

УДК 551

СЕЙСМОГЕННЫЕ СТРУКТУРЫ В ОТЛОЖЕНИЯХ РАЗНОГО ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА И ИХ ПОЛОЖЕНИЕ В РАЗРЕЗАХ МЕЗОЗОЯ–КАЙНОЗОЯ СЕВЕРНОГО КAVKAZA

© 2023 г. Ю. О. Гаврилов^a, *, Ю. Р. Гататдинова^a

^aГеологический институт РАН,
Пыжевский пер., 7, стр. 1, Москва, 119017 Россия

*e-mail: yugavrilov@gmail.com

Поступила в редакцию 12.05.2023 г.

После доработки 25.05.2023 г.

Принята к публикации 29.06.2023 г.

Сравнительный анализ морфологических особенностей горизонтов пород, подвергшихся воздействию палеоземлетрясений, показал, что сейсмитами из литологически разных отложений существенно различаются. Мощные землетрясения определяют не только деструкцию осадочной структуры приповерхностных отложений и их хаотическое перемешивание, но и активно воздействуют на нижележащие слои на глубину до нескольких десятков метров; поскольку с глубиной степень диагенетической литификации пород в разных горизонтах различна, меняется также характер их сейсмогенных изменений. Установлено, что крупные сейсмические события были приурочены к временным интервалам тектонической и палеогеографической перестройки бассейнов седиментации, заключавшейся в интенсификации процесса прогибания ложа водоема, изменении вещественного состава накапливавшихся в палеобассейне осадков. Особый тип сейсмитов формировался при воздействии землетрясений на кремнистые отложения, в которых активно протекали процессы диагенетического перераспределения аутигенного минерального вещества, проходившего в диагенезе стадию геля.

Ключевые слова: палеоземлетрясения, сейсмические события, сейсмитами, палеобассейны, литификация, диагенез, перераспределение аутигенного вещества, прогибание дна бассейна.

DOI: 10.31857/S0024497X23700271, EDN: RRRQCW

Литологические признаки палеоземлетрясений в осадочных толщах, накопившихся в областях мобильных поясов, встречаются довольно часто. Вопросам их строения и образования посвящена обширная литература [Верзилин, 1963, 1979; Гарецкий, 1956; Гладков, Лунина, 2010; Деев и др., 2009; Палеосейсмология, 2011; Шрок, 1950; Ancient Seismites, 2002; Lunina, Gladkov, 2016; Montenat et al., 2007; Seilacher, 1969, 1984; Sims, 1973, 1975; Wang et al., 2016 и др.]. Следы древних землетрясений в осадочных толщах Большого Кавказа отмечались на разных стратиграфических уровнях многими исследователями [Вассоевич, Коротков, 1935; Гаврилов, 1977; Герасимов, 1928; Тихомиров, Хаин, 1947; Холодов, Гаврилов, 1977; Хромовских и др., 1979 и др.], комплексный анализ проявления сейсмичности в новейшее время и природных результатов землетрясений для Северного Кавказа был выполнен Е.А. Рогожиным с соавторами [Рогожин и др., 2014]. Следы древних землетрясений А. Зейлахер предложил называть “сейсмитами” [Seilacher, 1969]; этот термин в нашей статье используется в отношении

различных вторичных (постседиментационных) сейсмогенных образований.

Сложность распознавания горизонтов сейсмитов заключается в том, что в отложениях различного литологического состава они морфологически выражены по-разному. Ранее нами были рассмотрены сейсмитами в терригенных песчано-глинистых отложениях Северо-Восточного Кавказа, которые были сформированы в результате развития процессов разжижения и флюидизации осадочных толщ (слоев) под воздействием сейсмических волн и вибраций [Гаврилов, 2017]. Результатом этих процессов было образование нептунических даек, силлов, инъекций различной морфологии, формирование субвертикальных конкреционных карбонатных образований и др. Такое объяснение возникновения сейсмитов является вполне удовлетворительным для терригенных (силико-кластических) отложений, а точнее — для толщ переслаивания песчаных и глинистых пород.

