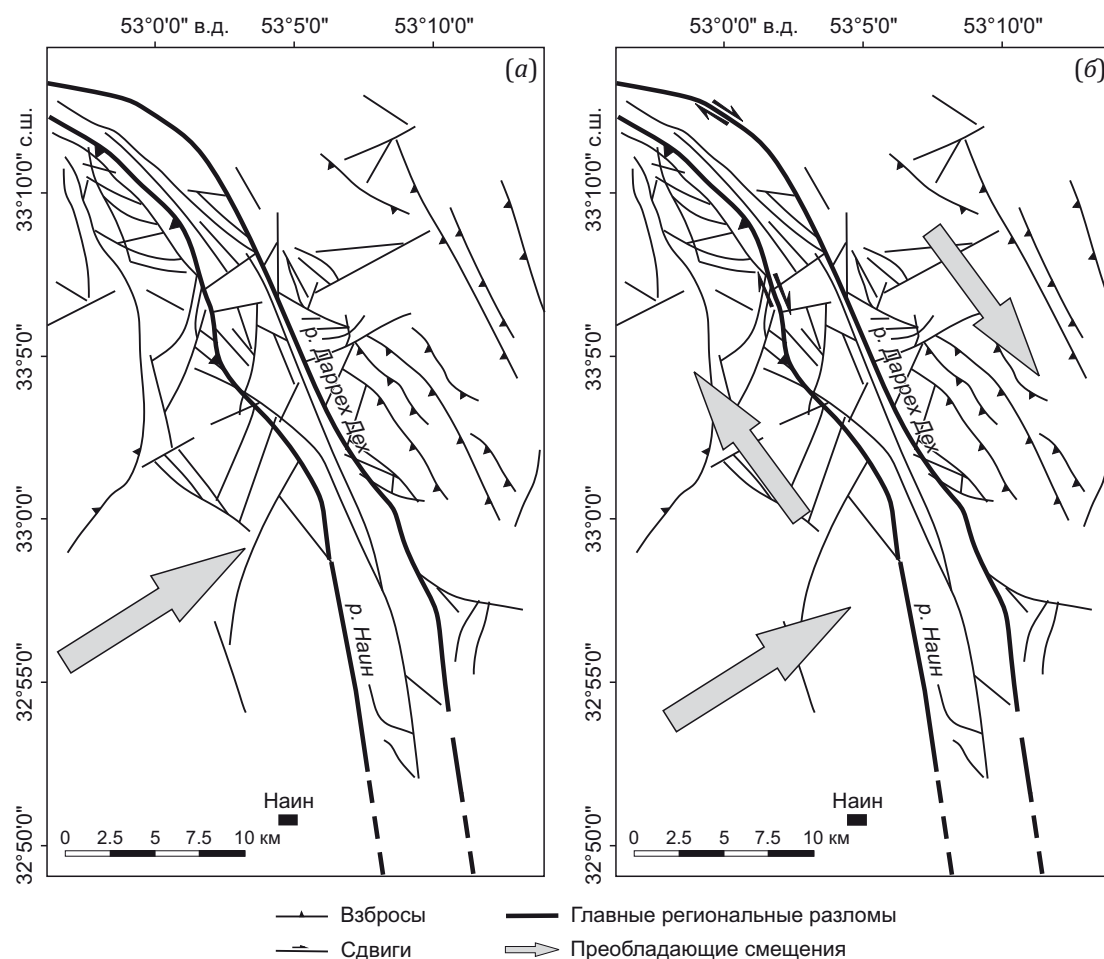


Рис. 7. Кинематические схемы: (а) – для позднего мела; (б) – для позднего миоцена.

Fig. 7. Kinematic schemes: (a) – for the Late Cretaceous; (б) – for the Late Miocene.

