

УДК 551.78/.79(560.724)

## ПОЗДНЕПЛИОЦЕНОВАЯ ДЕЛЬТА ГИЛЬБЕРТОВОГО ТИПА И РАННЕПЛЕЙСТОЦЕНОВАЯ ПЕРЕСТРОЙКА СИСТЕМЫ РЕЧНОГО СТОКА В ЭРЗУРУМСКОЙ ВПАДИНЕ, СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ТУРЦИЯ

© 2023 г. Х. Челик<sup>1</sup>, В. Г. Трифионов<sup>2</sup>, А. С. Тесаков<sup>2, \*</sup>, С. А. Соколов<sup>2</sup>, П. Д. Фролов<sup>2, 3</sup>, А. Н. Симакова<sup>2</sup>, Е. А. Шалаева<sup>2</sup>, Е. В. Беляева<sup>4</sup>, А. А. Якимова<sup>2</sup>, Е. А. Зеленин<sup>2</sup>, А. В. Латышев<sup>5</sup>, Д. М. Бачманов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Евфратский университет, Элязыг, Турция

<sup>2</sup> Геологический институт РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Лаборатория макроэкологии и биогеографии беспозвоночных, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Институт истории материальной культуры РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup> Институт физики Земли РАН, Москва, Россия

\*e-mail: tesak-ov@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.10.2022 г.

После доработки 21.12.2022 г.

Принята к публикации 31.01.2023 г.

Эрзурумская межгорная впадина в Северо-Восточной Турции в мио-плиоцене заполнялась терригенными и карбонатными осадками озерно-лагунного типа. На западе впадины описана дельта гильбертового типа. Отложения дельты датированы поздним плиоценом на основе биостратиграфического и магнитостратиграфического методов. Эродированная поверхность дельты перекрыта галечниками, датированными ранним плейстоценом на основе археологических находок. Эрзурумская впадина является самым западным образованием в ряду межгорных впадин и продолжается на восток впадинами Пасинлерской, Хорасанской и Араратской, которые дренируются рекой Аракс и ее притоками. Вероятно, в позднем плиоцене долина Палео-Аракса распространялась дальше на запад, и описываемая дельта возникла в том месте, где истоки Палео-Аракса впадали в бассейн Эрзурумской впадины. В раннем плейстоцене отложения дельты были перекрыты грубым аллювием после того, как Эрзурумская впадина была тектонически изолирована от речной системы Аракса. В конце раннего или начале среднего плейстоцена истоки Палео-Аракса были перехвачены верховьями р. Евфрат, который сейчас дренирует Эрзурумскую впадину.

*Ключевые слова:* речная дельта, мелкие млекопитающие, моллюски, палинология, магнитостратиграфия, ашель, плиоцен, плейстоцен, перехват реки

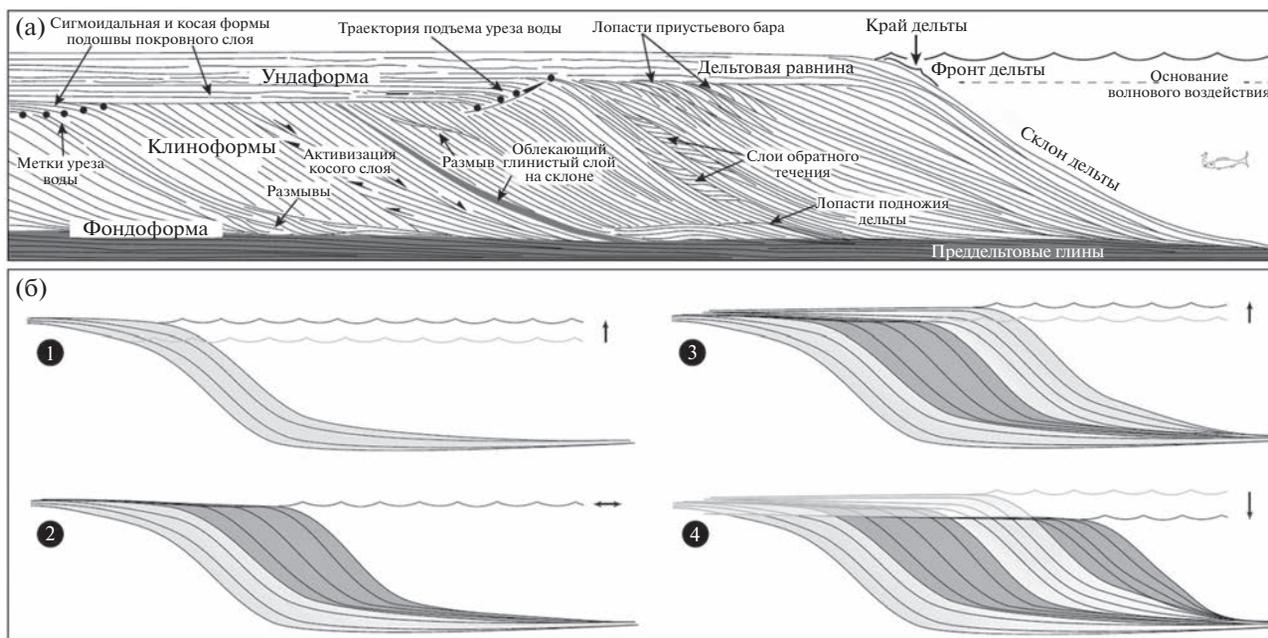
DOI: 10.31857/S0869592X23060029, EDN: EXTNXX

### ВВЕДЕНИЕ

Дельта гильбертового типа получила название по имени Г.К. Гилберта (Gilbert, 1885), впервые ее описавшего в грубообломочных флювиальных отложениях места впадения реки в спокойный водный бассейн озерного или морского типа. Клиновидные тела осадков, связанные с частыми колебаниями уровня водоема, характерными для этого типа дельт (Nemec, 1990), отражают синхронные им проявления активности разломов, ограничивающих водоем. Песчаные линзы в составе дельтовых отложений представляют собой высококачественные резервуары для нефти и газа как в морских, так и в озерных условиях, что стало причиной многочисленных исследований этого типа дельт (Gobo et al., 2015).

Хотя Гилберт (Gilbert, 1885) описал грубообломочные дельтовые осадки пресноводных побережий, большинство последующих исследований (Corner et al., 1990; Nemec, 1990; Eilertsen et al., 2006, 2011; Bell, 2009; Gobo et al., 2014, 2015; Björker et al., 2014; Leszczynski, Nemec, 2015; Dietrich et al., 2016; Lang et al., 2017; Vellinga et al., 2018; Winsemann et al., 2018) показывает, что дельты морских побережий также обнаруживают признаки гильбертового типа, выраженные в их трехчленном строении (Gilbert, 1885). Продолжалось также изучение этого типа дельт в озерных условиях (Kazancı, 1990; Ilgar, Nemec, 2005; Alçiçek M., 2007; Ghinassi et al., 2009; Alçiçek H. et al., 2015).

Осадочные тела дельт рассматриваемого типа имеют трехчленное строение (рис. 1а). Г.К. Гил-



**Рис. 1.** Принципиальные элементы строения дельты гильбертового типа и ее развития.

(а) – схематический продольный разрез дельты гильбертового типа, изображающий ее характерное трехчленное строение и другие общие черты (Gobo et al., 2015). Проградирующая часть дельты образована косыми сериями (клиноформами), прислоненными друг к другу. (б) – схема роста дельты гильбертового типа в зависимости от кратковременных изменений уровня водоема, с сигмоидальной ундаформой, формирующейся при подъеме уровня водоема (варианты 1 и 3), и косой ундаформой, возникающей при неизменном или понижающемся уровне водоема (варианты 2 и 4). Сигмоидальная краевая зона, возникающая при подъеме уровня воды, нередко бывает размита при последующем падении уровня водоема (Gobo et al., 2015).

берт (Gilbert, 1885) впервые описал их как верхний, средний и нижний члены. Это (сверху вниз): (I) верхняя часть дельтового тела (ундаформа) – флювиальные дельтовые осадки с горизонтальной слоистостью; (II) проградирующая часть (клиноформа), состоящая из косых серий отложений, наклоненных в направлении проградации дельты; (III) донная часть (фондоформа), состоящая из горизонтально-слоистых осадков, накапливавшихся перед фронтом клиноформы (Nemes, 1990; Smith, Jol, 1997; Okazaki et al., 2020). Косая или сигмоидальная форма ундаформы (рис. 1б) важна в практическом отношении как показатель кратковременного относительного или эвстатического изменения уровня водоема (Soria et al., 2003; Gobo et al., 2014, 2015).

Предлагаемая статья посвящена решению двух задач. Первая задача – описать строение и состав отложений позднеплиоценовой дельты гильбертового типа, возникшей в водных условиях на западном краю Эрзурумской впадины (рис. 2). Небольшая часть дельты, покрытая четвертичным аллювием, обнажена в песчаном карьере, что дает уникальную возможность наблюдать 3D строение дельты, никогда прежде не изучавшейся с такой детальностью. Результаты изучения могут оказаться полезными при исследовании других, в частности больших, дельт, перспективных на поиски углеводородов.

Вторая задача вытекает из того обстоятельства, что Эрзурумская впадина является крайним западным членом субширотного ряда межгорных впадин Северо-Восточной Турции. В Хорасанской впадине, расположенной восточнее, в верхней части верхнего плиоцена, обнаружены морские диноцисты акчагыльского облика (Simakova et al., 2021), что указывает на связь Хорасанской впадины с акчагыльским бассейном. Сходство плиоценовых отложений Хорасанской и Эрзурумской впадин допускает присутствие морского акчагыла и в Эрзурумской впадине. Возникло предположение, что биота открытого моря могла проникнуть в акчагыльский бассейн в конце плиоцена через верховья р. Евфрат и Эрзурумскую впадину. Изучение дельты, ее структурного положения и соотношений с эрзурумскими верховьями р. Евфрат должны определить справедливость такого предположения.

Дельта изучалась и документировалась в течение полевых сезонов 2017–2019 и 2021–2022 гг.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Эрзурумская впадина – пологая межгорная равнина, расположенная на высотах 1750–1800 м, до 2000 м на северо-западе (рис. 2). Восточная часть впадины дренируется слабо врезанными верховьями р. Карасу и ее многочисленными

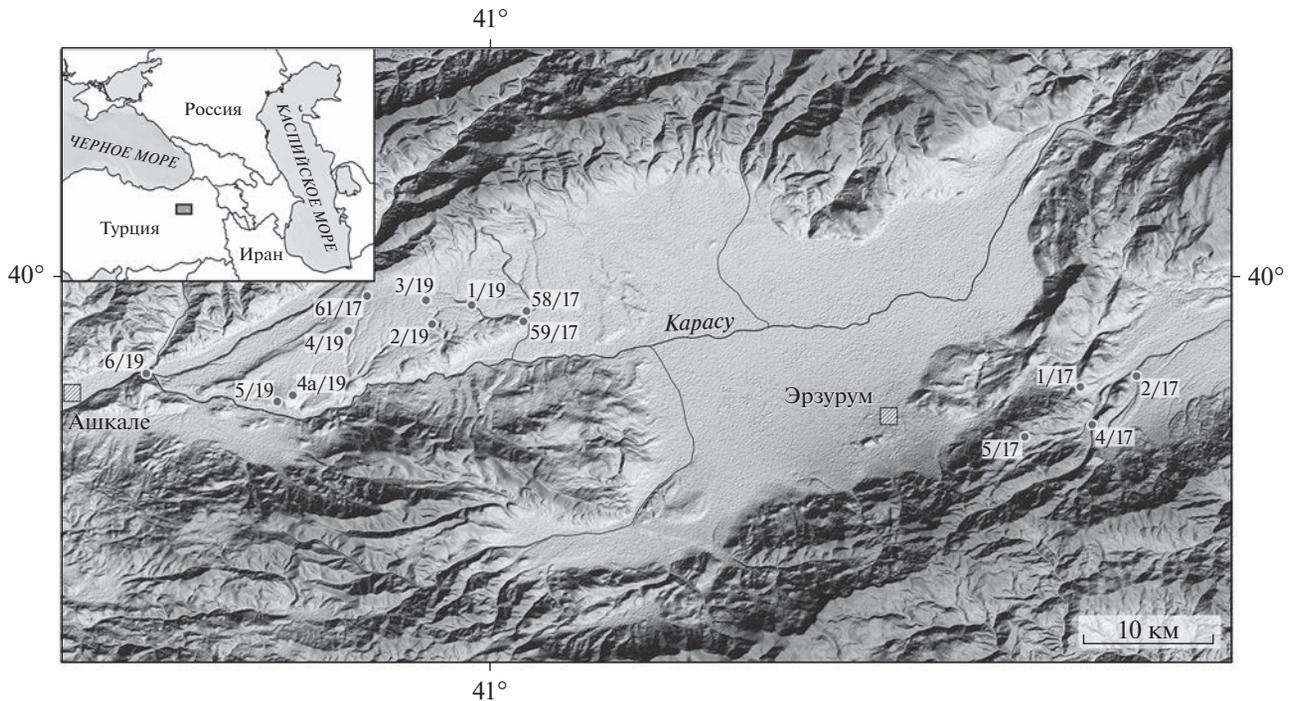


Рис. 2. Топографическая модель Эрзурумской впадины и ее окружения с главными пунктами наблюдений.