В древних толщах силицитов, карбонатных и карбонатно-глинистых отложениях, следы сей-

смических событий отображались существенно иначе. Ярким примером формирования сейсмиков в толще переслаивания пластов известняков и глинисто-мергелистых пород являются отложения среднего сеномана и келловая Северо-Восточного Кавказа.

СЕЙСМИТЫ В ГЛИНИСТО-КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Сейсмичность в отложениях сеномана. Положение горизонта сейсмиков в толще сеномана разреза “Аймаки” (Дагестан) показано на рис. 1а, общий вид горизонта — на рис. 1б, 1в. Следует отметить, что этот горизонт развит на значительной площади и отчетливо выражен на всей территории Дагестана.

Главным признаком (индикатором) палеоземлетрясений в толщах переслаивания пластов известняков и глинистых пород (глинистых мергелей) является дезинтеграция, фрагментация, карбонатных слоев (см. рис. 1г–1л). Однако степень и характер дезинтеграции пластов разной мощности существенно различен. Пласты толщиной в несколько дециметров как правило разбиваются системой субвертикальных трещин на отдельные блоки длиной в несколько дм — обычно 2–3 дм. Причем трещины часто бывают заполнены материалом из смежных глинистых слоев (см. рис. 1д–1ж, 1и).

Карбонатные пласты мощностью не более 10–15 см в результате сейсмоударов разбиваются на относительно изометричные фрагменты пласта, длина которых сопоставима с их толщиной (см. рис. 1к, 1л). Однако, морфология фрагментов пластов обусловлена не только их дроблением. На интервалах частого переслаивания маломощных пластов обычно наблюдаются признаки межпластового проскальзывания слоев вдоль их наиболее глинистых разностей, что сопровождается гомогенизацией этих пород, часто с потерей ими первичной седиментационной слоистости. Такое проскальзывание приводило к “стачиванию” острых краев у фрагментов дезинтегрированного пласта, в результате чего они приобретали более сглаженные очертания. Этому способствовало то обстоятельство, что сейсмичность возникала в отложениях не в полной мере литифицированных, а потому фрагменты карбонатных пластов сравнительно легко подвергались механическому на них воздействию и приобретали новую — иногда овальную форму. Нередко такие фрагменты пластов ошибочно принимают за конкреционные диагенетические образования. Однако не исключено, что в глинистых отложениях остаточные иловые воды и содержащиеся в них бикарбонаты Са могли быть источником карбонатного материала, который осаждался на обломках пластов и надстраивал их, хотя и в незначительной степени.

Некоторые карбонатные пласты, имевшие первоначально слоистую структуру и содержавшие тонкие глинистые прослои, в результате сейсмического воздействия приобретали облик брекчиевидной породы (см. рис. 1м).

Еще одним свидетельством палеосейсмических событий в середине сеномана следует рассматривать появление в этих отложениях “слепых” взбросов (см. рис. 1н). Поскольку их образование происходило в отложениях, которые к моменту палеосейсмического события сохраняли пластические свойства, это обусловило отсутствие отчетливых хрупких деформаций в породах, нарушенных взбросом. Такие структуры являются достаточно типичными для горизонтов сейсмиков [Палеосейсмология, 2011].

Мощность горизонта сеноманских сейсмиков достаточно велика — не менее 8–10 м. Ниже уровня отложений с явными следами сейсмического воздействия на них, залегают слои, в которых вниз по разрезу признаки сейсмического влияния затухают и, наконец, вовсе исчезают.

В пределах горизонта сейсмиков наблюдается несколько уровней с максимальной степенью деструкции отложений, что, однако, не означает ответственности этих уровней сейсмическим событиям. Объясняется такая картина их распределения в разрезе следующими причинами. Для осадочной структуры сеноманских отложений характерна отчетливо выраженная цикличность. Циклиты, мощность которых — первые метры, состоят, как правило, из трех частей: 1) в основании залегает глинистый (глинисто-мергельный) слой толщиной в несколько дециметров, который ложится на известняки предыдущего циклита по резкой границе, 2) интервал частого переслаивания (до 1–1.5 м, редко больше) относительно тонких карбонатных (до 0.1 м) и глинистых прослоев, 3) верхняя часть циклита также представлена пачкой переслаивания, но толщина карбонатных пластов увеличивается до 0.2–0.3 м. Поскольку наиболее восприимчивыми к воздействию сейсмических ударов и деструкции первичной осадочной структуры являются интервалы частого переслаивания тонких карбонатных и глинистых слоев (2), именно они в разрезах являются наиболее выразительными свидетелями палеосейсмических событий.

