

Итоговый отчет по российско-иранскому проекту РФФИ № 20-55-56004/20
«Неотектоника и сейсмоструктура области тройного сочленения складчато-надвиговых
поясов Эльбурса, Загроса и Малого Кавказа и ее соотношения с Южно-Каспийской
впадиной»

Аннотация, публикуемая на сайте РФФИ

Проведены следующие исследования: (1) сопоставление мезозойских офиолитовых зон Западного Ирана и Восточной Турции; (2) изучение эоценового магматизма Тальша; (3) сравнение неоген-четвертичного тектонического развития северных предгорий Западного и Восточного Эльбурса и его сопоставление с развитием Южно-Каспийской впадины; (4) получение и обобщение данных о морских акчагыльских отложениях Северного Ирана и Тальша и определение особенностей акчагыльской трансгрессии Каспийского моря; (5) получение и обобщение данных об активных разломах Эльбурса, его северных предгорий и границы Тальша с Южным Каспием.

Получены следующие важнейшие результаты.

(1) Показано, что мезозойские офиолитовые зоны распространены в Восточной Турции шире, чем в Западном Иране. В Восточной Турции офиолиты слагают две крупнейшие сутуры: Измир–Анкара–Эрзинджан–Севан и Южного Тавра, связанные с ними проявления обдукции и тектонические окна и зону, разделяющую микроплиты Таврид и Иранскую. Продолжение северной сутуры в Иран гипотетично. Южная сутура прослеживается на ЮВ вдоль зоны Главного надвига Загроса. Различия в распространении офиолитов связано с тем, что турецкие офиолиты отражают пологие фронтальные зоны субдукции, а в Иране доминировали правосдвиговые движения вдоль более узкой границы.

(2) Определены геологические и петролого-геохимические характеристики проявлений эоценового вулканизма Тальша как части коллизионного вулканического пояса.

(3) Показано, что в плиоцен-четвертичное время граница Западного Эльбурса и Южно-Каспийской впадины оставалась стабильной или смещалась в сторону Эльбурса из-а абразии его северного склона. На северном склоне Восточного Эльбурса существовала предгорная ступень, где накапливались миоценовые морские отложения. Они были деформированы в позднем миоцене и эродированы в раннем плиоцене, после чего на северный край ступени распространилась акчагыльская трансгрессия Каспия. Позднее предгорная ступень поднялась. Различия западной и восточной частей побережья связаны с тектоническим развитием Южно-Каспийской впадины. На западе впадины накопилось ~10 км плиоцен-четвертичных осадков, а на востоке только 6 км. Восточная часть впадины сохранила утоненную континентальную кору мощностью 30–37 км при мощности чехла до 16 км, а в западной части впадины кора стала субокеанической мощностью 28–30 км при мощности чехла ~20 км.

(4) Обобщены данные о распространении морских акчагыльских отложений в Иране и Тальше. Положение областей наиболее мощного акчагыльского морского осадконакопления определялось сочетанием новообразованной поперечной зональности Кавказско-Каспийского региона и реликтов прежней продольной зональности. Первая представлена впадинами Южного и Среднего Каспия и запада Северо-Каспийской–Прикаспийской впадины. Вторая выражена прогибами севера Куринской впадины, районов г. Куба в Северном Азербайджане и Терского хребта, зоны Главного Копетдагского разлома и Предкопетдагского прогиба. В эпоху максимальной трансгрессии акчагыльские воды проникли в Севанскую, Ширакскую и Хорасанскую внутригорные впадины Армении и Восточной Турции. В послеекчагыльское время область морского осадконакопления уменьшилась до размеров Каспийских впадин. Тогда же произошло поднятие Кавказа и Закавказья. Оно достигло 1980 м на северном склоне Восточного Кавказа, 2500 м в его осевой части, 1750 м в Хорасанской и ~1520 м в Ширакской впадинах. Вероятным каналом проникновения океанских вод в замкнутый

акчагыльский водоем в конце плиоцена нам представляется Печорская впадина и верховья р. Камы.

(5) Систематизированы данные об активных разломах Эльбурса и южного побережья Каспия. Установлено, что вдоль границы Талыша и Южного Каспия развиваются активные правые сбросо-сдвиги. Они продолжаются на юг Ардебильской зоной разломов, отделяющей Эльбурс от Талышского малого синтаксиса с вулканом Сабалан. Данные об активных разломах региона введены в Базу данных активных разломов Северной Евразии, созданную в Геологическом институте РАН.

Цель проекта и коррекция планов работ в ходе его реализации

Цель проекта – исследовать активные разломы, новейшую структуру и историю неоген-четвертичного развития области тройного сочленения складчато-надвиговых поясов Эльбурса, Загроса и Малого Кавказа, определить на этой основе геодинамические условия формирования структуры и сейсмогенерирующие зоны. В соответствии с целью проекта в Заявке был предложен трехлетний план совместных российско-иранских работ, одобренный обеими сторонами. Однако перед каждым годом работ по проекту иранская сторона отказывалась принять российских исполнителей. В связи с этим планы работ каждого года корректировались.

Откорректированный план работ на 2021 г. предусматривал решение трех задач: (1) анализ дистанционных материалов, геологических и топографических данных, в том числе материалов, полученных в 2018 г. в ходе совместных полевых работ российских и иранских участников проекта, с целью определения основных элементов новейшей структуры и активной тектоники Эльбурса; (2) плиоцен-четвертичное развитие прибрежной области между новейшим горно-складчатым сооружением Эльбурса и Южно-Каспийской впадиной как отражение их геодинамического взаимодействия, по данным полевых исследований российских и иранских участников проекта в 2018 г.; (3) сбор материалов по акчагыльским отложениям иранского обрамления Южного Каспия.

Откорректированный план работ на 2022 г. предусматривал сосредоточение совместных усилий на обработке литературных и ранее полученных российскими и иранскими участниками проекта материалов и их интерпретации для обобщения данных об акчагыльских отложениях Южно-Каспийской впадины и ее иранского обрамления как части обширного исследования тектонических, седиментологических и биотических аспектов акчагыльской трансгрессии Каспийского региона.

В конце 2022 г., в связи с очередным отказом иранской стороны было принято решение провести экспедиционные работы в соседних с Ираном районах Азербайджана (Талыш, Малый Кавказ, юг Куриной впадины), куда продолжают структурные элементы, подлежащие изучению в Иране, и где задачи проекта могут быть частично решены. Для организации этих работ было заключено соглашение с Республиканским центром Сейсмологической службы при Национальной Академии наук Республики Азербайджан. План совместных российско-азербайджанских работ 2023 г. предусматривал:

- 1 – изучение складчато-надвиговой структуры палеогеновых и раннемиоценовых отложений Талышской зоны; отыскание признаков новейших правосдвиговых перемещений вдоль побережья Южного Каспия;
- 2 – выявление и параметризация активных разломов и изучение особенностей эоценового вулканизма Талышской зоны;
- 3 – изучение полосы апшеронских и акчагыльских отложений западнее г. Джалилабад для определения границ позднеплиоцен-раннеплейстоценовых трансгрессий Каспия и величины четвертичного поднятия;
- 4 – изучение выходов апшеронских и, возможно, акчагыльских отложений на юго-восточном погружении Малого Кавказа (левобережье р. Араз) для определения границ

указанных трансгрессий, отыскания признаков активной разломной зоны вдоль р. Араз и определения ее кинематики.

5 – обработка полученных материалов совместно с азербайджанскими учеными и сопоставление результатов с данными по соседним районам Ирана.

Кроме этих работ, в соответствии с целями проекта, в 2023 г. предполагалось исследовать соотношения офиолитовых зон Турции и Ирана на основе совместных российско-турецких работ и прежних работ участников проекта в Иране.

Все предусмотренные откорректированными планами 2021–2023 гг. мероприятия были выполнены и задачи решены. Получены следующие важнейшие результаты.

Сопоставление офиолитовых зон Западного Ирана и Восточной Турции

Мезозойские офиолитовые зоны обнажены на значительной части Восточной Турции, где сочетаются с выходами кристаллического фундамента и частично перекрыты верхнемезозойскими и кайнозойскими осадочными и вулканогенными породами (рис. 1). Офиолиты слагают две крупнейшие зоны: сутуру Измир–Анкара–Эрзинджан, продолжающуюся на СВ офиолитами Базумского хребта и далее на ЮВ Севано-Акеринской зоной, и Южно-Таврскую сутуру, отделяющую современный орогенический пояс от Аравийской плиты. Северная сутура представляет реликты палеоокеана позднего Мезотетиса, закрывшегося в позднем мелу, а южная сутура – реликты палеоокеана Неотетиса, закрывшегося в эоцене. К югу от каждой из сутур выявлены обдуцированные офиолиты, а к северу – тектонические окна, на границах которых офиолиты пододвинуты под породы фундамента.

На юго-западном краю Эрзурумской внутригорной впадины от северной сутуры ответвляется офиолитовая зона, которая продолжается на восток до юго-западного борта Араратской внутригорной впадины и далее на ЮВ вдоль западного берега оз. Урмия до соединения с сутурой Неотетиса. Эта зона отделяет микроплиту Таврид от фрагментированной западной части Иранской микроплиты. Метаморфизованный фундамент Таврид датирован палеозоем – ранним триасом. Радиоизотопные датировки фундамента тектонических зон, расположенных по краям Иранской плиты (Санандадж-Сирджанская зона, Иранской Азербайджан, Эльбурс), находятся в интервале 600–550 млн лет (Moghdam, Stern, 2014), а на территории Армении составляют ~620 млн лет (Агамалян, 1998), т.е. принадлежат эдиакарию и раннему кембрию.

На западе Ирана площади, занятые офиолитами, существенно меньше, чем в Восточной Турции, причем среди них присутствуют как мезозойские офиолиты, так и более древние. Мезозойские офиолиты распространены в зоне Главного надвига Загроса, причем на его надвинутом крыле, в Санандадж-Сирджанской зоне, выявлены как офиолиты Неотетиса, так и метаморфизованные более древние офиолиты палеозоя – раннего мезозоя, что свидетельствует о длительном развитии этой континентальной окраины. Предполагаемое продолжение северной сутуры отмечено в зоне Тебризского разлома (Alari, 1996) и, возможно, в скрытом виде вдоль южного склона Эльбурса (Хаин, 2001; Трифионов и др., 2020). Последнее подтверждается к югу от Восточного Эльбурса между г. Форумад и г. Фариман, где протягивается полоса выходов цветного меланжа мелового возраста с покровами базальтов и телами ультраосновных пород.

Мы связываем меньшее распространение офиолитов в Западном Иране по сравнению с Восточной Турцией с их структурным положением. При дрейфе Аравийско-Африканской плиты в северных румбах Восточная Турция находилась во фронте пододвигавшейся по пологой поверхности литосферы Тетиса, что проявилось в широком распространении реликтов океанской литосферы, выведенных на поверхность позднейшими поднятием и эрозией. В Иране сыграла роль значительная правосдвиговая компонента движения южной плиты по более крутой границе, отчего распространение офиолитов оказалось более компактным. В Санандадж-Сирджанской зоне сказался также более глубокий

эрозионный срез, выраженный метаморфическими изменениями пород, обусловленный интенсивным поднятием аллохтона зоны поддвига и приведший к размыву обдуцированных офиолитов.

Полученные результаты частично представлены в статье Я.И. Трихункова и др. «Геологическая позиция, структурные проявления Эльбистанского землетрясения и тектоническое сравнение двух сильнейших сейсмических событий 06.02.2023 г. в Восточной Турции» // Геотектоника. 2024. № 3.

Эоценовые магматические образования Талыша

Палеогеновый вулканический пояс, максимум формирования которого приходился на эоцен, протягивается от Восточного Понта до Эльбурса. Пояс занимает преимущественно северное крыло сутуры позднего Мезотетиса (северной ветви Неотетиса, по определению В.Е. Хаина, 2001) и представляет коллизионную стадию его развития. Изучение геологии и петрохимических особенностей эоценового вулканизма является важной задачей, способной пролить свет на происхождение коллизионного магматизма. Проявления эоценового магматизма исследованы нами в Талыше в 2023 г. (рис. 2).

В ходе геологических работ закартирована серия интрузивных тел основного и среднего состава, им дано петрографическое описание и классификация по химическому составу.

Нами обнаружено субвулканическое тело, по форме отвечающее дайке и имеющее ширину около 40 м (GPS 966). Контакт с вмещающими породами (флишем) – секущий, без видимых экзоконтактовых изменений, при этом в зоне эндоконтакта породы имеют меньшую степень кристалличности и соответствуют долеритам, нежели в центральной (габбро). Основная масса долеритов сложена сильно измененным (хлоритизированным) вулканическим стеклом, на общем фоне которого выделяются крупные лейсты калиевого полевого шпата и плагиоклаза, для габбро характерна более равномернозернистая структура. Главными минералами здесь выступают плагиоклаз и роговая обманка, также обнаруживаются редкие реликты ромбического пироксена. На классификационной диаграмме TAS Middlemost (1985) точки составов попадают в поля монцогаббро и монцодиоритов (рис. 3).