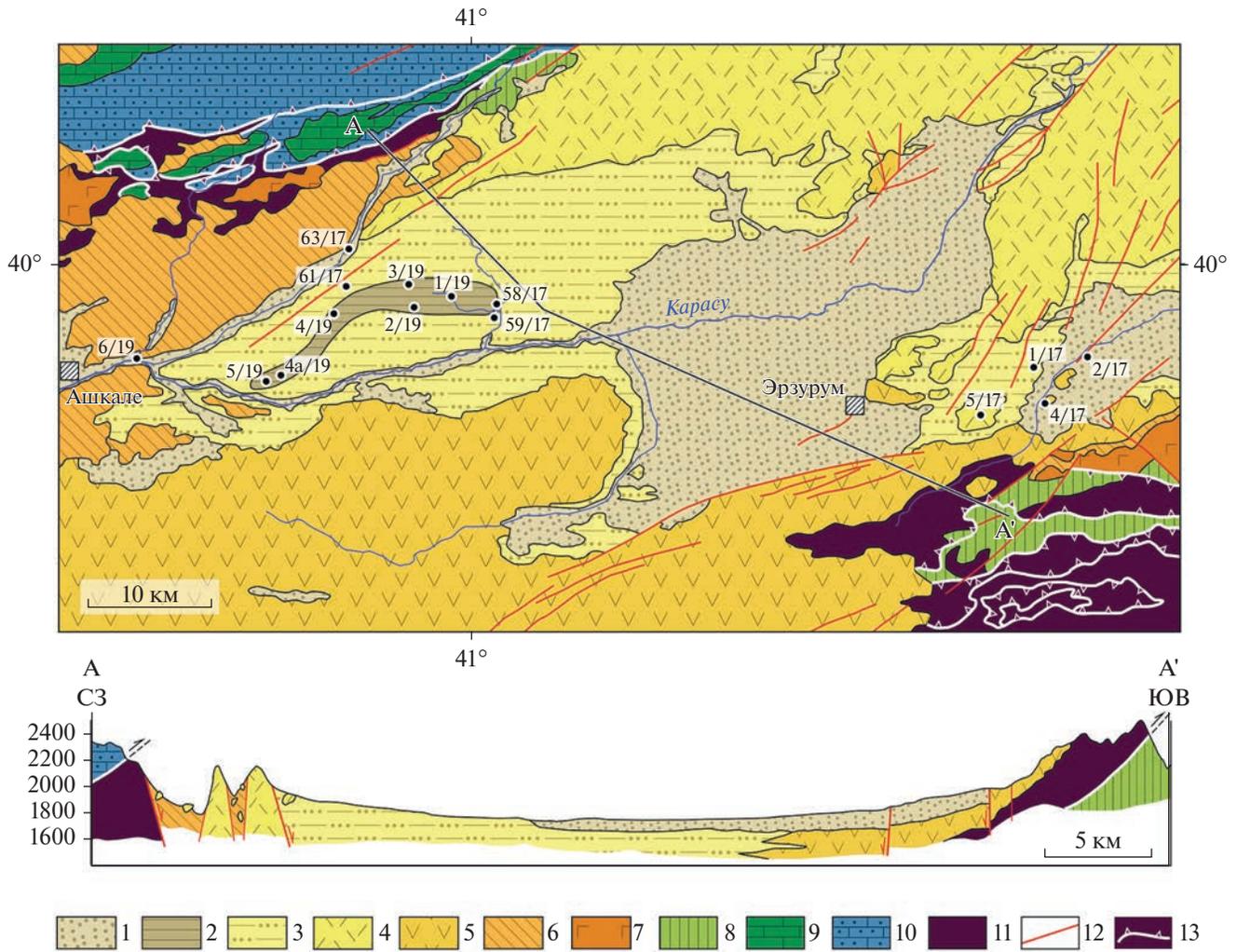
притоками, которые сливаются в единую долину р. Карасу (верхнего Евфрата). Ее врез возрастает к западу вниз по течению. Юго-восточная часть впадины покрыта главным образом четвертичными озерными и аллювиальными терригенными отложениями, а на западе и северо-западе впадины обнажены терригенные, реже карбонатные отложения плиоцена и местами, возможно, верхнего миоцена (Geological..., 2002) (рис. 3).

Позднекайнозойская Эрзурумская впадина сформировалась на гетерогенном основании. Северо-западное обрамление впадины образовано надвиговыми пластинами, сложенными офиолитами, терригенными и карбонатными породами нижней и средней юры, преимущественно карбонатными осадками верхней юры—нижнего мела и меловыми пелагическими известняками. Их несогласно перекрывают эоценовые вулканиты преимущественно андезитового состава и нижне-среднемиоценовые кислые вулканические образования.

Указанные офиолиты являются восточным продолжением сутуры Измир—Анкара—Эрзинджан (Sengör, Yilmaz, 1981) и переходят на восток в офиолиты Базумского хребта Армении (рис. 4). Последние непрерывно прослеживаются вдоль северного побережья оз. Севан на юго-восток до долины р. Аракс под названием Севано-Акеринская офиолитовая зона (Книппер, 1975; Adamia et al., 2017). Южнее Севано-Акеринской зоны, возле г. Веди и в Зангезурском хребте, сохранились фрагменты тектонических покровов, надвинутых

из этой зоны (Книппер, Соколов, 1976). Такие же тектонические покровы известны восточнее Эрзурумской впадины к северу от г. Хорасан (Geological..., 2002, sheet Kars). Островодужные вулканические породы идентифицированы севернее офиолитовой сутуры в Восточном Понте Турции (Okay, Sahintürk, 1997) и Сомхето-Карабахской зоне Грузии, Армении и Азербайджана (Galoyan et al., 2018). Датирование офиолитов, ассоциирующихся с ними голубых сланцев и островодужных вулканических пород показывает, что формирование океанической коры, представленной офиолитами, началось в позднем триасе, а субдукция началась в байосе и продолжалась с перерывами до турона—кампа (Багдасарян, Гукасян, 1985; Zakariadze et al., 1996; Книппер и др., 1997; Daniellian et al., 2007, 2010; Galoyan et al., 2007, 2018; Roland et al., 2010; Sosson et al., 2010).

Южное продолжение сутуры Измир—Анкара—Эрзинджан ответвляется около западного края Эрзурумской впадины (рис. 3). Эта южная ветвь выделена юго-восточнее впадины к югу от г. Эрзурум и протягивается на восток до г. Кагызман, где она поворачивает на юго-восток, проходит вдоль юго-западного берега оз. Урмия и соединяется с сутурой Неотетиса (Geological..., 1978, 2002). Высказывалось предположение, что офиолиты южной ветви, обнаженные в Северо-Западном Иране, являются аллохтонами и обдуриваны из Севано-Акеринской сутуры (Avagyan et al., 2017). Однако структурная позиция офиолитов южной ветви между микроплитами Таврид и Иранской опреде-



**Рис. 3.** Геологическая карта Эрзурумской впадины и ее окружения и геологический разрез к ней по линии А–А', по (Geological..., 2002), с изменениями.

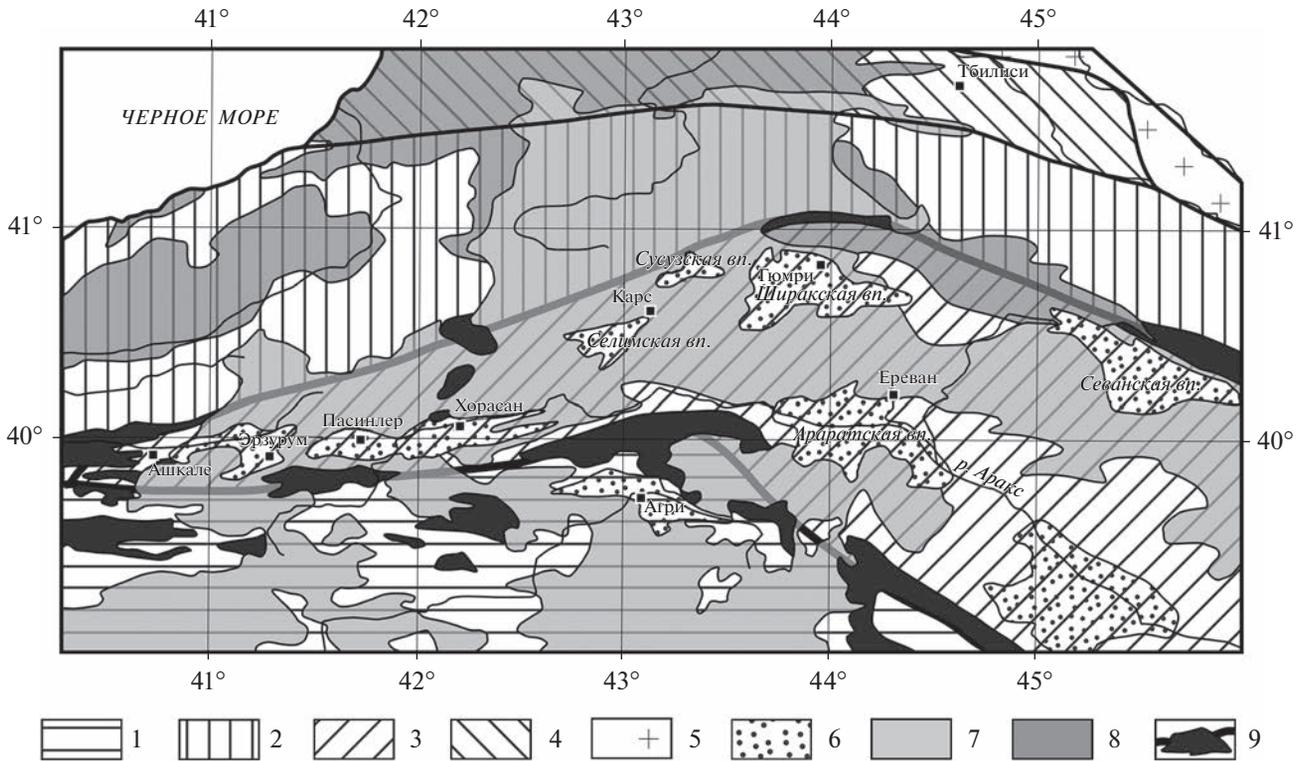
1 – четвертичные недифференцированные терригенные отложения; 2 – четвертичный аллювий; 3 – терригенные, реже карбонатные отложения верхнего миоцена–плиоцена; 4 – вулканические породы верхнего миоцена–плиоцена; 5 – базальты и андезиты верхнего миоцена; 6 – эвапориты, реже известняки нижнего–среднего миоцена; 7 – вулканические, реже терригенные породы палеогена; 8 – верхнемеловые терригенные и карбонатные отложения; 9 – нижнемеловые известняки; 10 – юрские терригенные и карбонатные отложения; 11 – мезозойские офиолиты и связанные с ними основные и ультраосновные породы; 12 – активные разломы; 13 – тектонические покровы.

ляет южную ветвь как независимую офиолитовую зону. Расположенная южнее сутура Неотетиса протягивается вдоль Южно-Таврской (Битлисской) надвиговой зоны в Турции и продолжается вдоль Главного Загросского надвига в Иране (Agard et al., 2005; Трифонов, 2016). Сутура Неотетиса моложе сутур Измир–Анкара–Эрзинджан и Севано–Акеринской. В Тавре и Загросе субдукция началась в мелу, а закрытие реликтов Неотетиса и начало коллизии приходится на поздний эоцен–олигоцен (Hessami et al., 2001; Akinci et al., 2016).

Эрзурумская впадина расположена в остром угле между двумя восточными продолжениями сутуры Измир–Анкара–Эрзинджан и имеет сложные очертания. Ее прямолинейная северо–западная

граница образована зоной взбросов и/или взбросо–сдвигов, которая выражена в рельефе уступом. С приближением к зоне разломов верхнемиоцен–плиоценовые алевриты и мергели, залегающие почти горизонтально на удалении от разломов, приобретают наклон в 30°–50°, местами до 70° (рис. 5). Внутри осадочного разреза появляются большие неокатанные глыбы и блоки миоценовых вулканических пород, слагающих северо–западное крыло зоны разломов (рис. 6). Это показывает, что движения по разлому происходили в процессе седиментации.

Эрзурумская впадина ограничена с севера миоцен–плиоценовыми вулканическими породами преимущественно основного и среднего состава.



**Рис. 4.** Тектоническая схема Восточной Турции, Армении, Грузии и Северо-Западного Ирана. 1 – Тавриды; 2 – Восточно-Понтийская и Сомхето-Карабахская зоны; 3 – Иранская микроплита и мелкие литосферные блоки Армянского нагорья; 4 – Аджаро-Триалетская зона; 5 – Закавказский массив; 6 – позднекайнозойские межгорные впадины; 7 – позднекайнозойские вулканические поля; 8 – эоценовый вулканический пояс, включая интрузии; 9 – сутуры и офиолиты.

В юго-восточном борту впадины такие же темные базальтовые андезиты, андезиты и светлые кислые туфы сочетаются с плиоценовыми терригенными отложениями. Эти вулканиты и терригенные отложения слагают низкий перешеек северо-восточного простирания, нарушенный молодыми продольными разломами и отделяющий Эрзурумскую впадину от Пасинлерской, расположенной восточнее.

Разломы, простирающиеся вдоль юго-восточной границы впадины, отклоняются на ЮЮЗ, образуя южную границу Эрзурумской впадины. Поднятое южное крыло этой зоны разломов сложено миоценовыми вулканическими породами, которые отличаются от вулканических пород северного и восточного обрамлений впадины более сильными вторичными изменениями. Западнее эти миоценовые вулканиты слагают тектоническое поднятие на юге Эрзурумской впадины.