В разрезе среднего сеномана литологические характеристики отложений закономерно периодически менялись, а соответственно менялись признаки сейсмического влияния на отложения. В связи с этим довольно трудно оценить — было ли это одноактное мощное землетрясение, соответствующее самому верхнему уровню сейсмиков, или горизонт сейсмиков возник в результате серии нескольких сейсмических толчков, что, по нашему мнению, является наиболее вероятным сценарием развития сейсмического события.

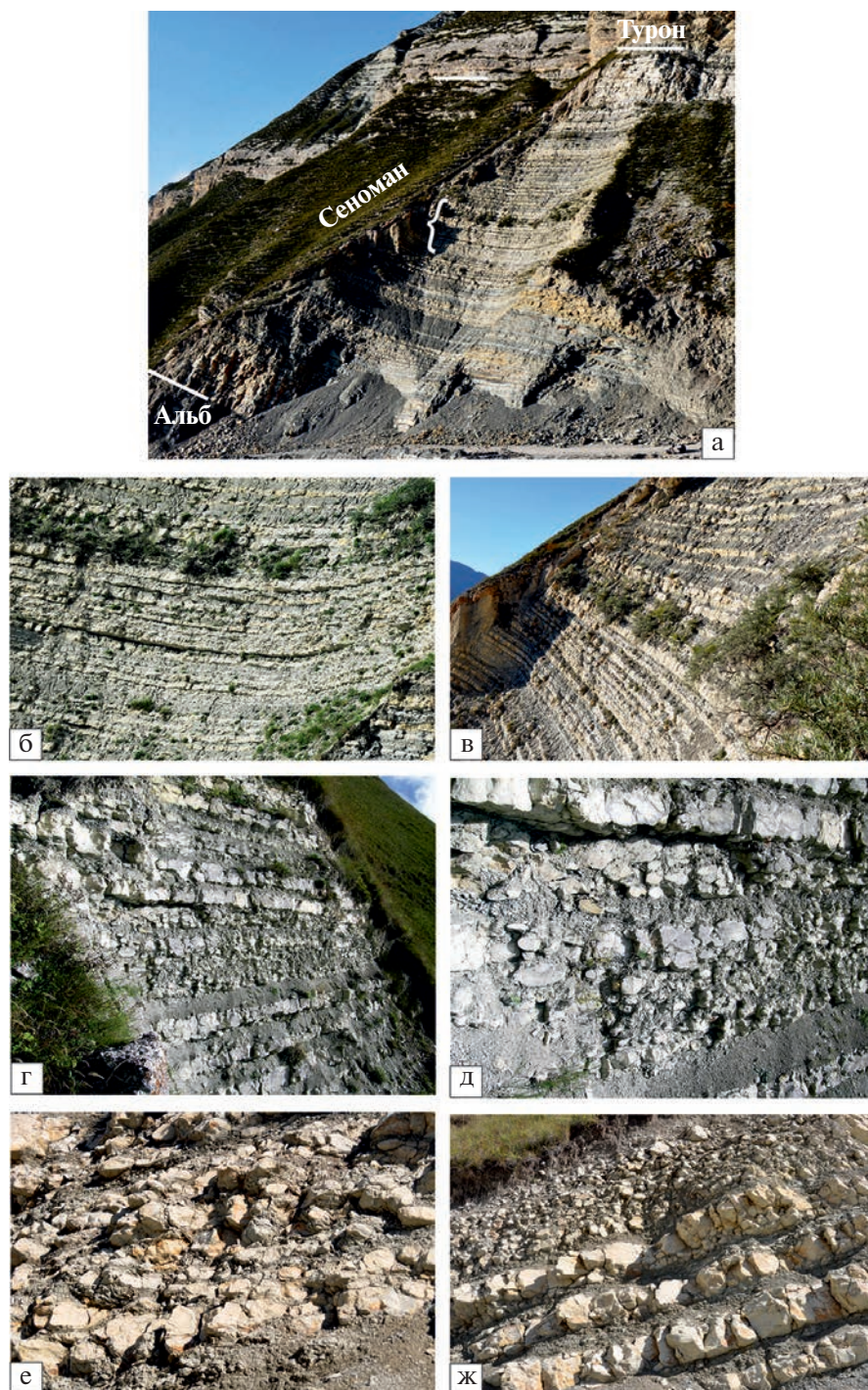


Рис. 1. Разрез сеноманских отложений в районе с. Аймаки (Горный Дагестан).