В пункте с координатами (GPS 972) обнаружен контакт интрузивного тела и толщи, представленной трёхчленным флишем. Интрузия, залегающая согласно с вмещающими породами, соответствующая силлу, представлена долеритами. Главными минералами выступают полевые шпаты и моноклинный пироксен, образующими порфиры, иногда достигающие нескольких миллиметров по удлинению. Основная масса породы сложена мелкими в доли миллиметра, лейстами плагиоклаза и вулканическим стеклом, которое практически полностью замещено агрегатом хлорита. Стоит отметить четко выраженную зону экзоконтакта (как в основании интрузии, так и в кровельной ее части), представленную ороговикоманскими породами флиша с широко проявленной кальцитовый минерализацией по системам трещин. По химическому составу породы соответствуют монцогаббро. Интрузивное тело прослежено до пункта GPS 973.

В точке GPS 982 встречены выходы эффузивных порфировидных пород. При петрографическом исследовании обнаруживается, что минералами, слагающими порфиры, выступают: полевые шпаты, моноклинный и ромбический пироксены. Основная масса представлена мелкими кристаллами полевых шпатов и хлоритизированным вулканическим стеклом. Крупные порфиры плагиоклаза часто оплавлены и имеют округлую, овальную форму. Точки составов пород на классификационной диаграмме $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ попадают в поля фонолитовых тефритов и трахиандезибазальтов.

В точке GPS 988 в реке Ленкоранка зафиксировано интрузивное тело, которое с вмещающими породами (флишем) залегают конкордантно. Интрузия имеет сложную форму, от осинового тела отходят множественные апофизы, которые вторгаются в

пространства между слоями. Стоит отметить и мощные, в несколько метров, зоны ороговикования. Сам силл имеет мощность около 5–6 м. При петрографическом исследовании выявляется, что главными минералами являются полевые шпаты, в интерстициях вулканическое стекло, объем которого составляет около 10%. Присутствуют редкие зерна кальцита, что, вероятно, обеспечено выносом кальция из плагиоклазов. По химическому составу породы отвечают монцогаббро, а неполнокристаллическая структура позволяет классифицировать их как габбро-долерит.

В настоящее время продолжается обработка собранных материалов.

Соотношения новейшей структуры Эльбурса и Южно-Каспийской впадины

Обобщены данные о неотектонике и современной геодинамике Эльбурса. Современная структура Эльбурса развивается в условиях транспрессии (Jackson et al., 2002; Guest et al., 2006). Об этом свидетельствует кинематика активных разломов (рис. 4). Большинство крупных продольных разломов Эльбурса и его южных подножий имеют левосдвиговую компоненту смещений, которая близка к взбросовой компоненте по амплитуде или превосходит ее (Berberian et al., 1992; Allen et al., 2003; Vachmanov et al., 2004). Высказано мнение (Allen et al., 2003), что сочетание поперечного укорочения с левым сдвигом было характерно для всего позднекайнозойского этапа развития Эльбурса, начало которого отнесено к среднему миоцену. Результаты GPS измерений подтверждают транспрессивную модель (Vernant et al., 2004; Djamour et al., 2010; Mousavi et al., 2013; Khorrami et al., 2019). Современная скорость меридионального укорочения Эльбурса оценена в 5 ± 2 мм/год при суммарной скорости левого сдвига 4 ± 2 мм/год (Vernant et al., 2004). Современная высокая тектоническая активность Эльбурса отмечена рядом сильных землетрясений с магнитудами M_s до 7.4.

Вдоль границы Эльбурса и прибрежной равнины протягивается Хазарский активный разлом, кинематика которого различна в западной и восточной частях, простирающихся, соответственно, на ЗСЗ и ВСВ (Rashidi, 2021). На западе отчетливо выражено голоценовое надвиговое перемещение со скоростью ~ 3.6 мм/год (Nazari et al., 2021_{1,2}). По результатам GPS измерений скорость поперечного укорочения западного сегмента разлома составляет ~ 6 мм/год при скорости левого сдвига 1.8 мм/год, тогда как в восточном сегменте скорость поперечного укорочения сокращается до 2–3 мм/год, а скорость левого сдвига возрастает до ~ 5 мм/год (Djamour et al., 2010). Для всей полосы активных разломов Эльбурса скорость поперечного укорочения сокращается с запада на восток от 5–7 до ~ 2 мм/год, а скорость левого сдвига возрастает от ~ 5 до ~ 8 мм/год (Khorrami et al., 2019).

Нами исследована переходная область между Эльбурсом и Южно-Каспийской впадиной (рис. 5). Помимо российских и иранских исполнителей проекта, в работе участвовали С.В. Попов (ПИН РАН), А.В. Латышев (ИФЗ РАН), Е.А. Зеленин и Л.А. Головина (ГИН РАН).

На западе Эльбурса, в районе г. Решта, выделяется приморская равнина, отделенная от Эльбурса разломами, которые служили абразионными уступами в эпохи высокого стояния Каспия. Бурение, выполненное в 1945–1946 гг. возле г. Бандар-е Анзали, показало присутствие под голоценовыми наносами плейстоценовых морских осадков (Саидов, Кучапин, 1955). Непосредственно к югу от тылового уступа, на левом берегу р. Сефид-Руд (т.б, 37.12297° с.ш.; 49.661202° в.д.; $H=90$ м), нами описан разрез Джукул Бандан видимой мощностью 18–20 м (рис. 6). Он сложен чередованием песков, глин и алевроитов с пластом хорошо окатанного галечника (2 м) в 3–5 м от кровли и представляет дельтовые фации высокой террасы р. Сефид-Руд. Большая часть разреза намагничена нормально, но вверху и внизу слои обратно намагничены. Судя по слабой консолидации отложений, разрез может коррелироваться с субхронами Харамильо или Олдувай и соседними интервалами эпохи Матуяма, т.е. принадлежать калабрию или самым верхам гелазия.

Выше по течению р. Сефид-Руд находится обширная внутригорная впадина водохранилища Манджил. Она ограничена с севера разломом широтного (до ЗСЗ–ВЮВ) простирания. В зоне разлома (т. 15) породы рассланцованы, брекчированы и изменены до зелено-сланцевой фации метаморфизма. Вблизи разлома (т. 12) обнажены красноцветные отложения, сопоставляемые нами с Верхней красноцветной формацией миоцена. Выше залегает мощная обломочная толща, заполняющая впадину. В ее восточной части южнее г. Манджил (т. 9; 36.7073° с.ш.; 49.414922° в.д.; Н=346 м до 36.708609° с.ш.; 49.419672° в.д.) нами описан ее разрез (рис. 7). Он представлен слоистыми песчаниками и алевролитами видимой мощностью 70–75 м, выше которых залегают слоистые конгломераты с песчаными прослоями общей мощностью до 50 м. Толща песчаников и алевролитов представляет озерные и аллювиальные осадки, существенно более консолидированные, чем отложения разреза т. 6. Эти осадки залегают выше миоценовой формации и перекрыты менее уплотненной конгломератовой толщей, сходной с четвертичными отложениями т.5 и т.18. Поэтому мы предположительно относим толщу к плиоцену. Поскольку она показывает нормальную намагниченность с двумя интервалами обратной полярности, мы коррелируем ее с верхним плиоценом. Толща нарушена пологими складками и малоамплитудными разломами.

Итак, на участке каспийского побережья в районе г. Решт плиоцен-четвертичные отложения внутри горного сооружения представлены аллювиальными и озерными фациями. Морские отложения обнаружены только в пределах прибрежной равнины. Значительная часть границы прибрежной равнины и гор образована разломами с поднятым горным крылом. На склоне Эльбурса отсутствует предгорная область, которую можно было бы интерпретировать как разрастание горного сооружения за счет морской впадины. Такие соотношения указывают на постоянство границы морской впадины и горного сооружения или наступление моря на горы с абразией побережья.

Восточный район между с. Аламде и г. Горган. Скважина, пробуренная в г. Бандар Торкаман на прибрежной равнине юго-западном края Южно-Каспийской впадины в 1945–1946 гг., вскрыла плейстоценовые морские отложения мощностью более 1000 м (Саидов, Кучапин, 1955). Прибрежная равнина расположена на высотах от современного уровня Каспия (–26 м) до 40 м a.s.l. Восточная часть Эльбурса характеризуется высотами от 1200 м до 3000 м в осевой части. Между хребтом и прибрежной равниной выделяется предгорная ступень. Ее вершинная поверхность варьирует от ~200 до 1000 м a.s.l., в целом повышаясь к югу (рис. 8). Предгорная ступень отделена от прибрежной равнины Хазарским активным сдвиго-надвигом, а от горного хребта уступом новейшего разлома, имеющего надвиговую составляющую смещений.

Предгорная ступень сложена породами мела, миоцена, плиоцена и квартера (см. рис. 5). В ходе выполненного исследования уточнена стратиграфия миоценовых отложений и дано ее палеонтологическое обоснование, отправной точкой для которых послужили работы советских геологов в Северной Иране в 1945–1946 гг. (Саидов, Кучапин, 1955). В итоге, разрез отложений предгорной ступени представляется следующим образом.

Меловые карбонатные отложения мощностью до 1400 м залегают на мраморизованных известняках верхней юры и охарактеризованы иноцерамами и выше форрамениферами от апт-альба до датского яруса. Нижний миоцен мощностью ~100 м несогласно залегает на меловых отложениях и сложен глинами с прослоями песчаника. Обнаружены моллюски, характерные для верхней части майкопского регионаруса – сакараула (20.5–19 млн л.) и наннопланктон, имеющий стратиграфический диапазон внутри зон NN1–NN2.

Средний миоцен представлен чокракским (до 100 м), караганским (74–110 м), конкским (до 78 м) и сарматским регионарусами. В составе сармата выделены нижний (от 70–75 м до 100–140 м), средний (от 130 м до 450 м) и, возможно, верхний (до 200 м) региональные подъярусы. Средний миоцен сложен морскими глинами, алевритами и песчаниками с прослоями известняка и в верхнем сармате конгломератов. Среди чокракских отложений присутствуют континентальные фации. Стратиграфические подразделения выделены по

характерной фауне моллюском и отчасти наннопланктону. В составе ниже- и среднесарматской биоты, наряду с формами, типичными для сарматского полузамкнутого водоема, выявлены полигалинные формы моллюсков и наннопланктон, указывающие на канал сообщения с открытыми бассейнами Средиземного моря и/или Индийского океана.

Меловые и миоценовые отложения предгорной ступени были смяты в субширотные линейные складки в конце миоцена. Тогда же, вероятно, произошло поднятие северо-восточной части будущей предгорной ступени. В раннем плиоцене при значительном падении уровня Каспия возвышавшиеся в рельефе антиклинали были эродированы, и на выравненную поверхность северного края предгорной ступени в позднем плиоцене проникли воды акчагыльской трансгрессии Каспийского моря (Саидов, Кучапин, 1955). В более южных частях предгорной ступени морской акчагыл неизвестен. В высоких террасах на склонах крупных речных долин сарматские и более древние отложения несогласно перекрыты полого залегающими аллювиальными галечниками, песками и суглинками. На водоразделах обнажены лессовидные суглинки, достигающие особенно большой мощности к ЮЗ от г. Горгана. В 3 км юго-западнее г. Горган, в карьере на окраине с. Саадабад (s 34; 36.828982° с.ш.; 54.382851° в.д.; Н=114 м) стенки сложены лессовидными суглинками с горизонтами палеопочвы и прослоями галечника в нижней части. Мощность 25 м. Нами найдены наземные моллюски, представляющие смешанную ассоциацию лесных видов (*Pomatias*, *Caspicyclotus*) и видов, предпочитающих открытые склоны и степные области. Нижние 6 м разреза показали нормальную намагниченность.

Итак, в рассматриваемой прибрежной области морской бассейн распространялся в раннем и среднем миоцене, по меньшей мере, до южной границы современной предгорной ступени. В позднем миоцене накопившиеся морские осадки были смяты в складки, в раннем плиоцене деформационные поднятия были эродированы и на северном краю предгорной ступени накопились осадки акчагыльского моря мощностью до 320 м. На ограниченной площади морское осадконакопление продолжалось в апшеронское время, когда отложилось до 300 м осадков. В более южных частях предгорной ступени в это время развивались речные долины, где накапливался галечный аллювий до валунного, свидетельствующий об интенсивном поднятии и эрозии Эльбурса, откуда реки предгорной ступени стекали. В конце раннего – начале среднего плейстоцена движения по Хазарскому разлому обособили предгорную ступень от прибрежной равнины, которая в это время оставалась мелководной частью Каспийского шельфа. Высота максимальной акчагыльской трансгрессии не превышала, по нашим расчетам, 40–50 м a.s.l. Сейчас акчагыльские отложения предгорной ступени находятся на высотах до 120–150 м. Это определяет минимальную амплитуду четвертичного смещения по Хазарскому разлому (без учета погружения предгорной равнины) в 60–100 м. Поскольку акчагыльские морские отложения мощностью до 300–320 м не могли внезапно выклиниваться к югу, мы должны допустить надвиговое перекрытие полосы выклинивания по Хазарскому разлому. По зоне разломов, ограничивающей предгорную ступень с юга, также отмечено надвигание на нее юрских отложений Эльбурса. Смещение произошло после того, как отложения предгорной ступени были смяты в складки, т.е. не ранее конца миоцена – начала плиоцена. Вероятно, движения продолжались в четвертичное время.