### МЕТОДЫ

При детальном полевом изучении терригенных дельтовых отложений особое внимание уделялось двум аспектам. Во-первых, были выделены фазы

седиментации. В центральной части дельты они выражены клиноформными телами осадков с различными углами наклона слоев на контактах. Во-вторых, в периферических частях дельты изучались изменения наклона слоев в клиноформах и их соотношения с горизонтально-слоистыми осадками водного бассейна, в который дельта раскрывалась. Структуру и состав дельтовых отложений изучали Х. Челик совместно с Е.А. Шалаевой, С.А. Соколовым и В.Г. Трифиновым; последний анализировал также изменения дренажной сети в связи с четвертичными тектоническими движениями в регионе.

Для датирования отложений дельты были определены найденные остатки моллюсков и мелких млекопитающих и образцы, взятые для палинологического и магнито-стратиграфического анализа. П.Д. Фролов отобрал и определил моллюсков, а А.С. Тесаков идентифицировал найденные остатки мелких млекопитающих. Сбор остатков моллюсков и мелких позвоночных проводился по стандартной методике с использованием полевой промывки породы, содержащей ископаемые, на ситах с ячейей 0.5–1 мм и дальнейшим разбором концентрата в лабораторных условиях. Е.В. Беляева обнаружила и изучила археологический ка-



**Рис. 5.** Крутое падение отложений верхнего миоцена—плиоцена возле северо-западной границы Эрзурумской впадины (пункт 61/17).

менный материал. Палинологические образцы были отобраны и исследованы А.Н. Симаковой. Образцы обрабатывали согласно разработанной в Геологическом институте РАН модификации метода сепарации В.П. Гричука (Гричук, Заклинская, 1948). Пыльцевая диаграмма построена в компьютерной программе Tilia 1.5.12, в которой производится подсчет общего состава спектра (пыльца деревьев + пыльца трав + споры = 100%) и отдельных компонентов спектра от общего количества подсчитанных зерен.

Палеомагнитные образцы отбирались вручную С.А. Соколовым и Е.А. Зелениным, с определением их ориентации с помощью геологического компаса. Образцы рыхлых отложений укрепляли немагнитным силикатным клеем. Локальное магнитное склонение рассчитывали с использованием модели IGRF. Палеомагнитные процедуры были выполнены А.В. Латышевым в Лаборатории палеомагнетизма Института физики Земли РАН. Все образцы были подвергнуты ступенчатому размагничиванию в переменном поле (AF) до 130 мТ на AF-демагнетизаторе, встроенном в криогенный магнитометр 2G Enterprises.

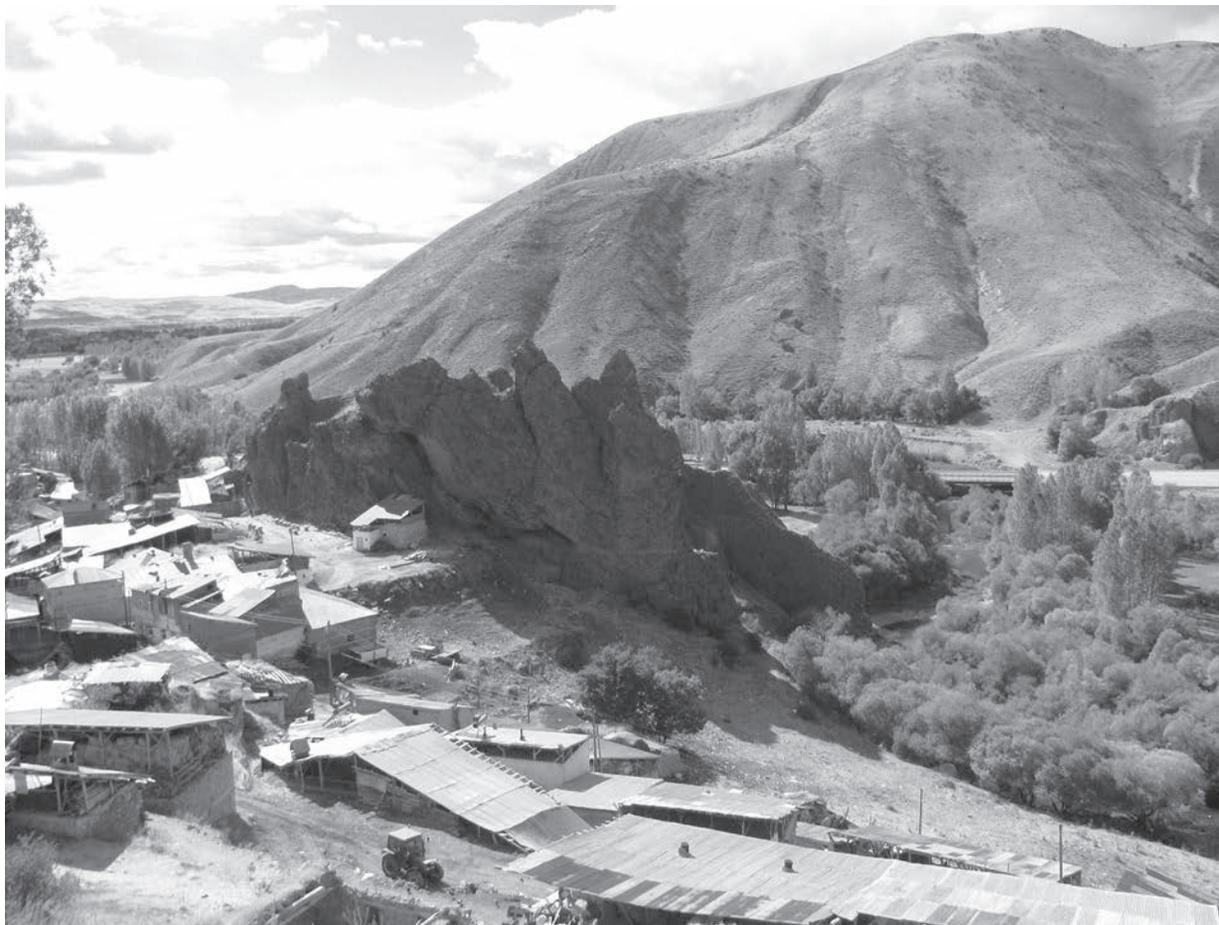
Остаточную намагниченность образцов измеряли на криогенном магнитометре 2G Enterprises “Khramov”. Выделение компонент природной остаточной намагниченности (NRM) осуществлялось с помощью палеомагнитного программного пакета Энкина (Enkin, 1994), использующего анализ главных компонент (Kirschvink, 1980). Качество палеомагнитного сигнала варьирует от образца к образцу. Тем не менее большинство изученных образцов оказалось пригодным для определения палеомагнитных направлений.

В статье принята международная шкала деления плиоцена и плейстоцена.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Строение и состав дельты*

Продольный широтный разрез отложений дельты вскрыт в придорожном обрыве западнее с. Пашаюрду (Paşayurdu; пункт 58/17; 39°58.75′ с.ш., 41°01.3′ в.д.;  $H$  (высота) = 1793 м). Разрез состоит из тонко- и среднеслоистых глин, алевроитов, тонкозернистых песков, редко слоев более грубого песка и гравия. Они образуют 11 клиноформ,



**Рис. 6.** Блок вулканических пород верхнего миоцена–плиоцена вблизи зоны разломов северо-западного борта Эрзурумской впадины (пункт 63/17).

обособляющихся по разному наклону косых слоев на контактах, напоминающих несогласия (рис. 7, 8). Тела I–XI, представляющие разные фазы развития дельты, первоначально имели типичное трехчленное строение дельты гильбертового типа. Но верхняя часть (ундаформа) некоторых фаз была эродирована последующими водными потоками в связи с изменениями уровня водоема. Нижние части проградирующих косых серий (клиноформ) нередко скрыты осыпями. Донный член (фондоформа) не обнажен. Косая и сигмоидальная форма ундаформ указывает на изменения уровня водоема во время отложения дельты (табл. 1). Слои клиноформ наклонены на восток под углами, варьирующими от  $5^\circ$  до  $35^\circ$ . Большинство клиноформ испытало деформацию неконсолированного осадка (soft sediment deformation, SSD), особенно на участках с повышенным наклоном слоев (рис. 9), что обусловлено их крутизной и гравитационным скольжением (рис. 9б). Зигзагообразная форма SSD, наблюдаемая в клиноформе I, сходна по облику с сейсмогенными SSD (рис. 9а). Эрозия некоторых клиноформ приводила к формированию глиняных катунов (рис. 9в).

Поверхность дельтовых фаз I–XI перекрыта аллювиальным слоем, сложенным галечником с линзами песка и гравия (фаза XII развития дельты). Этот слой представляет позднейшую стадию флювиального врезания с эрозионным нижним контактом, над которым залегают плохо сортированные грубые обломки, местами почти без матрикса. В-оси наклона уплощенной гальки показывают, что во время накопления этих слоев воды реки продолжали течь на восток (рис. 10).

Большой карьер был выработан непосредственно к северу от западной части описанного разреза и предоставляет возможность воссоздать 3D облик дельты. Южная стенка карьера параллельна придорожному обнажению и повторяет его строение. В восточной стенке карьера вскрыты слои, параллельные простираению клиноформ (рис. 11). В этом аспекте осадочная последовательность фаз выглядит как горизонтально-слоистая, кроме заполненных гравием линзовидных каналов в основании слоя 11.

Более пологий наклон отложений дельты по сравнению с придорожным обнажением наблюдается в северной стенке карьера (рис. 12). Это

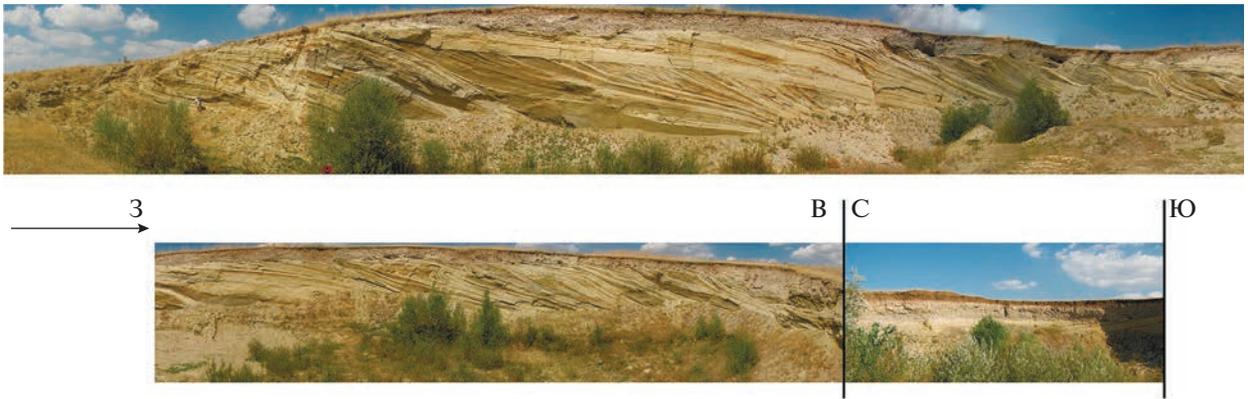


Рис. 7. Фото-профиль вдоль позднеплиоценовой дельты (пункт 58/17). Нижняя фотография продолжает верхнюю на восток.