а — общий вид сеноманской толщи; фигурной скобкой отмечен интервал разреза с сейсмитами; б — отложения средней части сеноманской толщи с многочисленными следами воздействия на них древних землетрясений; в — контакт горизонта сейсмита с залегающими выше литологически иными отложениями; в толще сейсмита хорошо видны два темных пласта — бентониты; г—ж — отложения, деструктурированные в результате сейсмического воздействия; на фото “д” и “ж” хорошо видно, что интервалы частого тонкого переслаивания карбонатных и глинистых пород в наибольшей степени подвержены дроблению; з—л — примеры сейсмита из разных частей среднесеноманской толщи; м — пласт известняка интенсивно брекчированный, его первоначальная слоистая структура почти полностью утеряна; н — “слепой” взброс в горизонте сеноманских сейсмита.

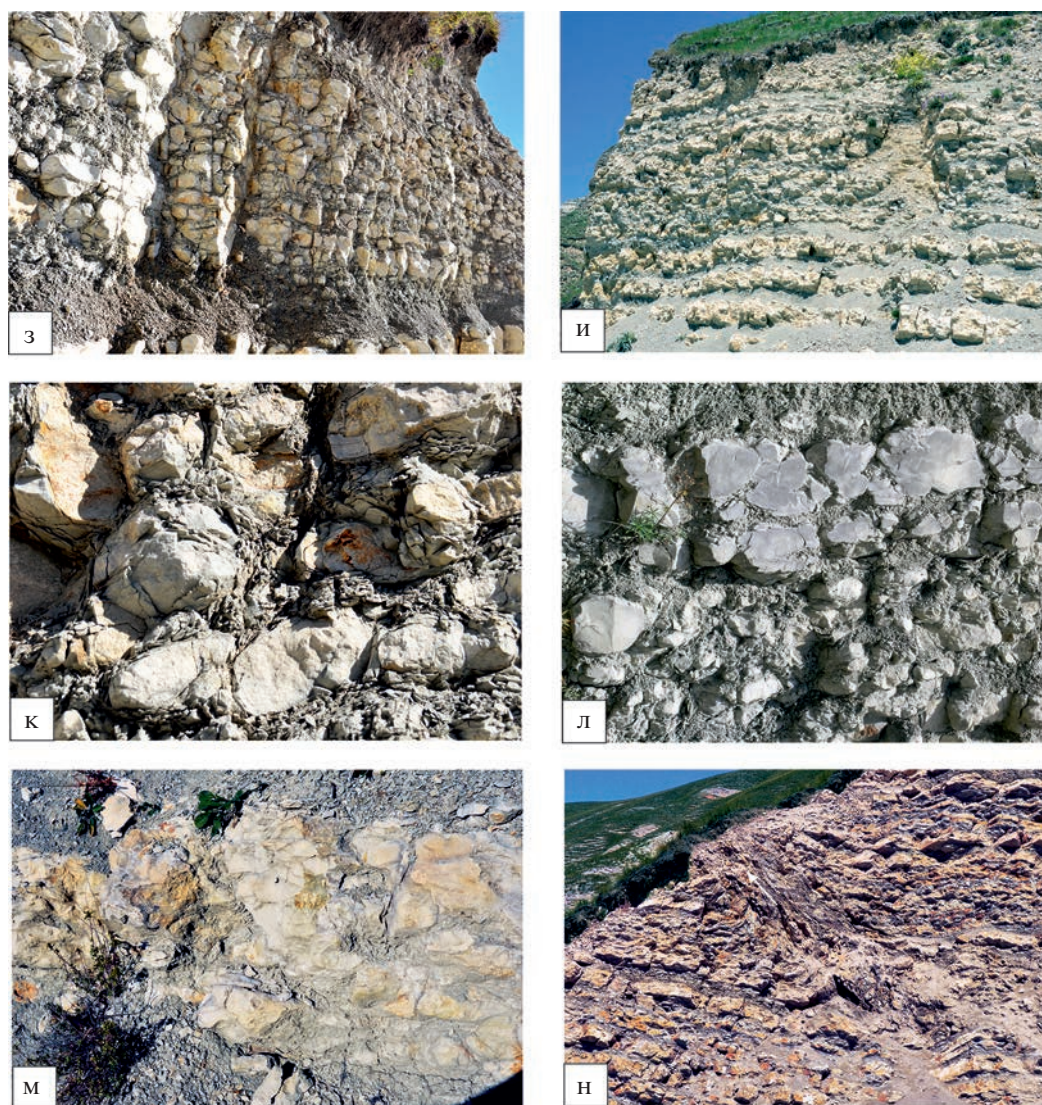


Рис. 1. Окончание

Особый интерес представляет положение горизонта сейсмита в разрезе сеномана и его приуроченность к отложениям, обогащенным карбонатным материалом. Анализ структуры сеноманской толщи показывает, что наибольшая карбонатность отложений разреза присуща самой нижней его пачке, средней части сеномана и его самой верхней части (см. рис. 1а). Общий ход накопления сеноманских осадков в самых общих чертах можно представить следующим образом. После перерыва в седиментации на границе альба и сеномана осадконакопление возобновилось — в относительно мелководных условиях накапливались преимущественно карбонатные осадки. В дальнейшем — по мере развития трансгрессии, в результате которой сократилась зона генерации мелководного карбоната, в осадках существенно увеличилась доля глинистого материала. Наиболее