как правосторонний сдвиг. Новый детальный структурный анализ вдоль зоны разломов Наин и Даррех Дех, выполненный авторами данной статьи, свидетельствует о наличии крутого разлома с хорошо заметной правосторонней сдвиговой компонентой, который прежде имел заметную компоненту взбросового характера. Авторами также зафиксированы как взбросовые, так и правосторонние сдвиговые структуры (см. [рис. 4](#); [рис. 6](#)). Эти данные показывают, что структуры, связанные с правосторонними смещениями, как правило, воздействуют на все предшествующие элементы, в том числе сокращая роль взбросовых структур. Все вышесказанное свидетельствует об изменении направления конвергенции в пределах структуры западного борта Центрально-Иранского массива.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Офиолиты района Наин представлены в настоящее время «цветным меланжем», который является реликтом океана Неотетис [Gansser, 1955; Gansser, Huber, 1962]. Они расположены в западном сегменте микроконтинента Центральный Иран на пересечении двух систем разломов регионального масштаба, которые были периодически активными с мелового периода и до наших дней. На основании полевых наблюдений и анализа космических снимков установлено, что сдвиговые комплексы района Наин образуют сложную разломную сеть, которая формировалась в течение двух этапов: раннего (поздний мел – миоцен) и позднего (плиоцен – настоящее время).

Структурный анализ показал, что разрывные нарушения образуют сложную сеть, развитие которой прошло две стадии: 1) формирования надвигов в поздне-меловую эпоху и 2) реактивации надвигов в правосторонние взбросо-сдвиги в результате транспрессивных движений в позднем миоцене. Разломы Наин и Даррех Дех активны в настоящее время и имеют правостороннее сдвиговое смещение с взбросовой составляющей ([рис. 7](#)). В результате в зоне разломов наблюдается интерференция двух структурных планов: взбросового и правостороннего сдвигового. По разломам происходит смещение как пород офиолитового комплекса, так и более молодых пород, включая четвертичные отложения.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

8. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Allen M., Jackson J., Walker R., 2004. Late Cenozoic Reorganization of the Arabia Eurasia Collision and the Comparison of Short Term and Long-Term Deformation Rates. *Tectonics* 23 (2), TC2008. <https://doi.org/10.1029/2003TC001530>.

Allen M.B., Kheirkhah M., Emami M.H., Jones S.J., 2011. Right-Lateral Shear across Iran and Kinematic Change in the Arabia-Eurasia Collision Zone. *Geophysical Journal International* 184 (2), 555–574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04874.x>.

Berberian M., King G.C.P., 1981. Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18 (2), 210–265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>.

Berberian M., Yeats R.S., 2001. Contribution of Archaeological Data to Studies of Earthquake History in the Iranian Plateau. *Journal of Structural Geology* 23 (2–3), 563–584. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(00\)00115-2](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(00)00115-2).

Fattahi M., Nazari H., Bateman M.D., Meyer B., Sébrier M., Talebian M., Le Dortz K., Foroutan M., Givi F.A., Ghorashi M., 2010. Refining the OSL Age of the Last Earthquake on the Dhesir Fault, Central Iran. *Quaternary Geochronology* 5 (2–3), 286–292. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2009.04.005>.

Gansser A., 1955. New Aspects of the Geology in Central Iran. *Proceedings of 4th World Petroleum Congress* (June 6–15, 1955, Rome, Italy). Rome, WPC-6018.

Gansser A., Huber H., 1962. Geological Observations in the Central Elburz, Iran. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* 42, 593–630.

Ghasemi A., Talbot C.J., 2006. A New Tectonic Scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 26 (6), 683–693. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2005.01.003>.

Hessami Kh.T., Jamali F.H., 1996. Active Faulting in Iran. *Journal of Earthquake Prediction Research* 5 (3), 403–412.

Javadi H.R., Ghassemi M.R., Shahpasandzadeh M., Guest B., Ashtiani M.E., Yassaghi A.L.I., Kouhpeyma M., 2013. History of Faulting on the Doruneh Fault System: Implications for the Kinematic Changes of the Central Iranian Microplate. *Geological Magazine* 150 (4), 651–672. <https://doi.org/10.1017/S0016756812000751>.