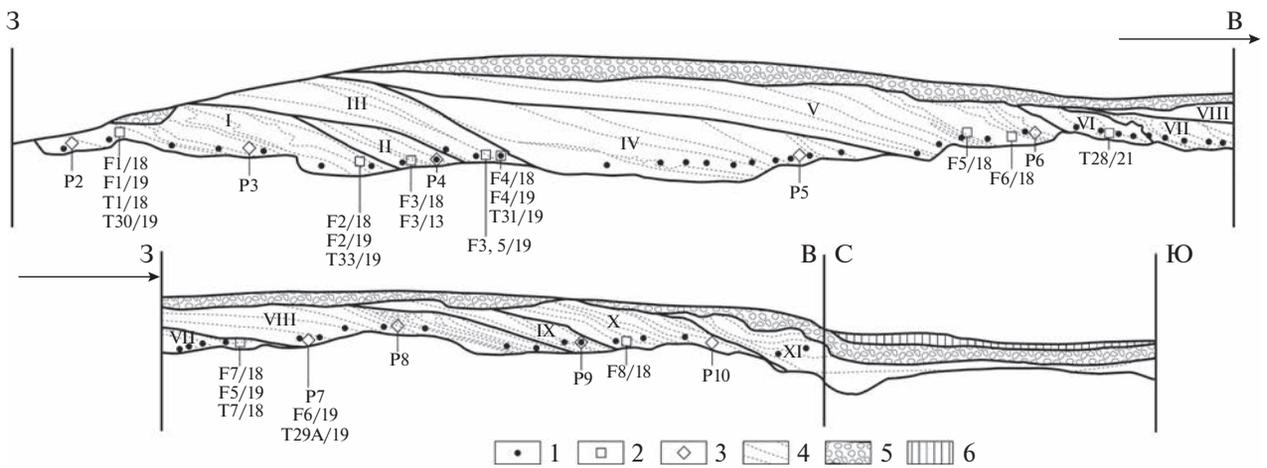
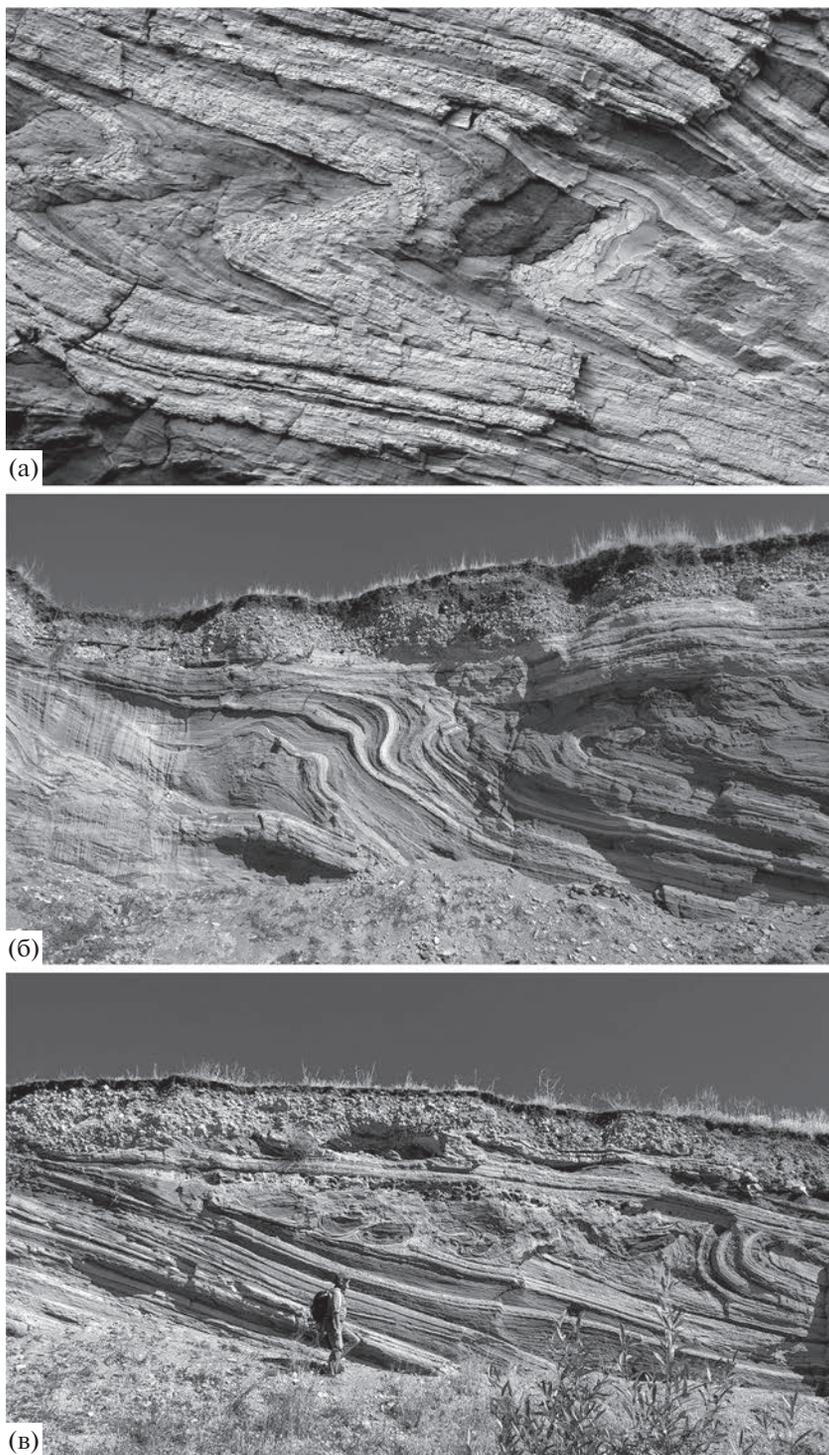


Рис. 8. Принципиальный геологический разрез вдоль верхнеплиоценовой дельты, соответствующий рис. 7 (пункт 58/17). I–XII – фазы клиноформной (проградирующей) части дельты. 1 – палеомагнитные образцы; 2 – фаунистические находки/пробы (F – моллюски, T – мелкие млекопитающие); 3 – палинологические пробы; 4 – границы пачек внутри клиноформных тел; 5 – галечники фазы XII; 6 – покровные суглинки.

Таблица 1. Изменения уровня Эрзурумского водоема в течение развития дельты по данным изучения верхних участков (ундаформ) разных клиноформных тел дельты

№	Интервалы клиноформ	Тип ундаформ	Изменение уровня воды
1	I–II	?	? (эродировано)
2	II–III	Косой	Падение
3	III–IV	?	? (эродировано)
4	IV–V	Косой	Падение
5	V–VI	?	? (эродировано)
6	VI–VII	Сигмоидальный	Поднятие
7	VII–VIII	Сигмоидальный	Поднятие
8	VIII–IX	Сигмоидальный	Поднятие
9	IX–X	Сигмоидальный	Поднятие
10	X–XI	Сигмоидальный	Поднятие
11	(I–XI)–XII	Косой	Падение



**Рис. 9.** Деформации неконсолированного осадка в отложениях дельты (пункт 58/17).

а – зигзагообразные деформации в отложениях фазы I; б – гравитационные деформации фазы VI; в – глиняные катуны в верхней части отложений фазы VIII.

могло бы быть выражением того, что дельта имеет форму конуса выноса, из-за чего северная стенка демонстрирует разрез дельты, близкий к простиранию клиноформ. Но пологий наклон слоев как

на северной, так и на восточной стенках карьера, которые расположены под углом друг к другу, доказывает, что падение слоев действительно уменьшается к северу.



**Рис. 10.** Слой фазы XII обнажения 58/17, состоящий из плохо сортированных обломков, почти лишенных матрикса, и горизонтально перекрывающий отложения фазы VI развития дельты с эрозионным контактом. Ориентировка обломков (b-axis) указывает на течение воды на восток (белые стрелки).

Описанные соотношения наблюдались на северной стороне слабо врезанной долины северного притока р. Карасу. Слой 12 придорожного обнажения (пункт 58/17) слагает чехол террасы долины, а тела клиноформ I–XI слагают цоколь террасы. Южная периферия дельты обнажена на южной стороне этой долины к северо-западу от с. Чигдемли (Çigdemli; пункт 59/17; 39°58.432' с.ш., 41°01.191' в.д.;  $H = 1822$  м). Следующий разрез вскрывается там ниже современной почвы сверху вниз (рис. 13):

1. Горизонтально-слоистые рыхлые песчаники и алевриты; мощность ~7 м.

1.1. Светлые бежево-серые алевриты и тонкозернистые рыхлые песчаники с нечеткой слоистостью; мощность 1.8–2.0 м.

1.2. Светлые бежево-серые тонкозернистые тонкослоистые песчаники и алевриты с тонкими прослоями серого грубого песчаника; мощность 1.2–1.3 м.

1.3. Более темные буровато-серые песчаники с тонкими прослоями светлых более тонкозернистых отложений; мощность 0.5–0.6 м.

1.4. Слой, сходный с 1.2; мощность 1.4–1.5 м.

1.5. Слой, сходный с 1.3; мощность 0.8–1.0 м.

1.6. Слой, сходный с 1.2; мощность 1 м. Содержание грубых песчаников увеличивается в нижней части слоя.

2. Серые косослоистые грубые рыхлые песчаники с прослоями более тонкообломочного материала; мощность 3 м. Тонкие тонкозернистые прослои участвуют в косой слоистости. Сложные внутрислоевые деформации типа сейсмиков нарушают нижние слои пачки (рис. 14). Все слои разреза содержат раковины моллюсков и в небольшом количестве кости мелких позвоночных.

Описанный разрез южной периферии дельты расположен примерно на 30 м выше разреза приосевой части дельты. Однако горизонтально-слоистые отложения пачки 1 имеют тектонический наклон на СВ под углом 2°–3°, обусловленный поднятием юго-западной части Эрзурумской впадины. Это позволяет нам сопоставлять разрезы южной периферии и осевой части дельты и считать пачку 1 южного разреза стратиграфическим аналогом осевого разреза. Пачка 2 южного разреза может представлять более раннюю стадию развития дельты.

#### *Датирование отложений дельты и их палеоэкологическая характеристика*

**Фаунистические данные (моллюски и мелкие млекопитающие).**

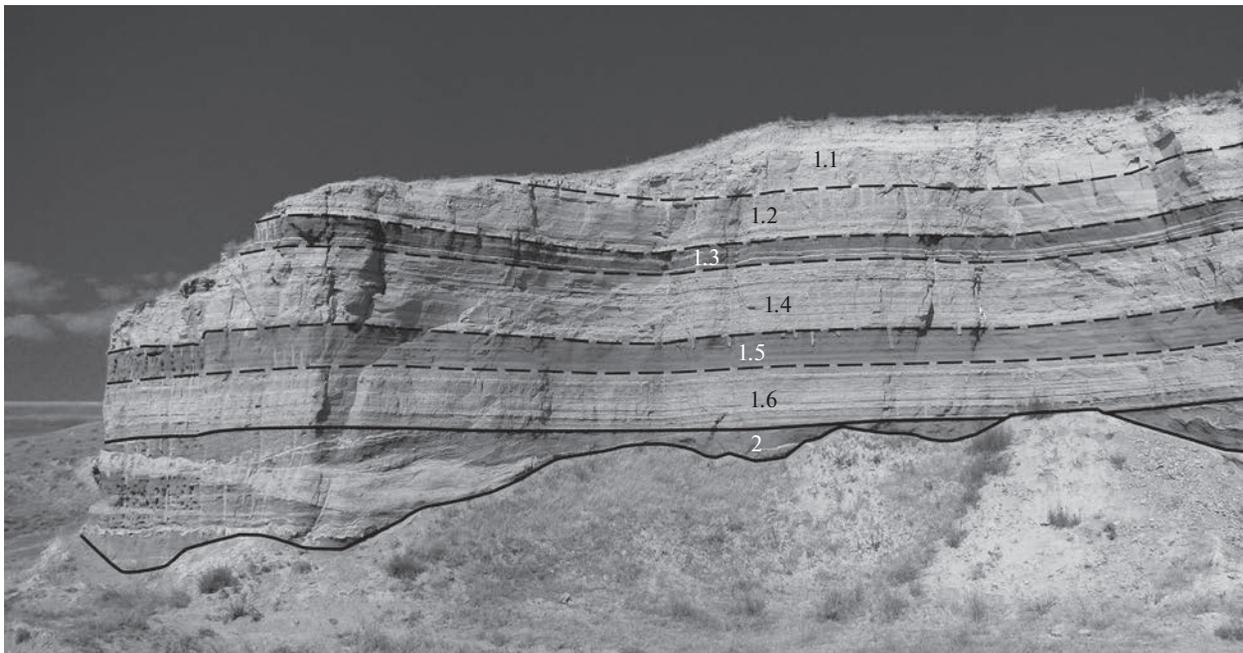
**Моллюски.** Моллюски собраны с нескольких уровней почти на всем протяжении разреза, начиная с клиноформы I (проба F1) и заканчивая клиноформой X (проба F8). В пробах 1, 7 и 8 обнаружены только единичные пресноводные пруж-



**Рис. 11.** Восточная стенка карьера, расположенного непосредственно к северу от обнажения 58/17: вид на отложения дельты по простиранию клиноформ.



**Рис. 12.** Северная стенка карьера, расположенного к северу от обнажения 58/17. Обнажение демонстрирует более пологое падение слоев, чем в разрезе на рис. 7.



**Рис. 13.** Обнажение южной периферии верхнеплиоценовой дельты (пункт 59/17), вид с ЮВ. Показаны границы и номера слоев.

довики рода *Radix*, которые встречаются по всей мощности разреза. В остальных пробах присутствуют и наземные, и пресноводные формы, а также моллюски, выдерживающие осолонение (табл. 2). Представители рода *Dreissena* были выделены в отдельную группу, поскольку, хотя они и могут обитать в солоноватых водах, объединять их с *Pseudamnicola* и *Purgulidae*, также выдерживающими осолонение, кажется неправильным из-за отсутствия на раковинах последних следов биоэрозии.

Таксономические различия между выборками невелики и в основном выражаются в наличии/отсутствии некоторых видов, что, вероятно, связано с местной тафономией, а разница в количественном соотношении представителей различных экологических групп, вероятно, вызвана изменениями в осадконакоплении дельты.