вероятной причиной развития трансгрессии было постепенное прогибание ложа бассейна осадконакопления. Замедление прогибания или даже его прекращение привело к заполнению осадками объема этой части морского бассейна и изменению обстановок седиментации опять на мелководные и формированию в среднем сеномане преимущественно карбонатных осадков, в которых наблюдаются описываемые нами сейсмита. Важно отметить, что — как видно из рис. 1а — над горизонтом сейсмита залегает толща переслаивания пластов белых известняков и темно-серых глинистых мергелей, в которой существенно возрастает доля глинистого материала. Причем эти изменения происходят по резкой границе. Эти литологические изменения очевидно связаны с очередным импульсом развития трансгрессии, обусловленной резкой активизацией прогибания

дна бассейна. Таким образом, можно заключить, что среднесеноманское сейсмическое событие (или серия событий) разграничивает два этапа осадконакопления, характеризующих разные режимы развития палеобассейна.

Важно отметить, что в разрезе “Аймаки” к верхней части сеноманского интервала развития сейсмиков приурочено не менее 2-х пластов бен-тонитов (толщина 20–25 см), выделяющихся тем-ной окраской на фоне в целом светлой толщи переслаивания (см. рис. 1б, 1в). Пепловый материал поступал сюда, видимо, из Закавказья, где в это время были проявления вулканизма. Ассоциация пеплов и сейсмиков, очевидно, не была случай-ной — она свидетельствует об активизации в это время в регионе Восточного Кавказа тектониче-ских процессов, сопровождавшихся эксплозив-ным вулканизмом.

Сеноманское палеосейсмическое событие не было локальным — оно проявилось на значитель-ной территории всего Дагестана. На рис. 2 пока-зан горизонт с сейсмитами в разрезе “Акуша”, расположенный в 40 км от рассмотренного разре-за “Аймаки”. Как видим, в разрезе среднесено-манской толщи переслаивания глинистых и кар-бонатных прослоев также присутствуют горизон-ты сейсмиков, которые по своей структуре схожи с описанными выше. На фотографиях видно, что отложения разбиты многочисленными субверти-кальными трещинами (см. рис. 2б, 2в), карбонат-ные прослои в значительной степени дезинтегри-рованы. В других обнажениях этого разреза на-ми отмечались также малоамплитудные “слепые взбросы”.