Таким образом, в восточной части южного побережья Каспия в позднем кайнозое происходило разрастание горного сооружения Эльбурса за счет сокращения Южно-Каспийской впадины. Этим развитие рассматриваемого района принципиально отличается от развития побережья в районе г. Решт.

Обсуждение результатов. Различия плиоцен-четвертичного развития западного и восточного участков южного побережья Каспия связаны с различиями западной и восточной частей Южно-Каспийской впадины. Обе части впадины вплоть до миоцена входили в состав Черноморско–Кавказско–Южно-Каспийского прогиба Паратетиса и характеризовались континентальной корой с мощным (9–11 км) осадочным чехлом и утоненным кристаллическим фундаментом (Трифонов и др., 2020). В самом конце

миоцена и раннем плиоцене произошло изменение в соотношении тектонических зон: усилилась поперечная тектоническая зональность. Это выразилось в начавшейся орогении Большого и Малого Кавказа и резком погружении западной части Южно-Каспийской впадины и более глубоком погружении Дербентской части Терско-Дербентского предгорного прогиба по сравнению с его западной Терской частью. Уровень Каспийского моря резко понизился в раннем плиоцене. Морское осадконакопление продолжалось только в Южно-Каспийской впадине и на юго-западе Среднего Каспия. В осушившейся северной части Среднего Каспия возникли врезы речных долин глубиной до 0.7 км, продолжавшиеся на север (Антипов и др., 1996; Леонов и др., 2005). При этом только в раннем плиоцене в западной части Южно-Каспийской впадины накопилось до 6 км осадков (Леонов и др., 1998). Ускоренное погружение западной части Южного Каспия по сравнению с его восточной частью продолжалось в позднем плиоцене и плейстоцене. В результате на западе впадины накопилось ~10 км плиоцен-четвертичных осадков, а на востоке только 6 км. Восточная часть впадины, продолжающаяся в Западно-Туркменскую низменность, сохранила утоненную континентальную кору мощностью 30–37 км при мощности чехла до 16 км, а в западной части впадины кора стала субокеанической мощностью 28–30 км при мощности чехла ~20 км (Иванова, Трифонов, 2002).

Для объяснения структурных соотношений Эльбурса и Южного Каспия предложена модель вращения Южно-Каспийской впадины по часовой стрелке (Jackson et al., 2002; Ritz et al., 2006; Djamour et al., 2010; Mousavi et al., 2013; Khorrami et al., 2019; Nazari et al., 2021_{1,2}), согласующаяся с кинематикой активных разломов и интерпретацией результатов GPS наблюдений в Эльбурсе. Этой модели противоречат данные об активном правом сдвиге вдоль Апшеронского порога и простирающейся на СЗ Сальяны-Лянгабизской зоны разломов на востоке Куринской впадины (см. рис. 4) (Трифонов и др., 2002).

Поэтому более вероятными представляются доводы в пользу движения Южно-Каспийской впадины на запад или СЗ (Allen et al., 2003; Vernant et al., 2004; Rashidi, 2021). Можно согласиться с моделью М.Л. Коппа (1998), согласно которой ороген Копетдага реагировал на меридиональное давление более южных тектонических зон в позднем кайнозое поперечным укорочением и выжиманием горных масс земной коры Копетдага на запад. Можно допустить, что давление, оказываемое таким движением на западную часть Южно-Каспийской впадины, вызвало метаморфизм и, соответственно, уплотнение ее нижней коры, что привело к более интенсивному опусканию этой части впадины. Метаморфизованные породы земной коры приобрели плотность пород мантии, что выражается в скоростной картине подъемом поверхности Мохоровичича.

Результаты опубликованы в статье В.Г. Трифонова и др. «Развитие южной прибрежной области Каспия в плиоцен-четвертичное время по биостратиграфическим и магнито-стратиграфическим данным» // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2022. № 4.

Акчагыльские отложения Ирана и тектонические аспекты акчагыльской трансгрессии Каспийского моря

Для характеристики структуры акчагыльского бассейна в рамках данного проекта РФФИ были интерпретированы сейсмические разрезы Южного Каспия и проанализированы акчагыльские разрезы на территории Ирана, а также на севере Талыша в Азербайджане. Они сложены глинами, алевритами и песчаниками с прослоями известняка. В иранской части Западного Копетдага описаны распространение акчагыльских отложений и их литология (Soltani et al., 2020_{a,b}). В разрезе возле г. Гонбад-е Кявуз (14 на рис. 9) под лёссами с возрастом 2.4–1.8 Ма вскрыты известняки с акчагыльскими моллюсками (Wang et al., 2016). Западнее г. Горган, в разрезе возле с. Сурак (91 на рис. 9) нами описан 11-метровый разрез акчагыла, показавший нормальную намагниченность с тонкой зоной обратной полярности внизу. Мы предположительно сопоставили его с палеомагнитной эпохой Гаусс и определили как нижнеакчагыльский

(~3.2–2.6 млн лет). Залегающие выше лессовидные суглинки принадлежат палеомагнитной эпохе Брюнес (средний–верхний плейстоцен). Наиболее полный разрез акчагыла описан на южном берегу Каспия южнее с. Аламде (разрез S1; 36.551308° с.ш.; 51.807847° в.д.; Н=153 м; 93 на рис. 9). Разрез содержит характерную фауну морских акчагыльских моллюсков, достигает мощности 300–350 м и перекрыт без видимого несогласия охарактеризованной фауной моллюсков апшеронской толщей мощностью 250–300 м с 50-метровым конгломератовым слоем в основании (Саидов, Кучапин, 1955). Слои с акчагыльской морской фауной обнаружены также юго-восточнее указанного разреза вплоть до с. Рейканде (разрезы S2 и S3; 92 на рис. 5). В Иранском Азербайджане деформированные и нарушенные надвигами акчагыльские отложения отмечены на севере Талышских гор (15 и 16 на рис. 9) (Geological Map of Iran, 1978).

Новым важным результатом явилось выполненное в ноябре 2023 г. изучение акчагыльских отложений на севере азербайджанской части Северного Талыша западнее г. Джалалабад. В рамках этого исследования полевой отряд под руководством Я.И. Трихункова с участием В.С. Ломова и К.И. Юшина, а также азербайджанских коллег М. Пашаева и А. Ахметова изучил последовательность неоген-четвертичных отложений Нижнекуруинской впадины в северо-восточных предгорьях Талыша. Здесь морские отложения верхнего сармата перекрыты более молодой толщей морских осадков. В ходе работ из этих осадков было отобрано 27 ориентированных палеомагнитных образцов, 3 споро-пыльцевые и 3 фаунистические пробы. Из последних извлечены остатки морских моллюсков. *Aktchagilia cf. karabugasica* (Andrus., 1902), *Miricardium cf. dahestanicum* (Uspensk., 1931), *Cerastoderma cf. dombra* (Andrus., 1902), *Andrusella acuticarinata* (Andrus., 1902). Все это – эндемичные акчагыльские формы, так что, можно говорить о новом местонахождении акчагыла, важного для понимания распространения акчагыльского бассейна и неотектонических реконструкций. Обнажение находится в районе с. Тэкле, представляет собой дорожную выемку (см. рис. 2; т. 1023). Разрез сложен осадочными морскими отложениями с выдержанной мощностью слоев. Снизу вверх обнажаются:

Пачка 1. Массивные плитчатые песчаники с гравием и мелкой галькой, сильно литифицированные, крепкие, с прослоями серых песков и алевролитистых глин. В верхней части – прослой ракушечников, состоящие из указанных выше моллюсков. Мощность 4–5 м.

Пачка 2. Переслаивание тонкослоистых глин, глинистых алевролитов, местами ожелезненных и карбонатных.

Пачка 3. Глина монотонная коричневая крупнооскольчатая с карбонатными включениями типа каличе.

Изучение акчагыла Северного Ирана и Талыша было частью исследования тектонических, седиментологических и биотических аспектов акчагыльской трансгрессии Каспийского региона. Стратиграфическое положение нижней и верхней границ акчагыла дискуссионно. Традиционная модель «длинного акчагыла» (Невеская, Трубихин, 1984; Невеская и др., 2004) определяет его длительность от 3.6 до 1.8 млн лет назад (л.н.). Новая модель «короткого акчагыла» ограничивает его интервалом 2.7–2.13 млн лет (van Baak et al., 2013, 2019; Lazarev et al., 2019). По нашему мнению, в Туркмении, где обосновывался «длинный акчагыл», убедительно показано, что акчагыл начался не позднее 3.2 млн л.н. В Куруинскую впадину, где обосновывалась модель «короткого акчагыла», воды этой трансгрессии могли проникнуть позже, ~3 млн л.н. (Lazarev et al., 2021). В оценке положения границы акчагыла и апшерона расхождение между сторонниками «длинного» и «короткого» акчагыла заключается не в биостратиграфической характеристике границы, а в ее корреляции с магнито-стратиграфической шкалой. Первые сопоставляют границу с субхроном Олдувай (1.95–1.77 млн л.н.), а вторые – с субхроном Реюньон (2.14–2.13 млн л.н.). Выбор между моделями требует дальнейших исследований.

С мезозоя до миоцена в Кавказско-Каспийском регионе доминировала продольная тектоническая зональность. Первые признаки ее нарушения наметились в понте (~6.1–5.3

млн л.н.; поздний мессиний), когда связь Азово-Черноморского и Каспийского бассейнов прервалась. В раннем плиоцене на фоне деформации и поднятия структур Большого Кавказа и Закавказья произошло значительное погружение западной части Южного Каспия при резкой регрессии Каспийского моря (см. выше). На этом фоне в позднем плиоцене началась акчагыльская трансгрессия. Для характеристики структуры акчагыльского бассейна и последующих тектонических преобразований мы проанализировали 82 разреза акчагыльских отложений (см. рис. 9). Комплексный анализ данных об акчагыльской трансгрессии, предшествовавших и последующих геологических событиях показал следующее.

Об интенсивности прогибания разных частей акчагыльского бассейна можно судить по мощностям акчагыльских морских отложений, хотя между этими параметрами нет полного соответствия, особенно в глубоководных частях бассейна, где мощности накопившихся осадков в значительной мере зависят от близости береговой линии, т.е. источников сноса обломочного материала. Области наиболее мощных акчагыльских морских отложений группируются в ряд впадин, поперечный к предшествовавшей тектонической зональности региона. Это впадины Южного и Среднего Каспия и запад Северо-Каспийской–Прикаспийской впадины (рис. 10). Мощность акчагыла достигает 800 м и более в Южно-Каспийской впадине (Леонов и др., 1998), превышает 600 м в узком широтном трого севернее Апшеронского порога (Попов и др., 2010), достигает 550 м в Дербентском (Среднекаспийском) сегменте Терско-Дербентского прогиба. В Северном Прикаспии области распространения маломощных отложений чередуются с мощными осадками в переуглубленных долинах раннего плиоцена. Наибольшая мощность 366 м выявлена в долине Пра-Волги (Данукалова, 1996).

От впадин поперечного ряда отходят прогибы, простирающиеся вдоль продольных структурных элементов Кавказско-Каспийского региона. Таковы Куринская впадина, на севере которой мощность акчагыла превышает 1000 м; район г. Куба в Северном Азербайджане, где мощность акчагыла возрастает на восток к побережью от 200–300 м до 800 м: Терский сегмент Терско-Дербентского прогиба, где мощность акчагыла составляет 200 м в северных предгорьях Известнякового Дагестана и 300–400 м в Терском хребте. В эпоху максимальной трансгрессии акчагыльские воды проникают во внутривпадинные впадины Армении и Восточной Анатолии, Севанскую, Ширакскую, Хорасанскую и, возможно, Пасинлерскую и Эрзурумскую. В Западно-Туркменской низменности и Западном Копетдаге мощность акчагыла варьирует от 100–120 м до 350–370 м. Севернее Главного Копетдагского разлома в Малом Балхане мощность акчагыла возрастает до 600 м. Далее на юго-восток в зоне Главного Копетдагского разлома и примыкающем к нему Предкопетдагском прогибе мощность акчагыла составляет 300 м в разрезе 38 и 435 м в разрезе 39 (см. рис. 9) и убывает к юго-востоку, где морские акчагыльские отложения постепенно замещаются континентальными.

Таким образом, в Кавказско-Каспийско-Копетдагском регионе распределение мощностей акчагыльских морских отложений контролировалось как новообразованными элементами поперечной зональности, так и реликтами прежней продольной зональности.

В платформенных областях окружения Каспия мощность акчагыла существенно уменьшается. В Среднем Поволжье, Приуралье и Прикамье акчагыльское море ингрессировало по глубоко врезынным в раннем плиоцене долинам Пра-Волги, Пра-Урала, Пра-Камы и Пра-Белой (Сиднев, 1985; Яхимович и др., 1973, 2000^{а,б}; Данукалова, 1996). В самом начале плейстоцена воды акчагыльского моря проникли в Азово-Кубанский прогиб (Губкин, 1931; Семенов, 1987; Тесаков, 2004).