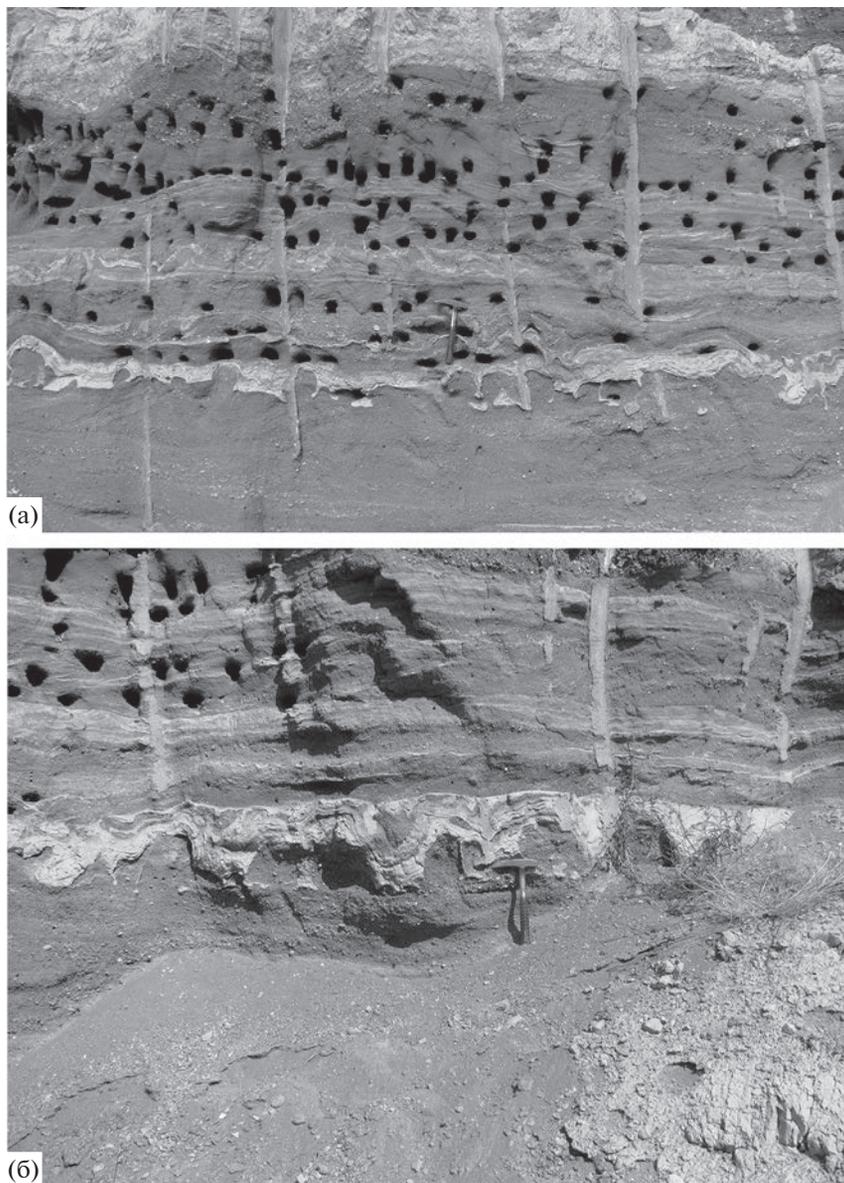
Из наземных моллюсков были определены *Vallonia* sp. ( $n = 40$ ), *Pupilla* sp. ( $n = 19$ ), два разных вида семейства *Enidae* (присутствуют только обломки последнего оборота;  $n_1 = 29$ ;  $n_2 = 1$ ), cf. *Multidentula pupoides* (Krynicky, 1833) ( $n = 61$ ), *Succineidae* indet. (фрагменты и ювенильные раковины;  $n = 45$ ) и фрагменты раковин семейства *Geomitridae* ( $n = 12$ ).

Среди пресноводных моллюсков обнаружены *Bithynia* sp. (обломки;  $n = 3$ ), *Lymnaea* ex gr. *stagnalis* (Linnaeus, 1758) (обломки завитка;  $n = 2$ ), *Radix lessonae* (Issel, 1865) ( $n = 57$ ), *Lymnaeidae* indet. ( $n = 61$ ), *Anisus* sp. ( $n = 95$ ), *Gyraulus* sp. ( $n = 39$ ), *Armiger crista* (Linnaeus, 1758) ( $n = 5$ ), *Bathyompha-*

*lus* sp. ( $n = 1$ ), *Planorbarius* sp. ( $n = 2$ ), *Dreissena* sp. ( $n = 1027$ ) и *Pisidioidea* gen. spp. ( $n = 55$ ).

Среди моллюсков, которые могут выдерживать осолонение, определены *Pseudamnicola* sp. ( $n = 750$ ) и *Purgulidae* indet. (обломки;  $n = 4$ ).

Среди наземных моллюсков преобладает вид, напоминающий *Multidentula pupoides* (Krynicky, 1833). По форме раковины и характеру устьевой арматуры этот вид близок к *Multidentula pupoides* (Krynicky, 1833) и *Multidentula lamellifera* (Rossmässler, 1858). Эти виды конхологически очень похожи, но различаются по строению половой системы. Наша раковина немного крупнее и с чуть менее развитой устьевой арматурой. *M. pupoides* распространен на Большом Кавказе, в Грузии и Армении. Обитает на каменистых горных склонах в турецких провинциях Артвин, Карс и Эрзурум. В Армении характерен для горностепного пояса. *M. lamellifera* распространен в турецких провинциях Чанаккеле, Маниса, Амасья, Токат, Сивас и Мардин. Он преобладает в Северной Анатолии, обычен в провинциях Амасья и Токат и реже в других, населяя лесные местообитания (Акрамовский, 1976; Schütt, 2005; Welter-Schultes, 2012). Мы предполагаем, что наши раковины ближе к *M. pupoides*. Многие представители семейств *Enidae* и *Geomitridae* предпочитают степные условия. *Vallonia* обычно предпочитает увлажненные местообитания, а *Succineidae* — влажные. В данном случае они, очевидно, жили вдоль берега водоема.



**Рис. 14.** Внутрислойные деформации (сейсмиды?) в нижней части пачки 2 южной периферии верхнеплиоценовой дельты (пункт 59/17).

Некоторые из наших раковин идентичны *Radix lessonae* (Issel, 1865), описанной и изображенной Шюттом (Schütt, 1991) из песчаного карьера к востоку от Хорасана (Hogasan), Турция (плиоценовые хорасанские слои). Разные исследователи отмечают небольшие размеры для этого вида — 5–6 мм, хотя некоторые обломки принадлежат более крупным раковинам (Issel, 1865; Андрусов, 1923; Колесников, 1950). Шютт (Schütt, 1991) сообщал о различных размерах раковины: от маленьких до более крупных форм.

Представители рода *Pseudamnicola* являются вторым по встречаемости моллюском после *Dreissena*. Все исследованные под сканирующим

микроскопом раковины *Pseudamnicola* имеют микроскопические следы сверления (биоэрозии), такие же следы обнаружены и на раковине *Purgulidae* (рис. 15). Это свидетельствует о том, что моллюски этих видов жили в иных условиях по отношению к остальному комплексу тафоценоза. С учетом того, что представители этих групп обитают как в пресных, так и в солоновато-водных условиях, а такой тип биоэрозии более характерен для соленых вод и в пресных встречается редко, можно предположить впадение реки, образовавшей изучаемую дельту, в солоновато-водный водоем. На раковинах других видов моллюсков таких сверлений не обнаружено, что исключает

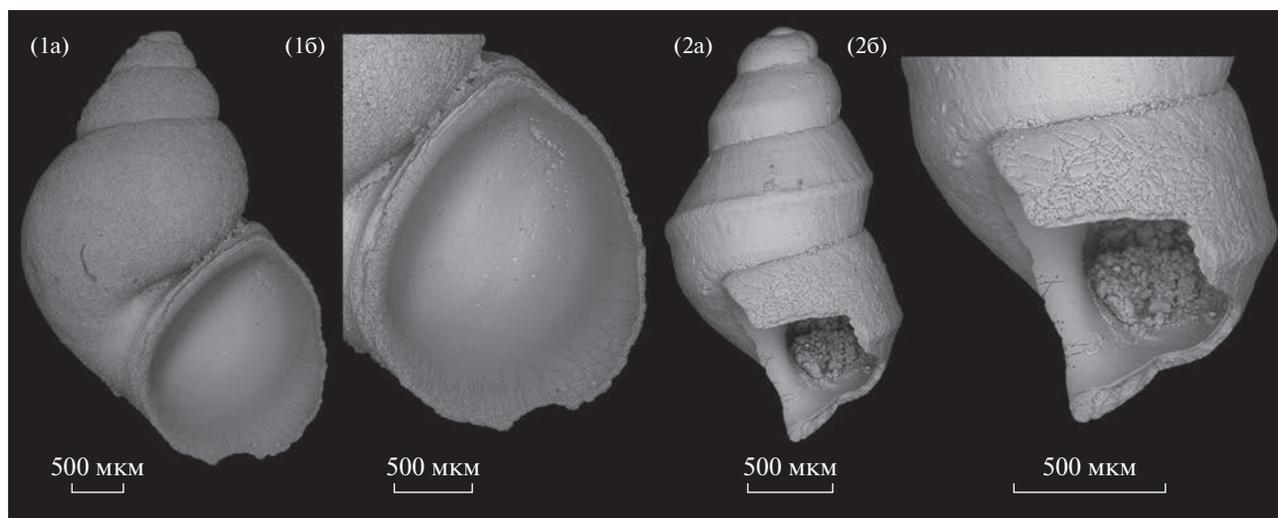


Рис. 15. Следы биоэрозии на раковинах *Pseudoamnicola* (1а, 1б) и *Pyrgulidae* (2а, 2б), проба F3. Разрез Пашаюрду, Восточная Турция, поздний плиоцен.

постседиментационное изменение после захоронения.

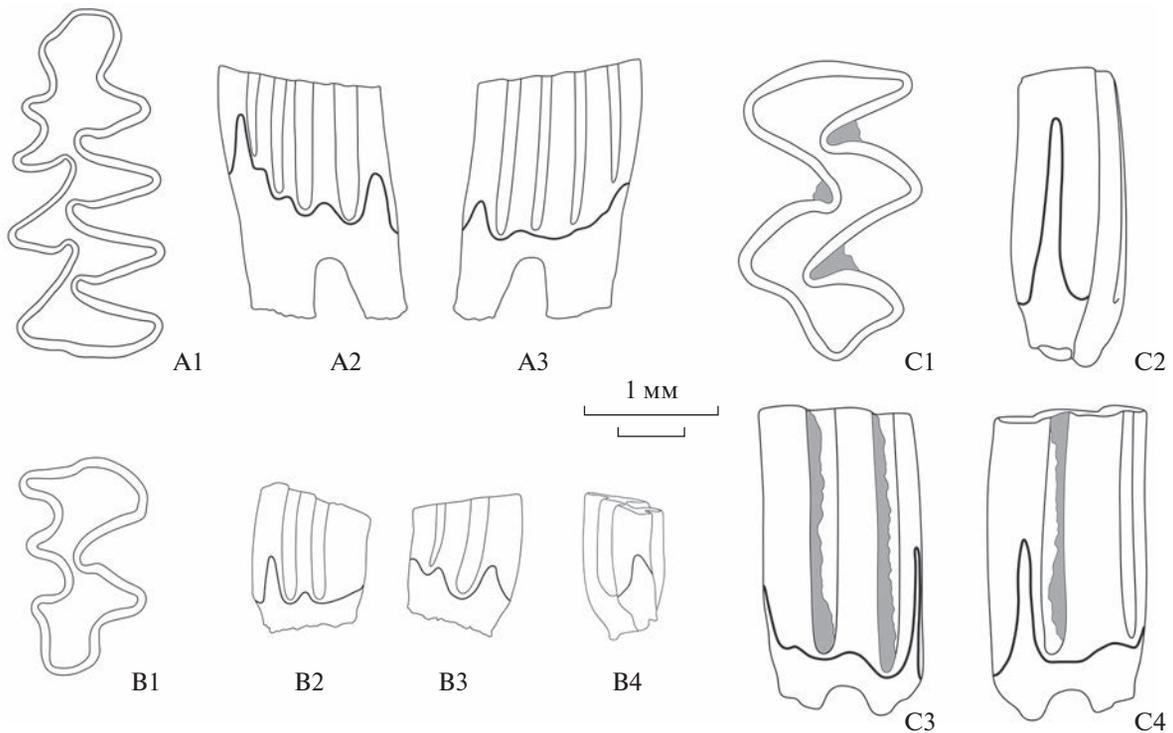
С экологической точки зрения большинство пресноводных видов, таких как представители *Lymnaeidae* и *Planorbidae*, предпочитают условия со слабым течением и обильной растительностью. Суммируя вышесказанное, можно предположить обитание изученной ассоциации моллюсков на остепненных берегах и в водах позднеплиоценового озерно-аллювиального водоема, который был преимущественно пресным в дельте впадавшей реки, но мог быть солоновато-водным на удалении от нее.

**Мелкие млекопитающие.** Несколько зубов мелких млекопитающих были обнаружены в пробах, отобранных из слоев клиноформ I (обр. T1/18, T30/19, T33/19), III (T31/19), VII (T7/18, T29/19) и VIII (обр. T29A/19) осевой части дельты (пункт 58/17) и из слоя 1.6 разреза в карьере, расположенном к северо-западу от пос. Чигдемли (пункт 59/17) и представляющем собой южную

периферию дельты (обр. T4/18). Ископаемый материал относится к *Mimomys* cf. *polonicus* Kowalski, 1960 (пробы T1/18, T29/19, T30/19, T33/19, T4/18) и *Borsodia* sp. (обр. T7/18, T29/19, T30/19) (рис. 16). Все находки относятся к зоне MN16 европейской биохронологической шкалы и определяют возраст вмещающих отложений как позднеплиоценовый (пьяченций). В региональном аспекте фауна мелких млекопитающих дельтовых отложений Пашаюрду-Чигдемли (Paşayurdu-Çigdemli) эволюционно предшествует фауне Пекеджика, расположенного в Хорасанской впадине (Ünay, de Bruijn, 1998; Simakova et al., 2021). В состав фауны Пекеджика входят более прогрессивные ископаемые арвиколины *Mimomys praepliocenicus* Rabeder, 1981, *Mimomys reidi* Hinton, 1910, *Borsodia* cf. *praeungarica* (Schevtschenko, 1965), *Pitymimomys stranzendorfensis* Rabeder, 1981 и *Clethrionomys primitivus* Popov, 2000. Эта фауна относится к зоне MN17 и раннему вилланию и по па-

Таблица 2. Распределение экологических типов моллюсков в пробах из разреза отложений позднеплиоценовой дельты местонахождения Пашаюрду

Пробы	Наземные	Пресноводные	Выдерживающие осолонение	<i>Dreissena</i>
F1		1		
F2	96 (39%)	65 (26%)	29 (12%)	58 (23%)
F3	246 (17%)	192 (14%)	111 (8%)	865 (61%)
F4	26 (4%)	37 (5%)	561 (77%)	100 (14%)
F5	7 (14%)	7 (14%)	35 (68%)	2 (4%)
F6	6 (20%)	2 (7%)	22 (73%)	—
F7	—	1	—	—
F8	—	1	—	—



**Рис. 16.** Ископаемые остатки мелких млекопитающих из разрезов позднеплиоценовой дельты в Эрзурумской межгорной впадине, Северо-Восточная Турция.