В разрезе “Акуша” верхняя граница среднесе-номанского интервала переслаивания карбонат-ных и глинистых пород также знаменует собой резкое изменение режима седиментации в па-леобассейне — выше нее залегает гораздо более глинистая толща.

Келловейские сейсмичности. Еще одним страти-графическим уровнем, в отложениях которого наблюдаются сейсмичности, схожие с сеноманскими, является келловей. Сейсмичности встречены в разре-зах келловей на значительной территории Даге-стана. Многие геологи отмечали присутствие конкрецииподобных образований в келловей-ской толще [Леонов, Логинова, 1956; Логинова, 1975; Темирбекова, Баркуева, 2015 и др.]. Нами эти отложения (их мощность ~21 м) изучены в обнажениях правобережья р. Казикумухское Койсу в районе с. Цудахар (рис. 3а). Здесь обна-жаются отложения армхинской свиты (нижний келловей—нижняя часть верхнего келловей). Снизу келловейская толща по резкой эрозионной границе налегает на батские песчано-глинистые алевролиты, а сверху — также по резкой границе контактируют с известняками верхней юры; в

разрезе отсутствуют отложения верхнего келло-вея и нижнего оксфорда [Черкашин и др., 2015]. Келловейские отложения характеризуют собой переходный этап в геологическом развитии реги-она — от накопления многокилометровых терри-генных толщ нижней и средней юры к мощному карбонатному комплексу верхней юры. В отложе-ниях этого переходного интервала зафиксирова-ны следы палеоземлетрясений.

Келловейская толща в этом разрезе сложена глинистыми алевролитами, причем содержание в породах глинистого материала заметно меняется по разрезу. В этих отложениях залегают пласты карбонатных пород: встречаются как единичные пласты (преимущественно в низах разреза), так и пачки частого чередования маломощных просло-ев карбонатных и глинистых пород. Почти для всего разреза характерно дробление карбонатных прослоев трещинами, их фрагментация и своего рода “будинирование”, в результате чего они иногда приобретают облик слоев в виде цепочек псевдоконкреционных тел (см. рис. 3б–3д). На некоторых интервалах наблюдается сгущение сейсмогенных трещинок и дробление карбонат-ных прослоев на относительно мелкие фрагмен-ты (см. рис. 3г). Несмотря на общую слоистую структуру келловейской толщи, в слоях глини-стых пород первичная тонкая седиментационная слоистость почти не прослеживается, что объяс-няется перемешиванием пластичных осадков во время сдвигового перемещения слоев относи-тельно друг друга под воздействием горизонталь-ной составляющей сейсмических волн. В резуль-тате многократных проявлений этих процессов фрагменты карбонатных пластов — даже относи-тельно большой толщины (несколько децимет-ров) — существенно обтачивались, “окатыва-лись”, образуя овальные без острых углов тела (см. рис. 3е).

Как видим, келловейский этап в развитии па-леобассейна Восточного Кавказа, будучи пере-ходным от одного тектоно-седиментационного режима его развития к существенно иному, ха-рактеризовался повышенной активностью пале-осейсмичности. Для выяснения — характерна ли эта закономерность для других — более западных районов Северного Кавказа — требуются допол-нительные исследования.

ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ДРУГИХ ПЕРЕХОДНЫХ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ УРОВНЯХ

Сейсмичности на границе юры и мела. Несомнен-ный интерес представляет характер проявления палеосейсмического события вблизи границы юры и мела в разрезе “Аймаки” (рис. 4). Здесь, в известняковом горизонте, залегающем в кровле верхнеюрской толщи, наблюдаются признаки