По нашим расчетам максимальный уровень акчагыльской трансгрессии не превысил 40–50 м над современным уровнем Мирового океана. С учетом этого, современное положение кровли акчагыльских морских отложений является репером для оценки последующих четвертичных вертикальных поднятий и с поправками опусканий (рис. 11). Наибольшее поднятие выявлено на горе Большой Сувал северо-восточного склона

Восточного Кавказа (57 на рис. 9), где кровля акчагыла находится на высоте до 1980 м (скорость поднятия ~1.0 мм/год) (Trikhunkov et al., 2021), а предполагаемый акчагыльский пляж на склоне Бокового хребта находится на высоте 2500 м (скорости поднятия ~1.25 мм/год). На западе Ширакской впадины Малого Кавказа слои с раннеакчагыльскими морскими диноцистами находятся на высоте 1510–1530 м (77 на рис. 9), что дает скорость поднятия в пределах 0.6 ± 0.1 мм/год с учетом местных тектонических деформаций (Trifonov et al., 2020; Simakova et al., 2021). В Хорасанской впадине Восточной Анатолии (80 на рис. 9) морские акчагыльские отложения находятся на высоте до 1753 м (скорость поднятия ~0.7 мм/год). В предгорьях Копетдага морской акчагыл поднят на 200–400 м и в Куринской впадине – на 600–700 м в отдельных антиклиналях и вблизи надвигов южного склона Большого Кавказа. Области послеакчагыльского опускания наследовали таковые акчагыльского времени. Наибольшее прогибание испытала впадина Южного Каспия. Сравнение областей акчагыльского и последующего опускания показывает, что область морского осадконакопления уменьшалась со временем. Тем самым, завершилась структурная перестройка от продольной тектонической зональности к доминированию элементов поперечной зональности.

Эндемичность биоты акчагыльского бассейна указывает на его изоляцию от Мирового океана на большей стадии существования. Однако в самом конце плиоцена в бассейн проникли формы, характерные для Мирового океана. Предполагается, что проникновение было кратковременным и одноразовым. Анализ вариантов места проникновения привел нас к выводу, что, скорее всего, оно произошло через Печорскую впадину–верховья Камы.

Результаты опубликованы в статье: Trifonov et al. “Geological and biotic context of the Plio-Pleistocene evolution of the Caucasus-Caspian Region (Akchagylian transgression)” // *Quaternary International*. 2024. V. 686-687. P. 120–141.

Активные разломы Северного Ирана и Азербайджанского Талыша

В ходе работ по проекту были систематизированы данные об активных разломах и современной геодинамике Эльбурса, предгорной ступени и прибрежной полосы Южного Каспия на основе выполненных наблюдений и опубликованных данных. Результаты изложены в третьей части отчета. В 2023 г. российские участники проекта исследовали активные разломы на границе Талыша и Южно-Каспийской впадины в Азербайджане.

Складчатое сооружение Талыша располагается на северном борту Малокавказско-Эльбурсской горной системы (Геология Азербайджана..., 2005). Считается, что разломное обрамление складчатого сооружения существует с мел-эоценового времени (Исмаил-Заде, 2010), а современная конфигурация разломов является унаследованной.

При анализе цифровых моделей рельефа Талыша были выявлены потенциальные разрывные нарушения правосдвиговой кинематики, смещающие современные речные долины в горной части изученной области, а также, выраженные в приразломных уступах в равнинной части (рис. 12). Эти разрывные нарушения являются ветвями Астаринского разлома Талышской разломной зоны. Вертикальная амплитуда смещения в равнинной части оценена нами в ~3 м (с. Истису, $38^{\circ}47'45.90''\text{С}$, $48^{\circ}44'28.62''\text{В}$, т. 989 на рис. 2), в районе с. Гурумба в русле р. Ленкоранчай достигает 5-6 м ($38^{\circ}42'29.46''\text{С}$, $48^{\circ}46'48.96''\text{В}$, т. 988 на рис. 2). Максимальное вертикальное смещение в равнинной части региона зафиксирована в районе с. Осакуджа ($38^{\circ}48'53.28''\text{С}$, $48^{\circ}42'48.24''\text{В}$, т. 990 на рис. 2) и достигает 8 м.

Наибольшие правосдвиговые смещения тяготеют к осевой части Талыша и достигают 1,45 км (Дырьянский разлом, $38^{\circ}56'26.62''\text{С}$, $48^{\circ}29'59.65''\text{В}$, т. 1018 на рис. 2). Дырьянский разлом зафиксирован нами в районе с.с. Гурумба, Шаглакуч, Моложа, Давидону, Дырьян. Разлом субвертикален, имеет азимут падение 54° , угол падение 85° . Зона разлома маркируется катакластическими породами, с наличием зеркал скольжения. Элементы

залегания сместителя свидетельствуют о сбросовой компоненте разлома, при этом зеркала скольжения субгоризонтальны.

Восточнее, нами выявлен Осакуджанский разлом в районе с.с. Осакуджан, Рудакенар, Мамедоба, Дембелов. Максимальное сдвиговое смещение речной долины зафиксировано в районе Рудакенара и составляет 1,3 км. В руслах рек обнаружены разломные зоны, выраженные приразломными уступами и зонами катакластических пород. В т. 991 в русле реки установлена разломная зона шириной 15 м с азимутом и углом падения 65° со слабовыраженными сдвиговыми зеркалами скольжения.

На границе морфоструктур Талыша и Ленкоранской низменности в руслах рек был зафиксирован разлом, представляющий собой порог катакластических кристаллических пород. После прохождения порога характер речной долины резко изменяется: начинает преобладать аккумуляция над эрозией в бортах долины появляются типичные аллювиальные отложения, которые были редким явлением до порога. Общее простирание зоны – 315° с углом падения 70° (в сторону впадины).

Талыш является частью выпуклого на север Талышского малого синтаксиса. Он ограничен с СЗ Аракской левосдвиговой зоной, а с востока правыми сдвигами Талыша. Во фронтальной части синтаксиса, на территории Ирана, доминируют складчато-надвиговые деформации. Все это свидетельствует о движении горных масс к северу и напряжениях сжатия внутри синтаксиса. Однако наши исследования показали, что на границе Талыша и Южно-Каспийской впадины вдоль Талыша развиваются правые сбросо-сдвиги, т.е. существует геодинамическая обстановка трансенсии, а не транспрессии. Мы обобщаем это следующим образом. На западном борту Южно-Каспийской впадины развивается парагенез сбросов, связанных с интенсивным оседанием впадины (Active Faults of Eurasia Database). На границе с Талышом он накладывается на структурный парагенез, обусловленный формированием Талышского синтаксиса. Сочетание двух парагенезов в результате их сочетания сдвиги приобретают сбросовую компоненту.

Активные разломы, выявленные и параметризованные в Иране и Азербайджанском Талыше в ходе работ по проекту, введены в Базу данных активных разломов Северной Евразии (Active Faults of Eurasia Database), созданную в Геологическом институте РАН.

Заключение

Основные результаты, полученные при реализации проекта, сводятся к следующему.

1. Сопоставлены мезозойские офиолитовые зоны Восточной Турции, Закавказья и Западного Ирана, как структурные элементы, определяющие соотношение горно-складчатых сооружений Малого Кавказа, Загроса и Эльбурса.
2. На примере Талыша исследованы геологические и петролого-геохимические особенности коллизионного эоценового вулканического пояса, протягивающегося от Восточного Понта до Эльбурса.
3. Выявлена зависимость неоген-четвертичного развития северного склона Эльбурса и приморской области от тектонического развития Южно-Каспийской впадины.
4. Получены и обобщены данные об акчагыльских отложениях Ирана, Талыша и Южно-Каспийской впадины. Показано, что распределение акчагыльских морских отложений определялось сочетанием новообразованной поперечной тектонической зональности Кавказско-Каспийского региона и реликтов прежней продольной зональности.
5. Получены новые данные об активных разломах Северного Ирана и Талыша, что важно для уточнения сейсмической опасности региона.

Таким образом, цель проекта достигнута.

Библиографический список публикаций за весь период реализации проекта

- Трифонов В.Г., Хессами Х., Попов С.В., Зеленин Е.А., Трихунков Я.И., Фролов П.Д., Головина Л.А., Симакова А.Н., Рашиди А., Латышев А.В. Развитие южной прибрежной области Каспия в плиоцен-четвертичное время по бостратиграфическим и магнитостратиграфическим данным // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2022. Т. 30, № 4. С. 100–120. DOI: 10.31857/S0869592X2204007X. Английская версия: Trifonov V.G., Hessami K., Popov S.V., Zelenin E.A., Trikhunkov Ya.I., Frolov P.D., Golovina L.A., Simakova A.N., Rashidi A., Latyshev A.V. Development of the Southern Coastal Area of the Caspian Sea during the Pliocene–Quaternary According to Biostratigraphic and Magnetostratigraphic Data // Stratigraphy and Geological Correlation, 2022, Vol. 30, No. 4. P. 273–291. DOI: 10.1134/S0869593822040074. IF (РИНЦ):1,489. Q2
- Trifonov, V.G., Tesakov, A.S., Simakova, A.N., Gaydalenok, O.V., Frolov, P.D., Bylinskaya, M.E., Trikhunkov, Ya.I., Bachmanov, D.M., Çelik, H., Hessami, Kh. Geological and biotic context of the Plio-Pleistocene evolution of the Caucasus-Caspian Region (Akchagylian transgression) // Quaternary International. 2024. V. 686-687. P. 120–141. IF: 2.199. Q1.
- Трихунков Я.И., Çelik H., Ломов В.С., Трифонов В.Г., Бачманов Д.М., Karginoglu Y., Соколов С.Ю. Геологическая позиция, структурные проявления Эльбистанского землетрясения и тектоническое сравнение двух сильнейших сейсмических событий 06.02.2023 г. в Восточной Турции // Геотектоника. 2024. № 3. IF (РИНЦ): 1,503. Q2.

Литература к отчету

- Агамалян В.А. Кристаллический фундамент Армении. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д-ра. геол. н. Ереван: ИГН НАН, 1998. 37 с.
- Али-Заде А.А. Акчагыл Туркменистана А.А. 1961. М.: State Scientific and Technical Publishing House of Geological and Subsoil Protection Literature, Moscow, p. 300 (in Russian).
- Антипов М.П., Волож Ю.А., Лаврушин Ю.А., Леонов Ю.Г. Геологические события и колебания уровня Каспийского моря // Геоэкология. 1996. № 3. С. 38–50.
- Геология Азербайджана, том IV. Тектоника. Баку, Изд. Nafta-Press, 2005. 506 с.
- Губкин И.М. Обзор геологических образований Таманского полуострова. Тр. Геол. Ком. 1913. № 8. С. 803–859.
- Данукалова Г.А. Двустворчатые моллюски и стратиграфия акчагыла. М.: Наука, 1996. 132с.
- Иванова Т.П., Трифонов В.Г. Сейсмоструктурная и современные колебания уровня Каспийского моря // Геотектоника. 2002. № 2. С. 27–42.
- Исмаил-Заде А.Д. Формирование щелочно-базальтоидного комплекса Талыша в режимах «островодужной» и «рифтогенной» систем// ANAS Transactions, Earth Sciences. Баку. 2010. С. 3–13.
- Леонов Ю.Г., Антипов М.П., Волож Ю.А., Зверев В.П., Копп М.Л., Костикова И.А., Лаврушин Ю.А. Геологические аспекты проблемы колебаний уровня Каспийского моря // Глобальные изменения природной среды / Н.Л. Добрецов, В.И. Коваленко, В.Т. Балабаев и др. (ред.). Новосибирск: СО РАН, 1998. С. 30–57.
- Леонов Ю.Г., Антипов М.П., Бобылова Е.Е., Волож Ю.А., Лаврушин Ю.А., Спиридонова Е.А. Карта четвертичных (неоплейстоценовых) отложений Каспийского региона с элементами палеогеографии, масштаб 1 : 2500000, и геологическая история четвертичных осадочных бассейнов за последние 700 000 лет. М.: Научный мир, 2005. 34 с. (Труды ГИН РАН. Вып. 568).
- Невеская Л.А., Коваленко Е.И., Белуженко К.В., Попов С.В., Гончарова И.А., Данукалова Г.А., Жидовинов И.Я., Зайцев А.В., Застрожных А.С., Ильина Л.Б., Парамонова Н.П., Пинчук Т.Н., Письменная Н.С., Агаджанян А.К., Лопатин А.В., Трубихин В.М. Объяснительная записка к унифицированной региональной стратиграфической схеме