А, В: *Borsodia* sp., Пашаюрду; А, m1, левый, обр. Т7/18: А1, жевательная поверхность; А2, вид с лабиальной и, А3, лингвальной стороны. В, М3, правый, обр. Т29/19: В1, жевательная поверхность; В2, вид с лабиальной и В3, лингвальной стороны; В4, вид сзади. С: *Mimomys* cf. *polonicus*, Чигдемли; М2, левый, обр. Т4/18: С1, жевательная поверхность; С2, вид с лабиальной и, С3, лингвальной стороны. Масштабные линейки для жевательной поверхности (верхняя) и боковых сторон (снизу).

леомагнитным данным датируется концом Гаусса, ~2.6 млн лет (Simakova et al., 2021). Этот временной уровень служит верхним возрастным контролем для фауны Пашаюрду-Чигдемли. Таким образом, изученная фауна мелких млекопитающих существовала в интервале между 2.6 и ~3.0 млн лет. Нижний возрастной предел контролируется нижней границей биохронологической зоны MN16b, которая оценивается как близкая к 3.0 млн лет (Fejfar et al., 1998).

Палеоэкологическая характеристика небольшой ассоциации мелких млекопитающих указывает на наличие прибрежных (*Mimomys*) и степных (*Borsodia*) местообитаний.

**Палинологические данные.** Десять палинологических образцов были отобраны и проанализированы из дельтовых отложений клиноформ I–X. Точки отбора P2–P10 показаны на рис. 8. Образец P1 был отобран в основании дельтовой толщи в тыловом карьере (рис. 12) непосредственно к северу от основного разреза.

Нижний образец P1 отобран из коричневой глины озерного типа с обломками моллюсков. В спектре незначительно преобладает (55%) пыль-

ца древесных. В пыльцевых спектрах доминируют *Pinus* и *Abies* (рис. 17). Древесная группа включает также *Tsuga canadensis* type и *Tsuga diversifolia* type, *Cedrus*, *Carya*, *Fagus*, *Betula*, *Alnus*, *Carpinus* и *Ulmus*. Травы представлены пыльцой *Asteraceae*, *Poaceae*, *Amaranthaceae*, *Plumbaginaceae* и реже *Ephedra*. Обнаружены споры зеленых водорослей *Botryococcus braunii* и *Pediastrum* sp. Спектр содержит также переотложенные палиноморфы мезозойского и палеогенового возраста (*Pinaceae* sp., *Chiropteridium* sp., *Meiurogonyaulax* sp. и *Callialasporites* cf. *trilobatus*).

Эти данные показывают, что хвойные леса с *Cedrus*, *Tsuga* и *Abies* росли на возвышенностях. Ниже доминировали смешанные леса с *Pinus*, *Fagus*, *Carpinus* и *Ulmus*. На более низких гипсометрических уровнях была широко развита луго-степная растительность. Сходная палинологическая картина характерна для образца P8 из кровли клиноформы VIII.

В других образцах, отобранных из осадков дельты (кроме образцов P1, P2 и P8), концентрация палиноморф в спектрах низкая. Однако все образцы показывают высокое содержание пыльцы

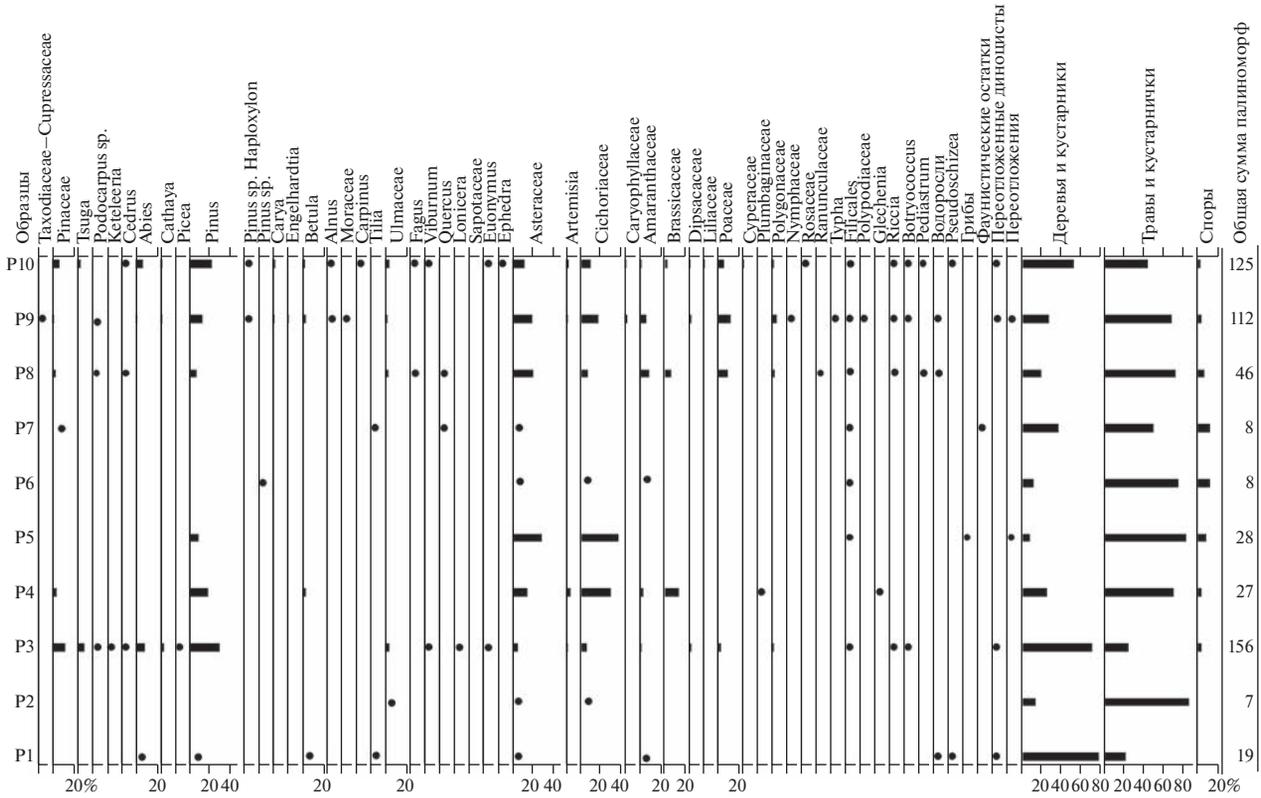


Рис. 17. Пыльцевая диаграмма отложений дельты. Залитыми кружками показаны единичные зерна. Места отбора образцов показаны на рис. 8.

травянистой растительности в общем пыльцевом спектре (70–80%). Это Asteraceae, Amaranthaceae, Brassicaceae и Poaceae. Возможно, развитие дельты происходило в условиях аридизации климата и экспансии луговых и степных ценозов в ландшафте.

Доминирование хвойных (сосновых) лесов в горных областях Северо-Восточного Средиземноморья, Турции, Грузии, Северного Кавказа и юга Русской равнины характерно для позднего плиоцена (Ананова, 1974; Шатилова, 1974; Jiménez-Moreno et al., 2007, 2015; Yavuz-Işık, Toprak, 2010; Işık et al., 2011; Shatilova et al., 2011; Naidina, Richards, 2016). Все авторы отмечали аридный климат в конце плиоцена. Таким образом, полученные палинологические данные подтверждают позднеплиоценовый возраст отложений дельты. Формирование дельты происходило в аридных климатических условиях.

**Археологические данные.** Несколько выветрелых и слегка оглаженных водой палеолитических изделий было найдено на поверхности террасы, сложенной галечниками слоя 12, перекрывающими косослоистые отложения осевой части дельты (пункт 58/17). Это два нуклеуса, три отщепы и остроконечное орудие, сделанные из андезита или

дацита. Нуклеусы длиной 11–14 см имеют рабочие поверхности с крупными негативами однопавленных сколов (рис. 18а, 18б) и гладкие, т.е. лишённые дополнительной подправки, ударные площадки. Отщепы также обладают гладкими площадками и имеют довольно крупные размеры (длина 9–10 см). Два таких отщепы являются полукраевыми: их верхняя, или дорсальная, сторона сочетает негативы единичных сколов с участками естественной поверхности валунов. На дорсальной стороне третьего отщепы видны негативы от предшествовавшего радиального или веерообразного скалывания. Единственное орудие (длина 7.3 см) изготовлено из отщепы. Вначале эта заготовка была утончена плоскими сколами на нижней вентральной стороне, а последующая обработка сформировала продольные края, которые сходятся на дистальном конце, образуя острие. Техничко-морфологические характеристики всех этих изделий позволяют отнести их к индустрии ашельского типа, хотя они не столь показательны, чтобы однозначно определить конкретный этап ашеля. В то же время довольно примитивные приемы скалывания говорят, скорее, об относительно раннем возрасте артефактов в рамках ашельской эпохи (ранний плейстоцен или начало среднего плейстоцена). Так как они об-

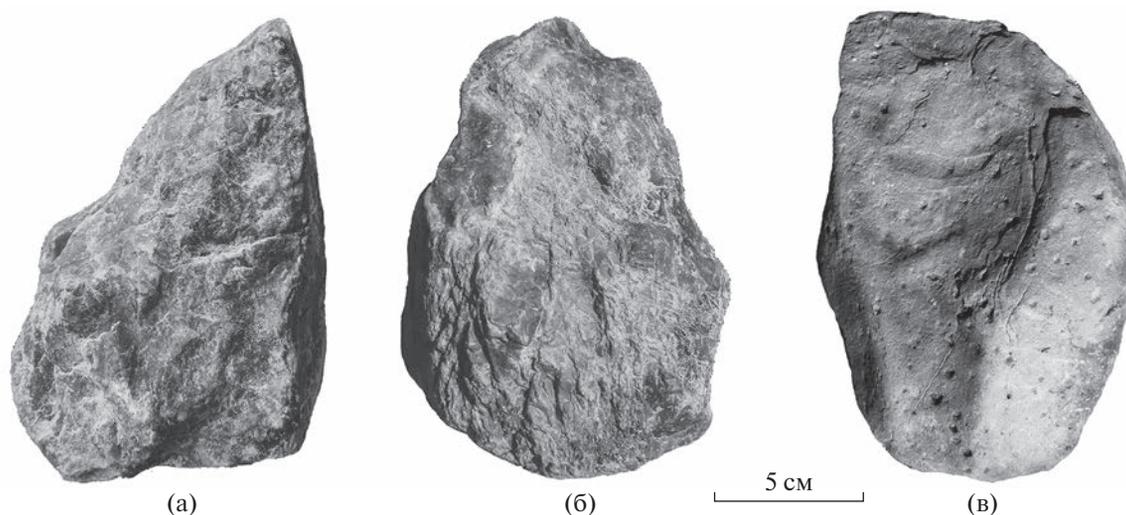


Рис. 18. Раннепалеолитические каменные изделия (пункт 58/17), найденные на поверхности раннеплейстоценовой террасы (а, б – ядрища) и в чехле террасы (в – пик).

наружены на эродированной поверхности террасы, она не может быть моложе начала среднего плейстоцена.

Два других палеолитических изделия из кремневой породы были найдены в большом карьере, расположенном к северо-западу от придорожного разреза дельты, пункт 58/17. Находки происходят из осыпи галечника под обнажением слоя 12. Первая из них является небольшим полукрепавым отщепом, который обычен для любого периода ашеля. В отличие от него, второй артефакт может быть одним из индикаторов возраста слоя 12. Это очень большое и массивное орудие ( $15.2 \times 10.6 \times 9.8$  см), сделанное из брусковидного обломка породы, зауженный конец которого завершается намеренно оформленным слабовыпуклым лезвием. Данное орудие определяется как пик с долотовидным концом (рис. 18в). Базальный торец (“пятка”) пика, его плоская нижняя сторона и один из продольных краев являются естественными гранями исходного обломка, на которых имеются лишь несколько негативов уплощающих сколов. Второй продольный край, дорсальная сторона и долотовидный рабочий элемент на конце пика оформлены интенсивной, но довольно грубой оббивкой. Данный тип орудия очень характерен для индустрий раннеашельского периода, который соответствует раннему плейстоцену. В среднеашельских индустриях первой половины среднего плейстоцена такие орудия становятся редкими, и позднее они уже не встречаются. Следовательно, слой 12, где пик залегал, имеет раннеплейстоценовый возраст.

**Магнитостратиграфические данные.** Из основного разреза 58/17 центральной части дельты (юго-западнее с. Пашаюрду) был отобран 41 об-

разец. Из них 39 образцов показали нормальную остаточную намагниченность и два образца из верхних фаз дельты дали неопределенные результаты. 15 палеомагнитных образцов были отобраны из разреза южной периферии дельты (карьер 59/17 к СЗ от с. Чигдемли). Из них 13 образцов показали нормальную магнитную полярность и два образца из средней части разреза дали неопределенные результаты. Учитывая палеонтологические и археологические данные, магнитостратиграфические данные позволяют коррелировать время накопления изученных отложений с палеомагнитной эпохой Гаусс (C2An).