Kaz'min V.G., Lobkovsky L.I., Tikhonova N.F., 2010. Late Cretaceous-Paleogene Deepwater Basin of North Afghanistan and the Central Pamirs: Issue of Hindu Kush Earthquakes. *Geotectonics* 44 (2), 127–138. <https://doi.org/10.1134/S0016852110020032>.

Kopp M.L., 1997. Structures of Lateral Extrusion in the Alpine-Himalayan Collisional Belt. *Transactions of GIN RAS. Iss. 506. Nauchny Mir, Moscow, 314 p. (in Russian)* [Копп М.Л. Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе. Труды ГИН РАН. М.: Научный мир, 1997. Вып. 506. 314 с.].

Mahabadi A., Foudazi M., 2004. Geological Map of Nain. Scale 1:100000. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran. 1 sheet.

McQuarrie N., Stock J.M., Verdel C., Wernicke B.P., 2003. Cenozoic Evolution of Neotethys and Implications for the Causes of Plate Motions. *Geophysical Research Letters* 30 (20), 2036. <https://doi.org/10.1029/2003GL017992>.

Moghim E., 2009. Comparative Study of Changing Drainage Basin System with Tectonic Forms, Case Study: Lut Block, Iran. *American Journal of Applied Sciences* 6 (6), 1270–1276. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2009.1270.1276>.

Mohajer-Ashjai A., Behzadi H., Berberian M., 1975. Reflections of the Rigidity of the Lut Block and Recent Crustal Deformation in Eastern Iran. *Tectonophysics* 25 (3–4), 281–301. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(75\)90066-9](https://doi.org/10.1016/0040-1951(75)90066-9).

Petit J.P., 1987. Criteria for the Sense of Movement on Fault Surfaces in Brittle Rocks. *Journal of Structural Geology* 9 (5–6), 597–608. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(87\)90145-3](https://doi.org/10.1016/0191-8141(87)90145-3).

Seton M., Müller R.D., Zahirovic S., Gaina C., Torsvik T., Shephard G., Talsma A., Gurnis M., Turner M., Maus S., Chandler M., 2012. Global Continental and Ocean Basin Reconstructions since 200 Ma. *Earth-Science Reviews* 113 (3–4), 212–270. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.03.002>.

Shirdashtzadeh N., Torabi G., Arai S., 2010. Metamorphism and Metasomatism in the Jurassic Nain Ophiolitic Mélange, Central Iran. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 255 (3), 255–275. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2009/0017>.

Tchalenko J.S., Ambraseys N.N., 1970. Structural Analysis of the Dashte-Bayas (Iran) Earthquake Fractures. *GSA Bulletin* 81 (1), 41–60. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1970\)81\[41:SAOTDB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1970)81[41:SAOTDB]2.0.CO;2).

Tchalenko J.S., Berberian M., 1975. Dasht-e-Bayaz Fault, Iran: Earthquake and Earlier Related Structures in Bed Rock. *GSA Bulletin* 86 (5), 703–709. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1975\)86%3C703:DBFIEA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1975)86%3C703:DBFIEA%3E2.0.CO;2).

Trifonov V.G., Soboleva O.V., Trifonov R.V., Vostrikov G.A., 2002. Recent Geodynamics of the Alpine-Himalayan Collision belt. In: *Transactions of GIN RAS. Iss. 541. GEOS, Moscow*, 225 p. (in Russian) [Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. Труды ГИН РАН. М.: ГЕОС, 2002. Вып. 541. 225 с.].

Wellman N.W., 1966. Active Wrench Faults of Iran, Afghanistan and Pakistan. *Geologische Rundschau* 55, 716–735. <https://doi.org/10.1007/BF02029650>.