- неогеновых отложений южных регионов европейской части России. М.: Палеонтологический институт РАН, 2004. 90 с.
- Невеская Л.А., Трубихин В.М.* История Каспийского бассейна и его фауны моллюсков в позднем плиоцене и раннем плейстоцене // Антропоген Евразии. Под ред. Камалетдинова М.А., Яхимович В.Л. М.: Наука, 1094. С. 19–27.
- Попов С.В., Антипов М.П., Застрожнов А.С., Курина Е.Е., Пинчук Т.Н.* Колебания уровня моря на северном шельфе Восточного Паратетиса в олигоцене–неогене // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. Т.18, № 2. С. 99–124.
- Саидов М.Н., Кучапин А.В.* Геологическое строение области развития третичных отложений Мазандэрана (Северный Иран). Л.: Гостоптехиздат, 1955. 103 с.
- Семененко В.Н.* Стратиграфическая корреляция верхнего миоцена и плиоцена Восточного Паратетиса и Тетиса. Киев: Наукова думка, 1987. 240 с.
- Сиднев А.В.* История развития гидрографической сети плиоцена в Предуралье. М.: Наука, 1985. 224 с.
- Стратиграфия СССР, Неогеновая система / под ред. М.В. Муратова и Л.А. Невеской. М.: Недра, 1986. Т. 1, 420 с. Т. 2, 443 с.
- Тесаков А.С.* Биостратиграфия среднего плиоцена – эоплейстоцена Восточной Европы (по мелким млекопитающим). М.: Наука, 2004. 247 с.
- Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Соколов С.А., Хессами Х.* Мезозойско-кайнозойская структура Черноморско-Кавказско-Каспийского региона и ее соотношения со строением верхней мантии // Геотектоника. 2020. № 3. С. 55–81.
<https://doi.org/10.31857/S0016853X20030108>
- Хаин В.Е.* Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир, 2001. 606 с.
- Яхимович В.Л., Данукалова Г.А., Попова-Львова М.Г., Алимбекова Л.И., Яковлев А.Г.* Опорные стратиграфические разрезы верхнего плиоцена и плейстоцена в Башкирском Предуралье. Уфа: Гилем: 2000а. 72 с.
- Яхимович В.Л., Немкова В.К., Семенов И.Н.* Стратиграфия поиоцен-плейстоценовых отложений Тимано-Уральской области и их корреляция по Предуралью. М.: Наука, 1973. 100 с.
- Яхимович В.Л., Сулейманова Ф.И., Данукалова Г.А., Попова-Львова М.Г., Яковлев А.Г., Ахлестина Е.Ф., Алимбекова Л.И.* Опорный разрез плиоцена и плейстоцена Домашкинские Вершины. Уфа: Гилем: 2000b. 96 с.
- Active Faults of Eurasia Database (AFEAD) Map View
http://neotec.ginras.ru/index/mapbox/database_map.html, last access May 30, 2024.
- Alavi M.* Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz Mountain System in Iran // J. Geodynam. 1996. Vol. 21. № 1. P. 1–33.
- Allen M.B., Ghassemi M.R., Shahrabi M., Qorashi M.* Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran // J. Struct. Geol. 2003. V. 25. P. 659–672.
- Andrusov, N.I.* Contributions to the knowledge of the Caspian Neogene: The Akchagyl layer. Mémoires du Com. Géologique XV. 1902. P. 174 (in Russian and German).
- Bachmanov D.M., Trifonov V.G., Hessami Kh.T., Kozhurin A.I., Ivanova T.P., Rogozhin E.A., Hademi M.C., Jamali F.H.* Active faults in the Zagros and central Iran // Tectonophysics. 2004. V. 380. P. 221–241.
- Berberian M., Qorashi M., Jackson J.A., Priestley K., Wallace T.* The Rudbar-Tarom earthquake of 20 June 1990 in NW Persia – Preliminary field and seismological observation, and its tectonic significance // Bull. Seismol. Soc. Am. 1992. V. 82. № 4. P. 726–1755.
- Djamour Y., Vernant P., Bayer R., Nankali H., Ritz J.F., Hinderer J., Hatam Y., Luck B., Le Moigne N., Sedighi M., Khorrami F.* GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborz mountain range, Iran // Geophys. J. Int. 2010. V. 183. P. 1287–1301.
- Geological Map of Iran. Sheet 2, Scale 1:1000000. Tehran: National Iranian Oil Company, 1977.
- Geological Map of Iran. Sheet 1. Scale 1:1000000. Tehran: National Iranian Oil Company, 1978.

- Guest B., Axen G.J., Lam P.S., Hassanzadeh J.* Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation // *Geosphere*. 2006. V. 2. № 1. P. 35–52.
- Jackson J., Priestley K., Allen M., Berberian M.* Active tectonics of the South Caspian Basin // *Geophys. J. Int.* 2002. V. 148. P. 214–245.
- Khorrami F., Vernant P., Masson F., Nilfouroushan F., Mousavi Z., Nankali H., Saadat S.A., Walpersdorf A., Hosseini S., Tavakoli P., Aghamohammadi A., Alijanzade M.* An up-to-date crustal deformation map of Iran using integrated campaign-mode and permanent GPS velocities // *Geophys. J. Int.* 2019. V. 217. P. 832–843.
- Krijgsman, W., Tesakov, A., Yanina, T., Lazarev, S., Danukalova, G., Van Baak, C.G.C., Agustí, J., Alçiçek, M.C., Aliyeva, E., Bista, D., Bruch, A., Büyükmeriç, Y., Bukhsianidze, M., Flecker, R., Frolov, P., Hoyle, T.M., Jorissen, E.L., Kirscher, U., Koriche, S.A., Kroonenberg, S.B., Lordkipanidze, D., Oms, O., Rausch, L., Singarayer, J., Stoica, M., van de Velde, S., Titov, V.V., Wesselingh, F.P.* Quaternary time scales for the Pontocaspian domain: Interbasinal connectivity and faunal evolution // *Earth Sci. Rev.* 2019. V.188. P. 1–40.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.10.013>.
- Lazarev, S., Jorissen, E.L., van de Velde, S., Rausch, L., Stoica, M., Wesselingh, F.P., van Baak, C.G., Yanina, T.A., Aliyeva, E., Krijgsman, W.* Magneto-biostratigraphic age constraints on the palaeoenvironmental evolution of the South Caspian basin during the Early-Middle Pleistocene (Kura basin, Azerbaijan). *Quat. Sci. Rev.* 2019. V. 222. 105895
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105895>
- Lazarev S., Kuiper K.F., Oms O., Bukhsianidze M., Vasilyan D., Jorissen E.L., Bouwmeester M.J., Aghayeva V., van Amerongen A.J., Agustí J., Lordkipanidze D., Krijgsman W.* Five-fold expansion of the Caspian Sea in the late Pliocene: new and revised magnetostratigraphic and ⁴⁰Ar/³⁹Ar age constraints on the Akchagylian Stage // *Global Planet. Change.* 2021. V. 206. № 103624.
- Middlemost, E.A.K.* *Magma and Magmatic Rocks.* London, UK: Longman, 1985. 280 p.
- Moghadam H. S., Stern, R. J.* Ophiolites of Iran: Keys to understanding the tectonic evolution of SW Asia:(I) Paleozoic ophiolites // *J. Asian Earth Sci.* 2014. V.91. P.19–38.
- Mousavi Z., Walpersdorf A., Walker R.T., Tavakoli F., Pathier E., Nankali H., Nilfouroushan F., Djamour Y.* Global Positioning System constraints on the active tectonics of NE Iran and the South Caspian region // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2013. V. 377–378. P. 287–298.
- Nazari H., Ritz J.-F., Avagyan A.* Morphotectonics and slip rate of the Khazar fault in Central Alborz (Northern Iran) // *Geosciences.* 2021a. V. 31. № 2. P. 101–110.
- Nazari H., Ritz J.-F., Burg J.-P., Shokri M., Haghypour N., Mohammadi Vizheh M., Avagyan A., Fazeli Nashli H., Ensani M.* Active tectonics along the Khazar fault (Alborz, Iran) // *J. Asian Earth Sci.* 2021b. V. 219. № 104893. P. 1–11.
- Rashidi A.* Geometric and kinematic characteristics of the Khazar and North Alborz faults: links to the structural evolution of the North Alborz-South Caspian boundary, Northern Iran // *J. Asian Earth Sci.* 2021. V. 213. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104755>
- Ritz J.F., Nazari H., Ghassemi A., Salamati R., Shafei A., Solaymani S., Vernant P.* Active transtention inside Central Alborz: a new insight into the Northern Iran-Southern Caspian geodynamics // *Geology.* 2006. V. 34. № 6. P. 477–480.
- Simakova, A.N., Tesakov, A.S., Çelik, H., Frolov, P.D., Shalaeva, E.A., Sokolov, S.A., Trikhunkov, YaI., Trifonov, V.G., Bachmanov, D.M., Anton, V., Latyshev, A.V., Ranjan, P.B., Gaydalenok, O.V., Syromyatnikova, E.V., Kovaleva, G.V., Vasilieva, M. A.* Caspian-type dinocysts in NE Turkey mark deep inland invasion of the Akchagylian brackish-water basin during the terminal Late Pliocene. *Quat. Int.* 2021. V. 605–606. P. 329–348.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.01.020>
- Soltani B., Beiranvand B., Moussavi-Harami R., Honarmand J., Taati F.* Facies analysis and depositional setting of the upper pliocene Akchagyl Formation in southeastern Caspian Basin,

- NE Iran // Carbonates and Evaporites. 2020a. V. 35. №8. <https://doi.org/10.1007/s13146-019-00537-9>
- Soltani B., Beiranvand B., Moussavi Harami S.R., Honarmand J., Taati F.* Regional factors controlling the type of Pliocene deposits in the southeastern Caspian Basin, NE Iran: implication for tectono-stratigraphic analysis // *J. Petroleum Sci. Technology*. 2020b. V. 10. P. 46–53. <https://doi.org/10.22078/jpst.2020.4059.1648>
- Talebian M., Ghorashi M., Nazari H.* Seismotectonic map of the Central Alborz, Scale 1 : 750000. Geological Survey of Iran, 2013. <http://ries.ac.ir/eqhazard/wp/Resualts.htm>
- Trikhunkov, YaI., Kengerli, T.N., Bachmanov, D.M., Frolov, P.D., Shalaeva, E.A., Latyshev, A.V., Simakova, A.N., Popov, S.V., Bylinskaya, M.E., Aliyev, F.A.* Evaluation of Plio-Quaternary uplift of the South-Eastern Caucasus based on the study of the Akchagylian marine deposits and continental molasses // *Quat. Int.* 2021. V. 605–606. P. 349–363. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.04.043>.
- Uspenskaya, N.Yu.* Kardiidy akchagyla [Cardiidae of Akchagylian] (*C. radiferum*, *C. dahestanicum*, *C. nikitini*). In: *Proc. Main Geol. Explor. Dep., USSR Supr*, vol. 121. Council Nat. Econ., Moscow, 1931. P. 28 (in Russian).
- Van Baak, C.G.C., Grothe, A., Richards, K., Stoica, M., Aliyeva, E., Davies, G.R., Kuiper, K.F., Krijgsman, W.* Flooding of the Caspian Sea at the intensification of northern hemisphere glaciations. *Global Planet. Change*. 2019. V.174. P.153–163.
- Van Baak, C.G.C., Vasiliev, I., Stoica, M., Kuiper, K.F., Forte, A.M., Aliyeva, E., Krijgsman, W.* A magnetostratigraphic time frame for Plio-Pleistocene transgressions in the South Caspian Basin, Azerbaijan. *Global Planet. Change*. 2013. V. 103. P. 119–134.
- Vernant P., Nilforoushan F., Chery J., Bayer R., Djamour Y., Masson F., Nankali H., Ritz J.F., Sedighi M., Tavakoli F.* Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2004. V. 223. P. 177–185.
- Wang X., Wei H., Taheri M., Khormali F., Danukalova G., Chen F.* Early Pleistocene climate in western arid central Asia inferred from loess-palaeosol sequences // *Sci. Rep.* 2016. V. 6. № 20560.

Рисунки к отчету

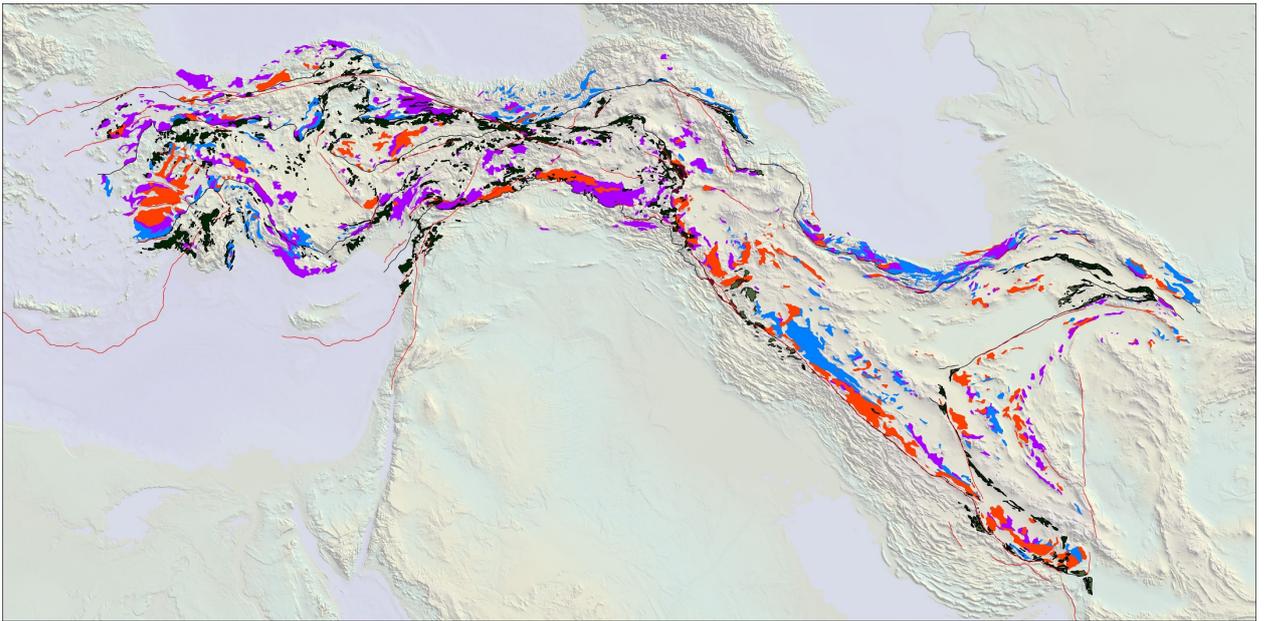


Рис. 1. Офиолиты Турции и Ирана

Черным цветом выделены выходы офиолитов, лиловым – мезозойские вулканогенно-осадочные толщи, синим – меловые осадочные толщи, красным – породы метаморфизованного фундамента. Черными линиями показаны сuture, красными линиями – активные разломы.