Синтез приведенных данных позволяет датировать отложения дельты (фазы I–XI) и их аналоги поздним плиоценом (пьянченцием), а покрывающий аллювий террасы (фаза XII) – ранним плейстоценом.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Описанная позднеплиоценовая дельта представляет великолепный пример дельты гильбертового типа. Полученные данные могут быть использованы при интерпретации сходных седиментологических образований, спорных из-за худшей обнаженности или сохранности. Это особенно важно для понимания строения крупных дельт, перспективных для поисков углеводородов. Изученная дельта принадлежала реке, которая впадала в Эрзурумскую впадину с запада. Тонкообломочный состав отложений дельты указывает на то, что продольный профиль реки был пологим, и превышение области сноса обломочного материала было незначительным.

Верхнеплиоценовые осадки осевой части дельты (пункт 58/17) слагают цоколь террасы, покрытой нижнеплейстоценовым аллювием. Западное продолжение этого аллювия (рис. 2) слагает верхний слой обнажения 1/19 мощностью 2 м, тогда как нижележащие 3.5 м этого разреза сложены алевритами с двумя горизонтами палеопочвы. Алевриты могут соответствовать верхней части разреза 59/17. Далее к западу более мощные аналоги грубообломочного аллювия обнажаются в пунктах 2/19, 3/19 и 4/19 и слагают верхнюю часть разреза 5/19, несогласно перекрывающую рыхлые алевриты, мергели и мергелистые глины северного борта долины р. Карасу, полого падающие в восточных румбах. Эти галечники маркируют русло раннеплейстоценовой реки, которая текла на ВСВ и, возможно, наследовала позднеплиоценовую реку, сформировавшую дельту.

Современная р. Карасу (верховья р. Евфрат) дренирует Эрзурумскую впадину и протекает южнее описанной раннеплейстоценовой долины в противоположном относительно нее запад-юго-западном направлении (рис. 2). Террасы р. Карасу находятся ниже обнажений, маркирующих раннеплейстоценовую долину. Следовательно, долина р. Карасу моложе и возникла не раньше конца раннего плейстоцена или начала среднего плейстоцена. Таким образом, дренажная система Эрзурумской впадины испытала значительную перестройку.

Эрзурумская впадина является западным звеном субширотного ряда межгорных впадин. Восточнее нее расположены Пасинлерская, Хорасанская и Араратская (Средне-Аракская) впадины. Все три впадины дренируются р. Аракс и/или его притоками. Хребет Агридаг с позднечетвертичным активным вулканом Арарат на востоке ограничивает Хорасанскую и Араратскую впадины с юга. К югу от хребта находится впадина на Агри. Она дренируется р. Мурат, крупнейшим притоком Евфрата, стекающим со склона горы Арарат.

Эрзурумская, Пасинлерская и Хорасанская впадины сейчас разделены невысокими перемычками северо-восточного простирания, нарушенными продольными активными разломами с доминирующей левосдвиговой компонентой движений. Все три впадины заполнены сходными тонкообломочными терригенными, реже карбонатными отложениями верхнего миоцена—плиоцена. Эти же отложения слагают перемычки между впадинами, где они сочетаются с субэральными вулканическими породами позднего миоцена—плиоцена. Эти вулканические породы обнажены на перемычках между Эрзурумской и Пасинлерской и, в меньшей степени, между Пасинлерской и Хорасанской впадинами. Вулканические тела прерывисты и вполне допуска-

ли водное сообщение между впадинами. Мы считаем, что долина Палео-Аракса протягивалась в Эрзурумскую впадину и далее на запад в позднем плиоцене—раннем плейстоцене. Долина имела ячеистую форму и состояла из обширных впадин с лагунно-озерным и аллювиальным осадконакоплением и более узких протоков на перемычках между ними.

Тонкослоистые алевриты и мергели верхнего миоцена—плиоцена обнажений 61/17 и 5/19 находятся западнее позднеплиоценовой дельты. Это показывает, что Эрзурумский водоем уменьшился в позднем плиоцене из-за поднятия западных краев впадины. В раннем плейстоцене тектонический подъем усилился и охватил перешеек между Эрзурумской и Пасинлерской впадинами. Эрзурумская впадина оказалась изолированной, и верховья Палео-Аракса были перехвачены верховьями Евфрата в конце раннего плейстоцена или начале среднего плейстоцена.

Перестройка дренажной сети Эрзурумской впадины приобретает особое значение в связи с проблемой проникновения океанических вод в акчагыльский бассейн Каспийского региона. В верхней части верхнего плиоцена озерно-аллювиального разреза Пекеджик Хорасанской впадины выделяется пачка тонкообломочных отложений мощностью 22–25 м, в которой удалось найти морские диноцисты акчагыльского облика (Simakova et al., 2021). Сходство разрезов Хорасанской и Эрзурумской впадин и возможность водного сообщения между ними в позднем плиоцене позволяют допустить наличие верхнеплиоценового морского акчагыла и в Эрзурумской впадине. Достоверно установить его наличие во впадине нам не удалось, но присутствие среди моллюсков дельты форм, которые могли обитать в солоноватой среде, не противоречит этому.

Высказывалось предположение, что воды Средиземного моря или Персидского залива могли поступать в акчагыльский бассейн через верховья р. Евфрат и Эрзурумскую впадину. Однако результаты, представленные в настоящей статье, свидетельствуют против такого предположения. Во-первых, позднеплиоценовый водный бассейн Эрзурумской впадины ограничивался на западе дельтой реки, впадавшей в бассейн с запада. Во-вторых, воды Евфрата проникли в Эрзурумскую впадину не ранее конца раннего плейстоцена, т.е. после акчагыльских событий, когда Эрзурумская впадина оказалась изолированной от долины р. Аракс. Это делает поступление океанических вод в акчагыльский бассейн через верховья Евфрата и Эрзурумскую впадину весьма маловероятным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эрзурумская межгорная впадина возникла в Северо-Восточной Турции не позднее позднего миоцена между двумя позднемиоценовыми офиолитовыми зонами, продолжающимися на восток сутуру Измир—Анкара—Эрзинджан. В позднем миоцене—плиоцене впадина заполнялась осадками озерно-лагунного типа. В позднем плиоцене в западной части впадины сформировалась дельта гильбертового типа. Возраст дельты обосновывается находками фауны моллюсков и мелких млекопитающих, результатами палинологического и магнитостратиграфического анализа. Обнаженная часть дельты состоит из 11 клиноформных тел преимущественно тонкообломочных отложений, представляющих разные фазы развития дельты. Ундаформы некоторых фаз эродированы последующими водными течениями в связи с изменениями уровня водоема. Фондоформа не обнажена. Слои клиноформ наклонены на восток под углами от 5° до 35°. Большинство клиноформ испытали деформации неконсолидированного осадка, особенно на участках с повышенным наклоном слоев. Эродированная поверхность дельты перекрыта нижнеплейстоценовыми аллювиальными галечниками и песками со следами течения воды на восток.

Строение и расположение дельты показывают, что в позднем плиоцене некая река впадала в Эрзурумский водоем с запада. Тонкообломочный состав отложений дельты указывает на пологий продольный профиль этой реки. Присутствие верхнемиоцен-плиоценовых отложений лагунно-озерного типа возле западных границ впадины западнее дельты свидетельствует о сокращении площади водного резервуара впадины ко времени образования дельты из-за подъема западной части впадины. Сокращение продолжалось в раннем плейстоцене.

Эрзурумская впадина является западным звеном ряда межгорных впадин, который продолжается на восток Пасинлерской и Хорасанской впадинами. Все три впадины сложены сходными верхнемиоцен-плиоценовыми осадками. Они формировались в едином бассейне седиментации. Бассейн имел ячеистое строение и состоял из широких депрессий с озерно-лагунным и аллювиальным осадконакоплением, соответствующих современным впадинам, и более узких речных сегментов между ними. В современную эпоху Пасинлерская и Хорасанская впадины дренируются р. Аракс и его притоками. Представляется вероятным, что в позднем плиоцене и раннем плейстоцене Палео-Аракс распространялся в Эрзурумскую впадину и еще западнее, и описанная дельта была сформирована в месте впадения во впадину истоков Палео-Аракса. В конце раннего плейстоцена Эрзурумская впадина была изолирована от дренажной

системы Аракса подъемом тектонической перемычки между Эрзурумской и Пасинлерской впадинами. В результате верховья Палео-Аракса были перехвачены распространившимися в Эрзурумскую впадину истоками р. Евфрат (р. Карасу), которые сейчас ее дренируют.

В слоях Хорасанской впадины, относящихся к верхам верхнего плиоцена, обнаружены морские диноцисты акчагыльского облика. Воды акчагыльского бассейна могли достигать Эрзурумской впадины. Однако предположение о том, что верховья р. Евфрат и Эрзурумская впадина были тем каналом, по которому воды и биота океанического происхождения (из Средиземного моря или Персидского залива) проникли в акчагыльский бассейн, представляется крайне маловероятным по двум причинам. Во-первых, Эрзурумская впадина ограничивалась в позднем плиоцене дельтой реки, впадавшей в водоем с запада. Во-вторых, истоки Евфрата проникли в Эрзурумскую впадину и перехватили ее дренажную сеть уже после того, как существовавший там бассейн акчагыльского времени (поздний плиоцен—гелазий) прекратил свое существование.

**Благодарности.** Авторы благодарят И.Н. Болотова (ФИЦКИА УрО РАН, Архангельск) за помощь по вопросам таксономии моллюсков.

**Источники финансирования.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00249, <https://rscf.ru/project/22-17-00249/> в Геологическом институте РАН, Москва. Таксономические определения моллюсков были частично поддержаны грантом РФФ № 21-44-04401.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акрамовский Н.Н.* Фауна Армянской ССР. Моллюски (Mollusca). Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1976. 272 с.
- Ананова Е.Н.* Пыльца в неогеновых отложениях юга Русской равнины. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1974. 228 с.
- Андрусов Н.И.* Апшеронский ярус // Тр. Геол. ком. Нов. сер. 1923. Т. 110. С. 1—294.
- Багдасарян Г.П., Гукасян Р.Х.* Геохронология магматических, метаморфических и рудных формаций Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1985. 294 с.
- Гричук В.П., Заклинская Е.Д.* Анализ ископаемых пыльцы и спор и использование этих данных в палеогеографии. М.: Географгиз, 1948. 240 с.
- Книппер А.Л.* Океаническая кора в структуре альпийской складчатой области. М.: Наука, 1975. 208 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 267).
- Книппер А.Л., Соколов С.Д.* Офиолиты Веди (Армения): автохтон или аллохтон? // Геотектоника. 1976. № 4. С. 54—66.
- Книппер А.Л., Сатиан М.А., Брагин Н.Ю.* Верхнетриасовые—нижнеюрские вулканогенно-осадочные отложения