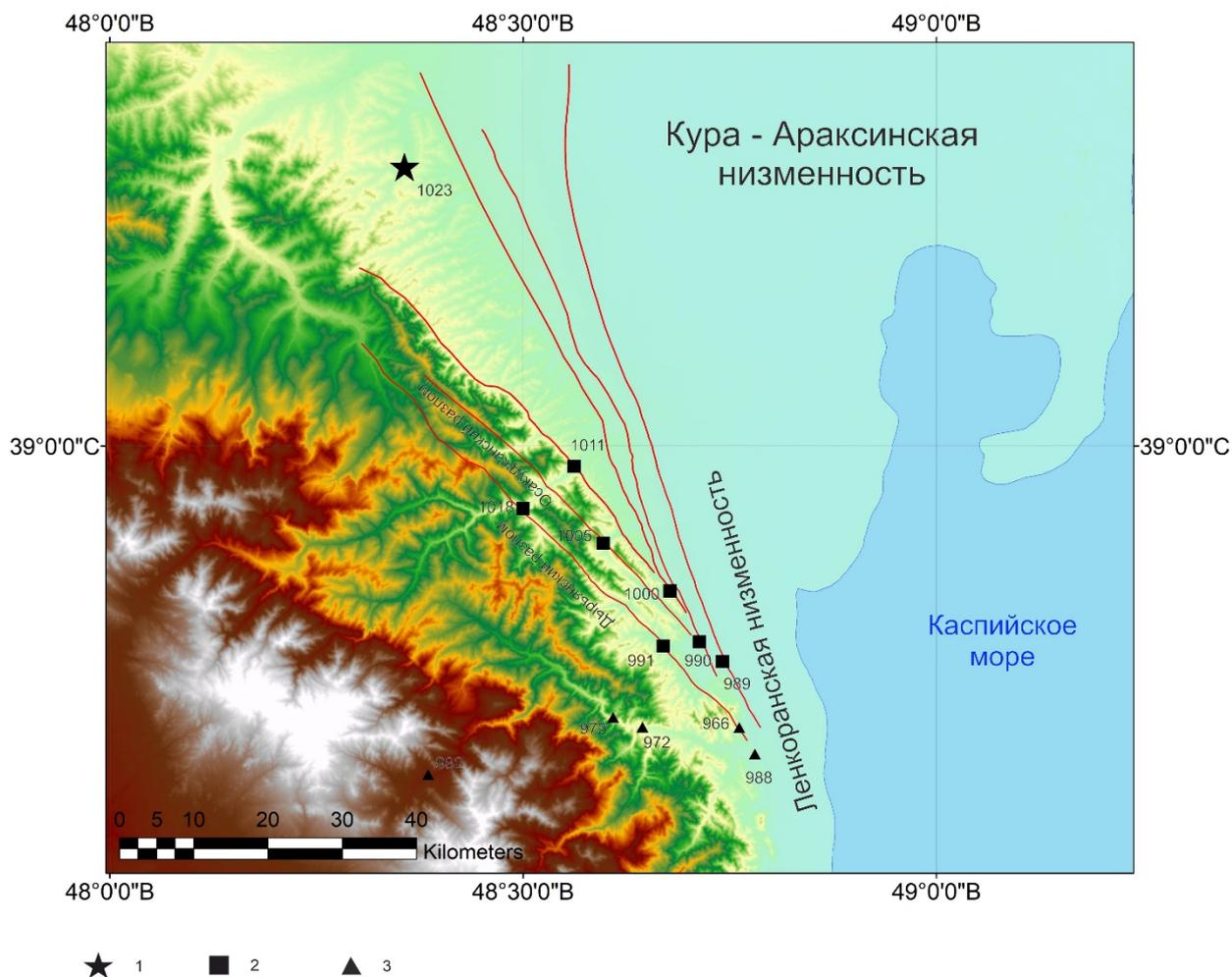


Рис. 2. Пункты наблюдений, выполненных в Талыше (Южный Азербайджан) в 2023 г. по российско-иранскому проекту РФФИ. Красными линиями показаны активные разломы, изученные в 2023 г.

1 – местонахождение акчагыльской малакофауны; 2 – зафиксированные разломные зоны; 3 – магматические тела основного и среднего состава.

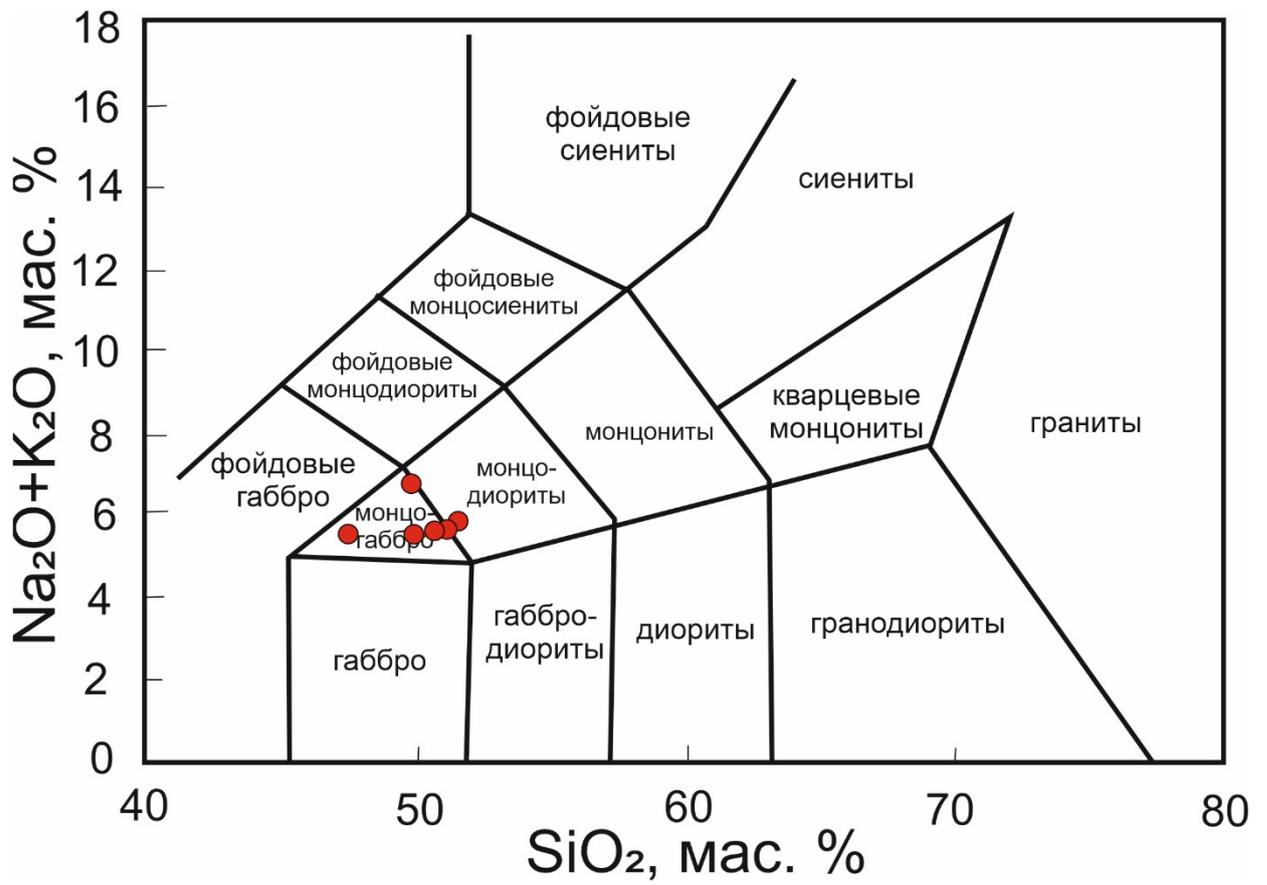


Рис. 3. Классификационная диаграмма TAS Middlemost (1985) для составов закартированных интрузивных образований юга Азербайджана

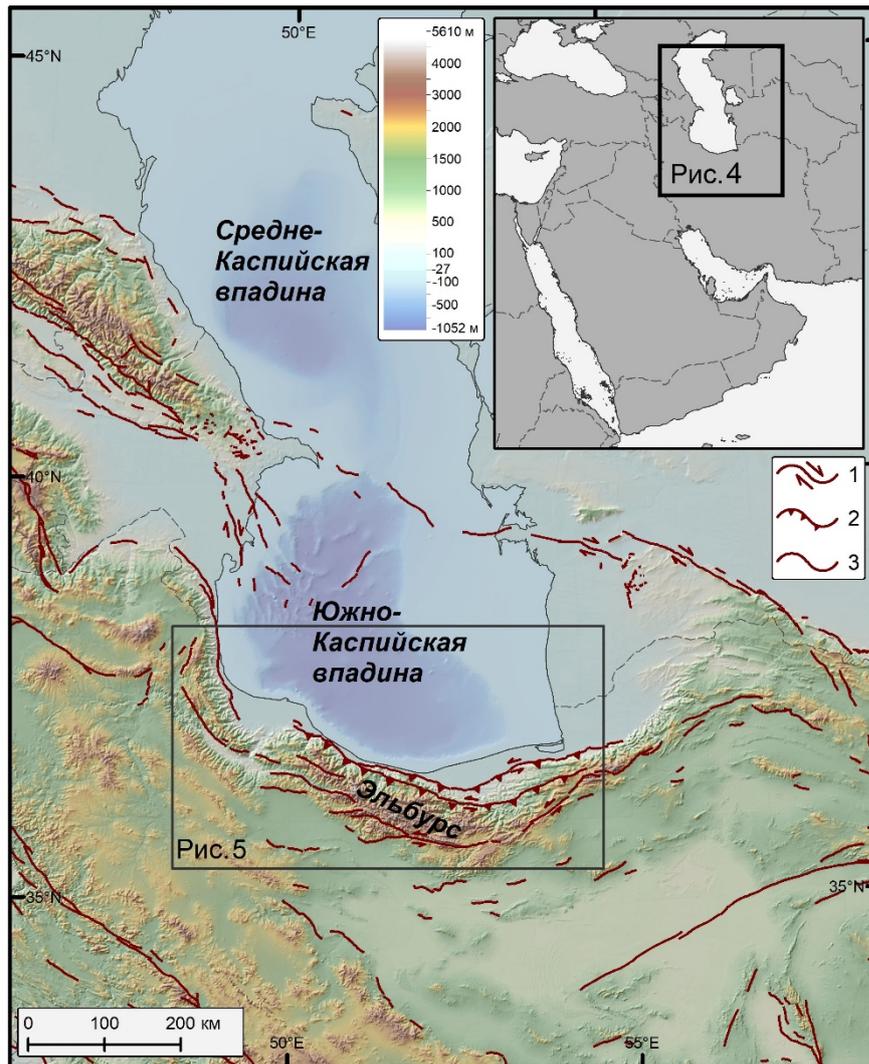


Рис. 4. Обзорная топографическая карта, показывающая положение района исследований (рис. 5) в регионе Южно-Каспийской впадины и Эльбурса, а также крупные активные разломы региона по данным (Talebian et al., 2013; Active Faults of Eurasia Database). На врезке показано положение региона в Юго-Западной Азии.

1 – сдвиги, 2 – надвиги и взбросы, 3 – разломы с неустановленной кинематикой.

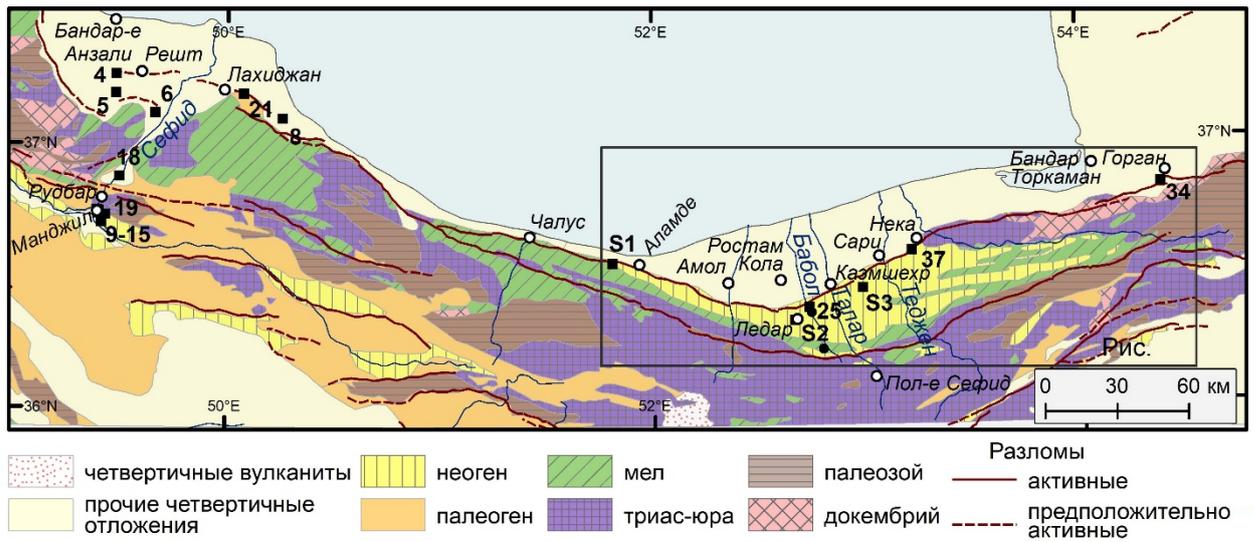


Рис. 5. Геологическая карта прибрежной области Южного Каспия и соседних склонов Эльбурса, по (Geological map..., 1977, 1978), с упрощением.

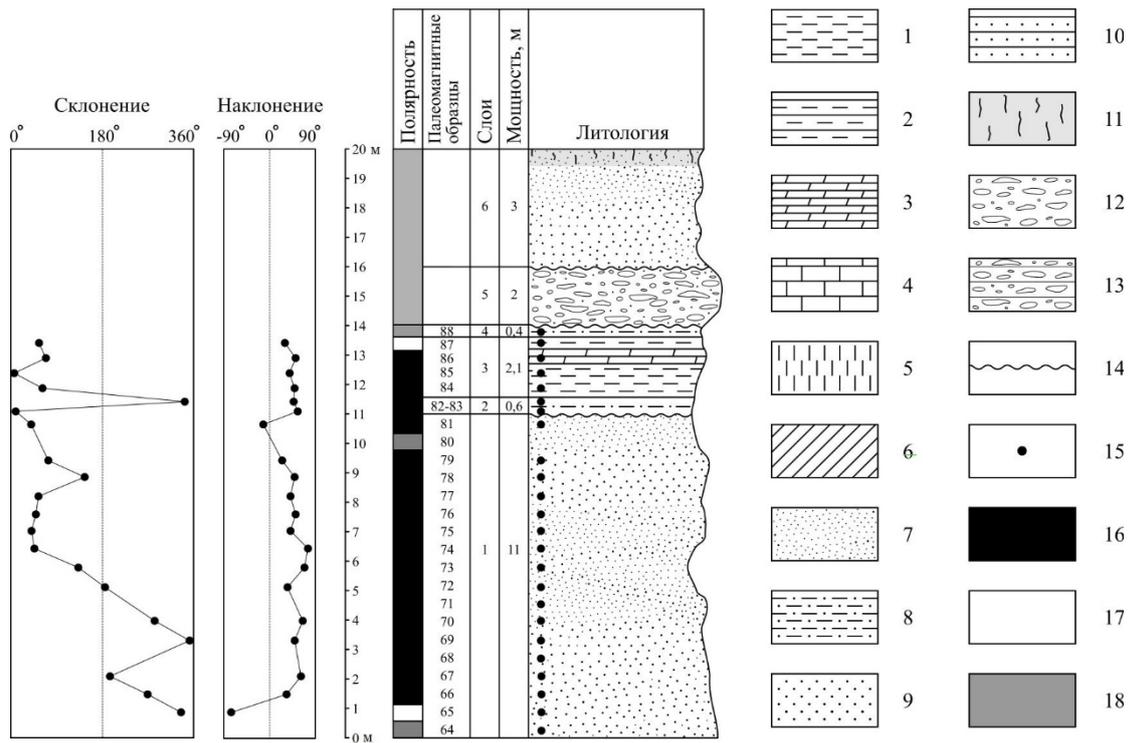


Рис. 6. Четвертичный разрез Джукул Бандан (с 6) на северном склоне Эльбурса.

1 – глина; 2 – аргиллит; 3 – мергель; 4 – известняк; 5 – лёсс; 6 – суглинок; 7 – алеврит; 8 – алевролит; 9 – песок; 10 – песчаник; 11 – почва и палеопочва; 12 – галька и гравий; 13 – конгломерат; 14 – несогласие; 15 – место отбора палеомагнитного образца; 16 – нормальная намагниченность; 17 – обратная намагниченность; 18 – намагниченность неизвестна.

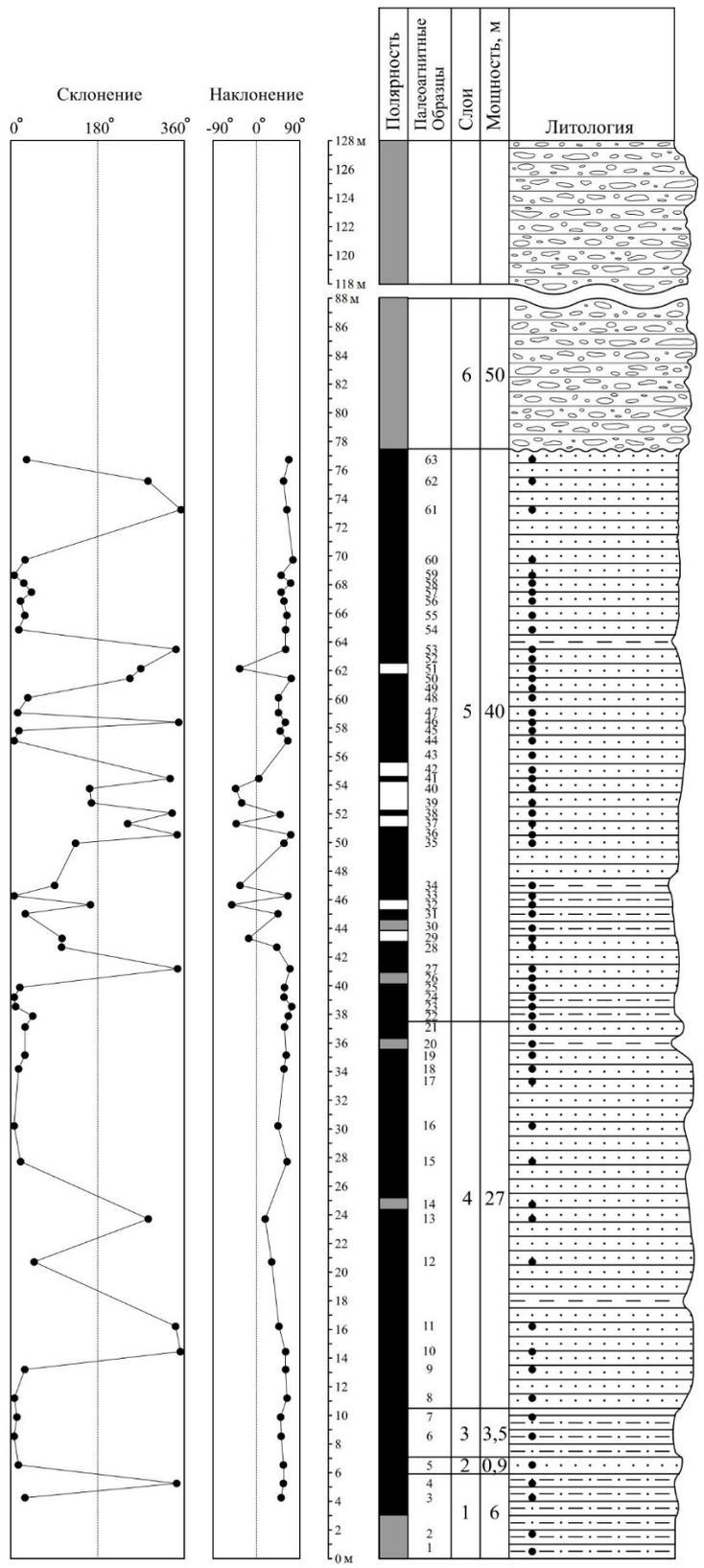


Рис. 7. Позднекайнозойский разрез впадины Манджил (s 9) на северном склоне Эльбурса. См. рис. 6 для объяснения условных обозначений.

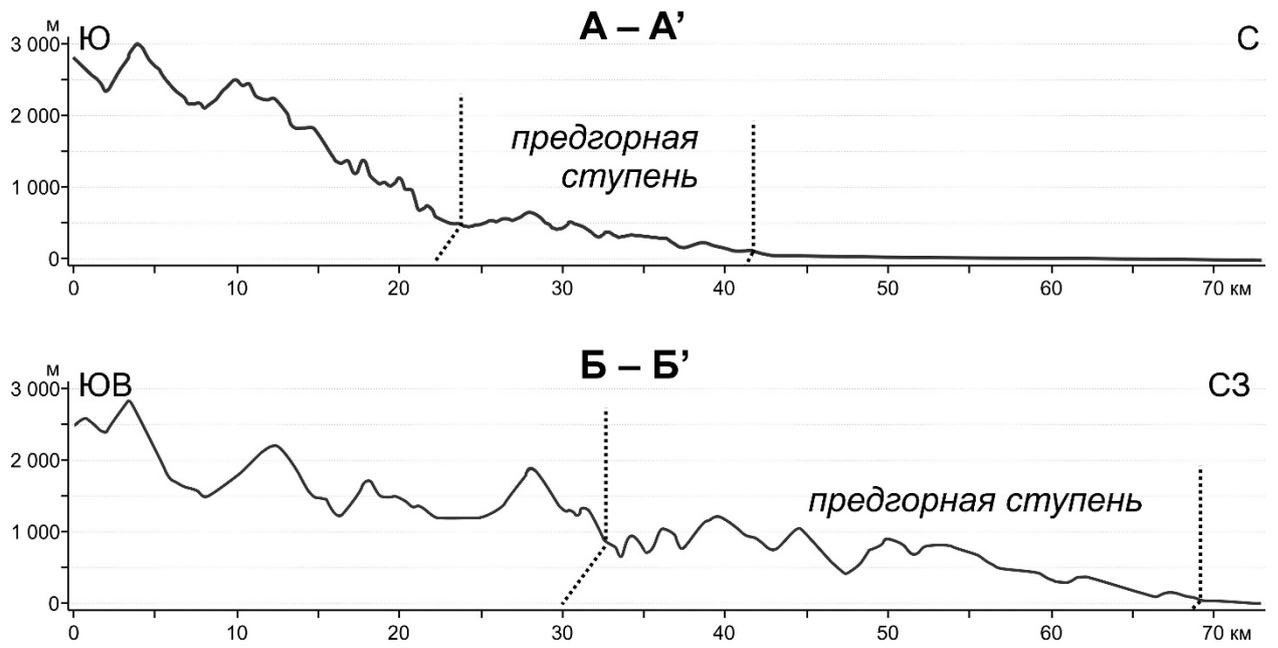


Рис. 8. Геоморфологические профили через прибрежную равнину Южного Каспия и предгорную ступень между с. Аламде и г. Горган.