- Старого Зодского перевала (Закавказье) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1997. Т. 5. № 3. С. 58–65.
- Колесников В.П. Палеонтология СССР. Том X. Часть 3. Вып. 12. Ачкагельские и апшеронские моллюски. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 259 с.
- Трифонов В.Г. Коллизия и горообразование // Геотектоника. 2016. № 1. С. 1–23.
- Шатилова И.И. Палинологическое обоснование геохронологии верхнего плиоцена и плейстоцена Западной Грузии. Тбилиси: Мецниереба, 1974. 194 с.
- Adamia S.A., Chkhotia T.G., Gvatzde T.T., Lebanidze Z.A., Lursmanashvili N.D., Sadradsze N.G., Zakaraia D.P., Zakariadze G.S. Tectonic setting of Georgia – Eastern Black Sea: a review // Tectonic Evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus. Eds. Sosson M., Stephenson R.A., Adamia S.A. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2017. № 428. P. 11–40.
- Agard P., Omrani J., Jolivet L., Mouthereau F. Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation // Int. J. Earth Sci. 2005. V. 94. P. 401–419.
- Akinci A.C., Robertson A.H.F., Ünlügenç U.C. Sedimentary and structural evidence for the Cenozoic subduction-collision history of the Southern Neotethys in NE Turkey (Çağlayanerit area) // Int. J. Earth Sci. 2016. V. 105. P. 315–337.
- Alçiçek H., Wesselingh F.P., Alçiçek M.C. Palaeoenvironmental evolution of the late Pliocene–early Pleistocene fluvio-deltaic sequence of the Denizli Basin (SW Turkey) // Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol. 2015. V. 437. P. 98–116.
- Alçiçek M.C. Tectonic development of an orogen-top rift recorded by its terrestrial sedimentation pattern: the Neogene Eşen Basin of southwestern Anatolia, Turkey // Sediment. Geol. 2007. V. 200. P. 117–140.
- Avagyan A., Shahidi A., Sosson M., Sahakyan L., Galoyan G., Muller C., Vardanyan S., Bahar Firouzi Kh., Bosch D., Danielian T., Asatryan G., Mkrtchyan M., Ali Shokri M. New data on the tectonic evolution of the Khoys region, NW Iran // Tectonic Evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus. Eds. Sosson M., Stephenson R.A., Adamia S.A. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2017. № 428. P. 99–116.
- Bell C.M. Quaternary lacustrine braid deltas on Lake General Carrera in southern Chile // Andean Geol. 2009. V. 36. P. 51–65.
- Bijkerk J.F., Veen J., Postma G., Mike D., Van Strlen W., de Vrles J. The role of climate variation in delta architecture: lessons from analogue modelling // Basin Res. 2014. V. 26. P. 351–368.
- Corner G.D., Nordahl E., Munch-Ellingsen K., Robertsen K.A. Morphology and sedimentology of an emergent fjord-head Gilbert-type delta: Alta delta, Norway // Coarse-Grained Deltas. Eds. Colella A., Prior D.B. Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ. 1990. № 10. P. 155–168.
- Danelian T., Galoyan G., Rolland Y., Sosson M. Palaeontological (Radiolarian) Late Jurassic age constraint for the Stepanavan ophiolite (Lesser Caucasus, Armenia) // Bull. Geol. Soc. Greece. 2007. V. 40. P. 31–38.
- Danelian T., Asatryan G., Sahakyan L., Galoyan G.H., Sosson M., Avagyan A. New and revised radiolarian biochronology for the sedimentary cover of ophiolites in the Lesser Caucasus (Armenia) // Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Eds. Sosson M., Kaymakci N., Stephenson R.A., Bergerat F., Starostenko V. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2010. № 340. P. 383–391.
- Dietrich P., Ghienne J.-F., Normandeau A., Lajeunesse P. Upslope-migrating bedforms in a proglacial Sandur delta: cyclic steps from river-derived underflows? // J. Sediment. Res. 2016. V. 86. P. 112–122.
- Eilertsen R., Corner G.D., Aasheim O., Andreassen K., Kristoffersen Y., Ystborg H. Valley-fill stratigraphy and evolution of the Målselv fjord-valley, northern Norway // Incised Valleys in Time and Space. Eds. Dalrymple R.W., Leckie D.A., Tillman R.W. SEPM. Spec. Publ. 2006. № 85. P. 179–195.
- Eilertsen R.S., Corner G.D., Aasheim O., Hansen L. Facies characteristics and architecture related to palaeodepth of Holocene fjord-delta sediments // Sedimentology. 2011. V. 58. P. 1784–1809.
- Enkin R.J. A Computer Program Package for Analysis and Presentation of Paleomagnetic Data. Sidney: Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada, 1994. 16 p.
- Fejfar O., Heinrich W.-D., Lindsay E.H. Updating the Neogene rodent biochronology in Europe // Meded. Ned. Inst. Toegepaste Geowetenschappen TNO. 1998. V. 60. P. 533–554.
- Galoyan G., Rolland Y., Sosson M., Corsini M., Melkonian R. Evidence for superposed MORB, oceanic plateau and volcanic arc series in the Lesser Caucasus (Stepanavan, Armenia) // Comptes Rendus Geosci. 2007. V. 339. P. 482–492.
- Galoyan G.H., Melkonyan R.L., Atayan L.S., Chung S.-L., Khorenyan R.H., Lee Y.-H., Amiraghyan S.V. On the petrology and geochemistry of Jurassic magmatics of the Somkheto segment of Somkheto-Karabagh tectonic zone (Northern Armenia) // Izvestiya of National Academy of Sciences of the Republic of Armenia. Earth Sci. 2018. V. 71. № 1. P. 3–27.
- Geological Map of Iran. Sheet № 1. Scale 1 : 1 000 000. Tehran: Nation. Iranian Oil Comp., 1978.
- Geological Map of Turkey, Sheets Erzurum, Kars, Trabzon, and Van. Scale 1 : 500,000. Ankara: General Directorate of Mineral Research and Exploration, 2002.
- Ghinassi M., Libsekal Y., Papini M., Rook L. Palaeoenvironments of the Buia Homo site: high-resolution facies analysis and non-marine sequence stratigraphy in the Alat formation (Pleistocene Dandiero Basin, Danakil depression, Eritrea) // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2009. V. 280. P. 415–431.
- Gilbert G.K. The topographic features of lake shores // US Geol. Surv. Annual Rep. 1885. № 5. P. 69–123.
- Gobo K., Ghinassi M., Nemeč W. Reciprocal changes in foreset to bottomset facies in a Gilbert-type delta: response to short-term changes in base level // J. Sediment. Res. 2014. V. 84. P. 1079–1095.
- Gobo K., Massimiliano G., Wojciech N. Gilbert-type deltas recording short-term base-level changes: Delta-brink morphodynamics and related foreset facies // Sedimentology. 2015. V. 62. P. 1923–1949.
- Hessami K., Koyi H.A., Talbot C.J., Tabasi H., Shabanian E. Progressive unconformities within an evolving foreland fold-thrust belt Zagros Mountains // J. Geol. Soc. London. 2001. V. 158. P. 969–981.
- Igar A., Nemeč W. Early Miocene lacustrine deposits and sequence stratigraphy of the Ermenek Basin, Central Taurides, Turkey // Sediment. Geol. 2005. V. 173. P. 233–275.

- Işık N.Ya., Saraç G., Ünay E., de Bruijn H.* Palynological analysis of Neogene mammal sites of Turkey – vegetational and climatic implications // *Bull. Earth Sci. Appl. Res. Cent. Hacettepe Univ.* 2011. V. 32. № 2. P. 105–120.
- Issel A.* Catalogo dei molluschi raccolti dalla missione italiana in Persia aggiuntavi la descrizione delle specie nuove o poco note. Torino: Stamperia Reale, 1865. 55 p.
- Jiménez-Moreno G., Popescu S.-M., Ivanov D., Suc J.-P.* Neogene flora, vegetation and climate dynamics in south-eastern Europe and the northeastern Mediterranean // *Deep-Time Perspectives on Climate Change: Marrying the Signal from Computer Models and Biological Proxies*. Eds. Williams M., Haywood A.M., Gregory F.J., Schmidt D.N. *Micropalaeontol. Soc. Spec. Publ. Geol. Soc. London*, 2007. P. 503–516.
- Jiménez-Moreno G., Alçiçek H., Alçiçek M.C., Van den Hoek Ostende L.W., Wesselingh F.P.* Vegetation and climatic cycles during the late Pliocene and early Pleistocene in SW Anatolia, Turkey // *Quat. Res.* 2015. V. 84. P. 448–456.
- Kazancı N.* Fan-delta sequences in the Pleistocene and Holocene Burdur Basin, Turkey: the role of basin-margin configuration in sediment entrapment and differential facies development // *Coarse-Grained Deltas*. Eds. Colella A., Prior D.B. *Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ.* 1990. № 10. P. 185–198.
- Kirschvink J.L.* The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data // *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 1980. V. 62. P. 699–718.
- Lang J., Sievers J., Loewer M., Igel J., Winsemann J.* 3D architecture of cyclic-step and antidune deposits in glacial subaqueous fan and delta settings: integrating outcrop and ground-penetrating radar data // *Sediment. Geol.* 2017. V. 362. P. 83–100.
- Leszczynski S., Nemeč W.* Dynamic stratigraphy of composite peripheral unconformity in a foredeep basin // *Sedimentology*. 2015. V. 62. P. 645–680.
- Naidina O.D., Richards K.* Pollen evidence for Plio-Pleistocene vegetation and climate change in the north Caucasus, north-western Caspian region // *Quat. Int.* 2016. V. 409. P. 50–60.
- Nemeč W.* Aspects of sediment movement on steep delta slopes // *Coarse-Grained deltas*. Eds. Colella A., Prior D.B. *Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ.* 1990. № 10. P. 29–73.
- Okay A.I., Sahintürk O.* Geology of the Eastern Pontides // *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Areas*. Ed. Robinson A.G. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 1997. V. 68. P. 291–311.
- Okazaki H., Isaji S., Kurozumi T.* Sedimentary facies related to supercritical-flow bedforms in foreset slopes of a Gilbert-type delta (middle Pleistocene, central Japan) // *Sediment. Geol.* 2020. V. 399. P. 1–11.
- Rolland Y., Galoyan G., Sosson M., Melkonyan R., Avagyan A.* The Armenian ophiolite: insights for Jurassic back-arc formation, Lower Cretaceous hot spot magmatism, and Upper Cretaceous obduction over the South Armenian Block // *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. Eds. Sosson M., Kaymakci N., Stephenson R.A., Bergerat F., Starostenko V. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 2010. V. 340. P. 353–382.
- Schütt H.* Fossile Mollusken dreier anatischer Ovas // *Archiv für Molluskenkunde*. 1991. V. 120. № 4/6. P. 131–147.
- Schütt H.* Turkish land snails. 4th, revised and enlarged edition. Solingen: Verlag Natur & Wissenschaft, 2005. 559 p.
- Sengör A.M.C., Yılmaz Y.* Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach // *Tectonophysics*. 1981. V. 75. P. 181–241.
- Shatilova I., Mchedlishvili N., Rukhadze L., Kvavadze E.* The History of the Flora and Vegetation of Georgia (South Caucasus). Tbilisi: Georgian National Museum, Institute of Paleobiology, 2011. 200 p.
- Simakova A.N., Tesakov A.S., Çelik H., Frolov P.D., Shalava E.A., Sokolov S.A., Trikhunkov Ya.I., Trifonov V.G., Bachmanov D.M., 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.
- Smith D.G., Jol H.M.* Radar structure of a Gilbert-type delta, Peyto Lake, Banff National Park, Canada // *Sediment. Geol.* 1997. V. 113. P. 195–209.
- Soria J.M., Fernandez J., Garcia F., Viseras C.* Correlative lowstand deltaic and shelf systems in the Guadix Basin (Late Miocene, Betic Cordillera, Spain): the stratigraphic record of forced and normal regressions // *J. Sediment. Res.* 2003. V. 73. P. 912–925.
- Sosson M., Rolland Y., Muëller C., Danelian T., Melkonyan R., Kekelia S., Adamia S., Babazadeh V., Kangarli T., Avagyan A., Galoyan G., Mozar J.* Subductions, obduction and collision in the Lesser Caucasus (Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insights // *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. Eds. Sosson M., Kaymakci N., Stephenson R.A., Bergerat F., Starostenko V. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 2010. V. 340. P. 329–352.
- Ünay E., de Bruijn H.* Plio-Pleistocene rodents and lagomorphs from Anatolia // *Meded. Ned. Inst. Toegepaste Geowetenschappen TNO*. 1998. V. 60. P. 431–466.
- Vellinga A.J., Cartigny M.J.B., Eggenhuisen J.T., Hansen E.W.M.* Morphodynamics and depositional signature of low-aggradation cyclic steps: new insights from a depth-resolved numerical model // *Sedimentology*. 2018. V. 65. P. 540–560.
- Welter-Schultes F.W.* European non-marine molluscs, a guide for species identification. Göttingen: Planet Poster Editions, 2012. P. 1–679.
- Winsemann J., Lang J., Polom U., Loewer M., Igel J., Pollok L., Brandes C.* Ice-marginal forced regressive deltas in glacial lake basins: geomorphology, facies variability and large-scale depositional architecture // *Boreas*. 2018. V. 47. P. 973–1002.
- Yavuz-Işık N., Toprak V.* Palynostratigraphy and vegetation characteristics of Neogene continental deposits interbedded with the Cappadocia ignimbrites (Central Anatolia, Turkey) // *Int. J. Earth Sci.* 2010. V. 99. P. 1887–1897.
- Zakariadze G.S., Bogdanovsky O.G., Jagoulz E., Karpenko S.F., Solov'eva N.V.* REE and Nd and Sr isotope geochemistry of the Upper Triassic–Lower Jurassic tholeiitic ophiolitic complex of the Lesser Caucasus // *Terranes of Serbia*. Eds. Knežević-Đorđević V., Krstić B. *Belgrade: Borex*, 1996. P. 129.

Рецензенты Дж. Алчичек, М.А. Антипов,  
Ю.О. Гаврилов, Г.А. Данукалова

## Late Pliocene Gilbert Type Delta and Early Pleistocene Drainage System Changes in the Erzurum Basin, NE Turkey

H. Çelik<sup>a</sup>, V. G. Trifonov<sup>b</sup>, A. S. Tesakov<sup>b, #</sup>, S. A. Sokolov<sup>b</sup>, P. D. Frolov<sup>b, c</sup>, A. N. Simakova<sup>b</sup>, E. A. Shalaeva<sup>b</sup>, E. V. Belyaeva<sup>d</sup>, A. A. Yakimova<sup>b</sup>, E. A. Zelenin<sup>b</sup>, A. V. Latsyshev<sup>e</sup>, and D. M. Bachmanov<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Firat University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering, Elâzığ, 23119 Turkey*

<sup>b</sup>*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Pyzhevsky, 7, Moscow, 119017 Russia*

<sup>c</sup>*Laboratory of Macroecology and Biogeography of Invertebrates, Saint-Petersburg State University, Universitetskaya, Naberezhnaya 7/9, Saint Petersburg, 199034 Russia*

<sup>d</sup>*Institute of the History of Material Culture, RAS, Dvortsovaya Naberezhnaya, St. 18, Petersburg, 191186 Russia*

<sup>e</sup>*Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Bolshaya Gruzinskaya str., 10, Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: tesak@ginras.ru*

Erzurum intermontane basin in north-eastern Turkey experienced terrigenous and carbonate sedimentation in Mio-Pleistocene. A Gilbert-type delta is described in the west of the basin. The delta deposits are dated to Late Pliocene based on bio- and magnetostratigraphy. The eroded surface of the delta is overlain by pebbles dated to Early Pleistocene by archaeological finds. The Erzurum Basin is the westernmost member in a row of intermontane basins that continues to the east with the Pasinler, Horasan, and Ararat basins that are drained by the Araxes River and its tributaries. It is likely that the paleo-Araxes River spread to the west in Late Pliocene and the studied delta was formed by its upper reaches that flowed into the water body of the Erzurum Basin. The delta deposits were covered by coarse alluvium in Early Pleistocene when the Erzurum Basin was tectonically isolated from the Araxes drainage system. In the latest Early Pleistocene or early Middle Pleistocene, the paleo-Araxes upper reaches were captured by the Euphrates River upper reaches that drain the Erzurum Basin now.

*Keywords:* river delta, small mammals, molluscs, palynology, magneto-stratigraphy, Acheulian, Pliocene, Pleistocene, river capture