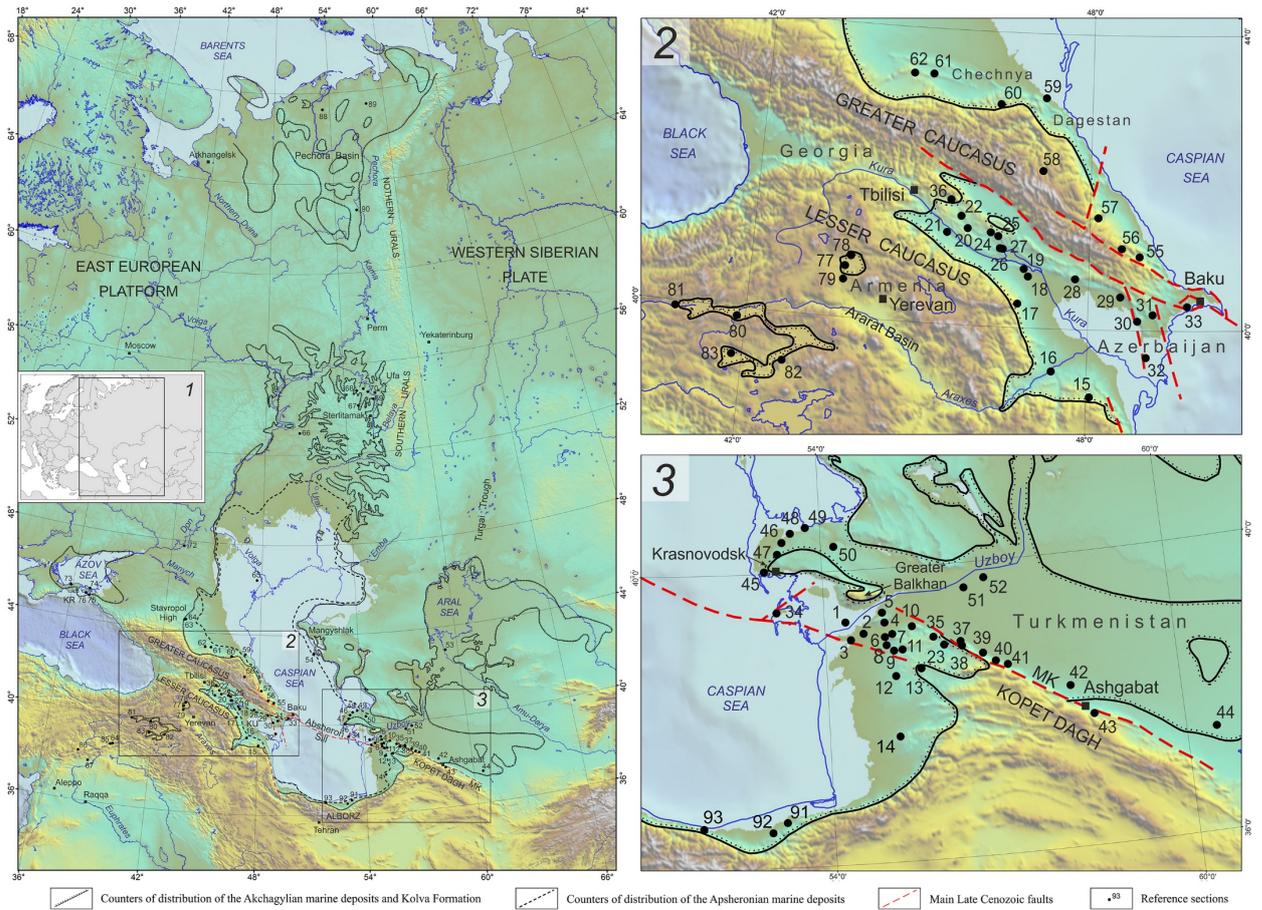


Рис. 9. Распространение акчагыльских солоновато-водных отложений и верхнеплиоценовых отложений Печорской впадины с использованием данных (Али-Заде, 1961; Стратиграфия СССР, 1986; Данукалова, 1996; Krijgsman et al., 2019) и проанализированные разрезы. На врезке показано положение региона в Западной Евразии. На крупномасштабных картах показано положение акчагыльских разрезов в Кавказском регионе (2) и в Туркмении (3). KR – Керченский п-в в Крыму; КУ – Куринская впадина.

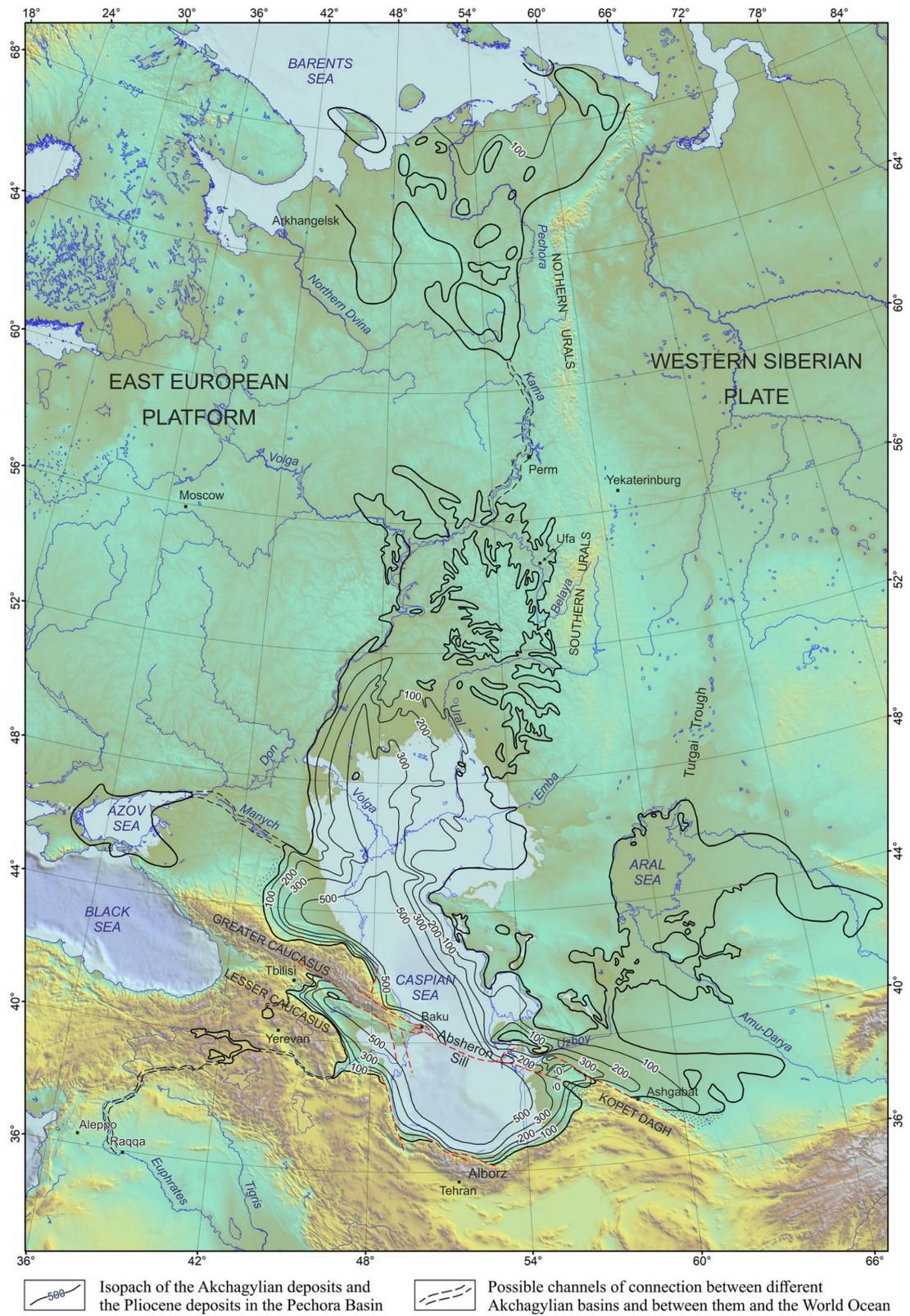


Рис. 10. Мощности акчагыльских морских отложений, м. Точками показаны выявленные флювиальные и озерные отложения акчагыльского возраста. Двойными пунктирными линиями показаны обсуждаемые каналы связи главного Акчагыльского бассейна с Мировым океаном, а также с Азовским морем, Ширакской и Хорасанской впадинами.

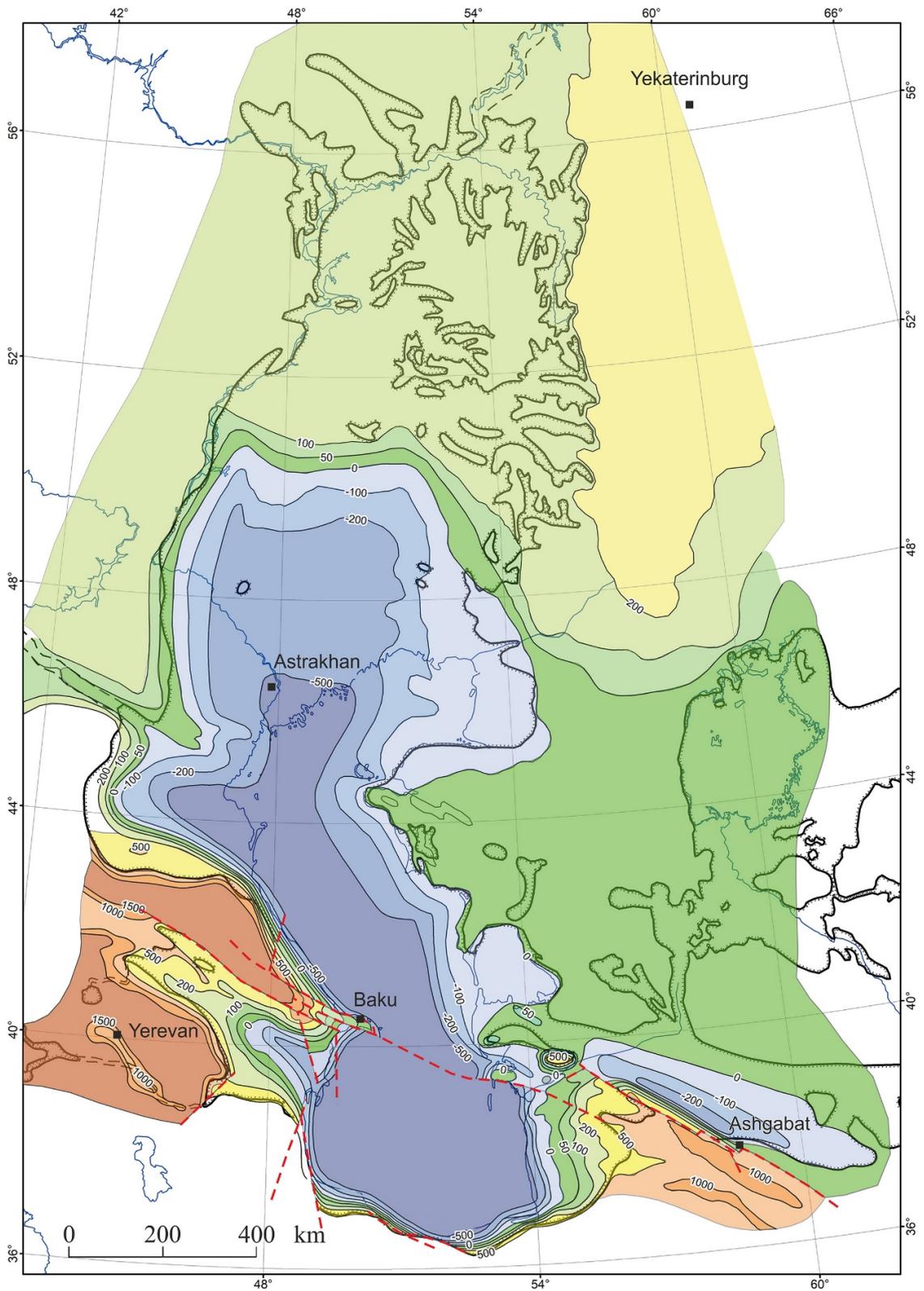


Рис. 11. Амплитуды послекачагыльских вертикальных тектонических движений в Кавказско-Каспийском регионе, рассчитанные по современному гипсометрическому положению кровли акчагыльских морских отложений.

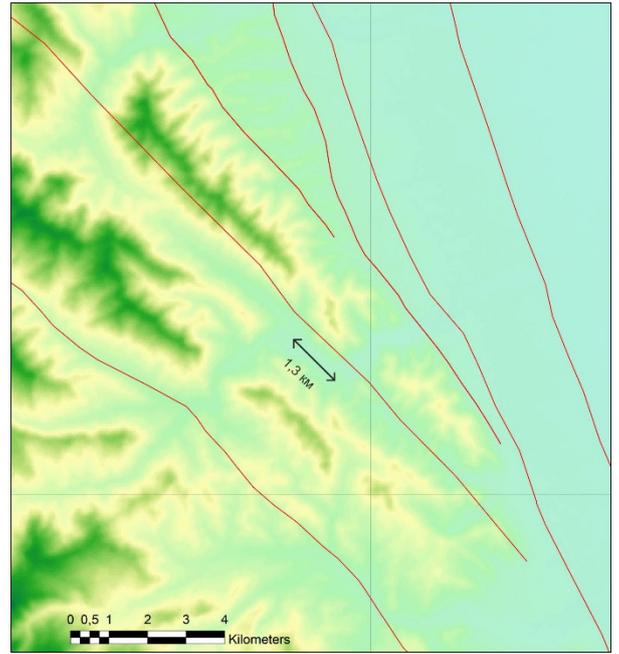
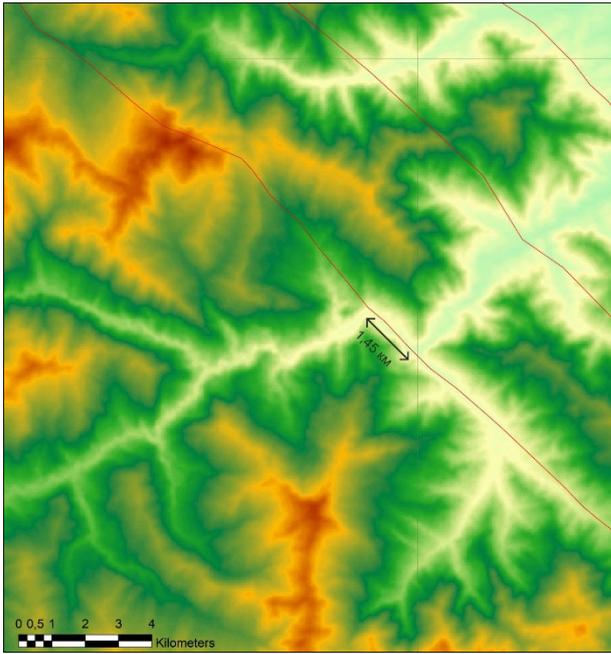


Рис. 12. Правосдвиговые смещение речных долин Талыша. Слева – смещение по Дырьянскому разлом, справа – смещение по Осакуджанскому разлому.