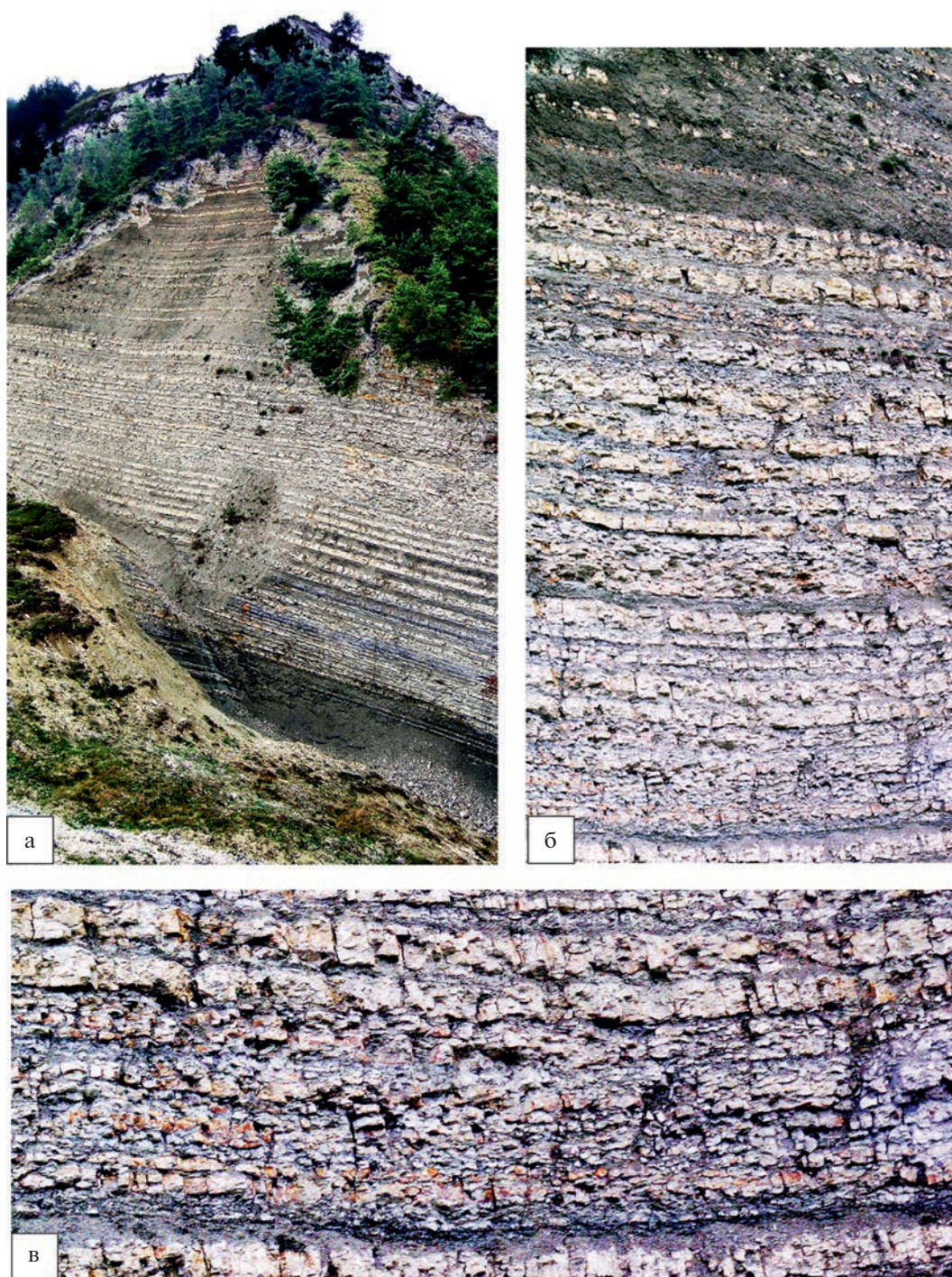


Рис. 2. Разрез сеноманских отложений с сейсмитами в районе с. Акуша (Горный Дагестан).

а — общий вид горизонта с сейсмитами; б — резкий контакт горизонта с сейсмитами с залегающей выше гораздо более глинистой толщей; в — осадочный циклит (глинистый слой в основании и относительно мощные карбонатные пласты в кровле), испытавший воздействие сейсмических ударов — слои рассечены многочисленными трещинами и разлинзованы.

воздействия на него сейсмического удара (или серии ударов). Как видно из рис. 4а отложения осадочного комплекса верхней юры и мела в целом имеют отчетливо выраженную слоистую структуру.

Однако, в терминальном J/K горизонте наблюдается существенное изменение его структуры. На достаточно значительной его протяженности (в пределах наблюдаемой части разреза — многие

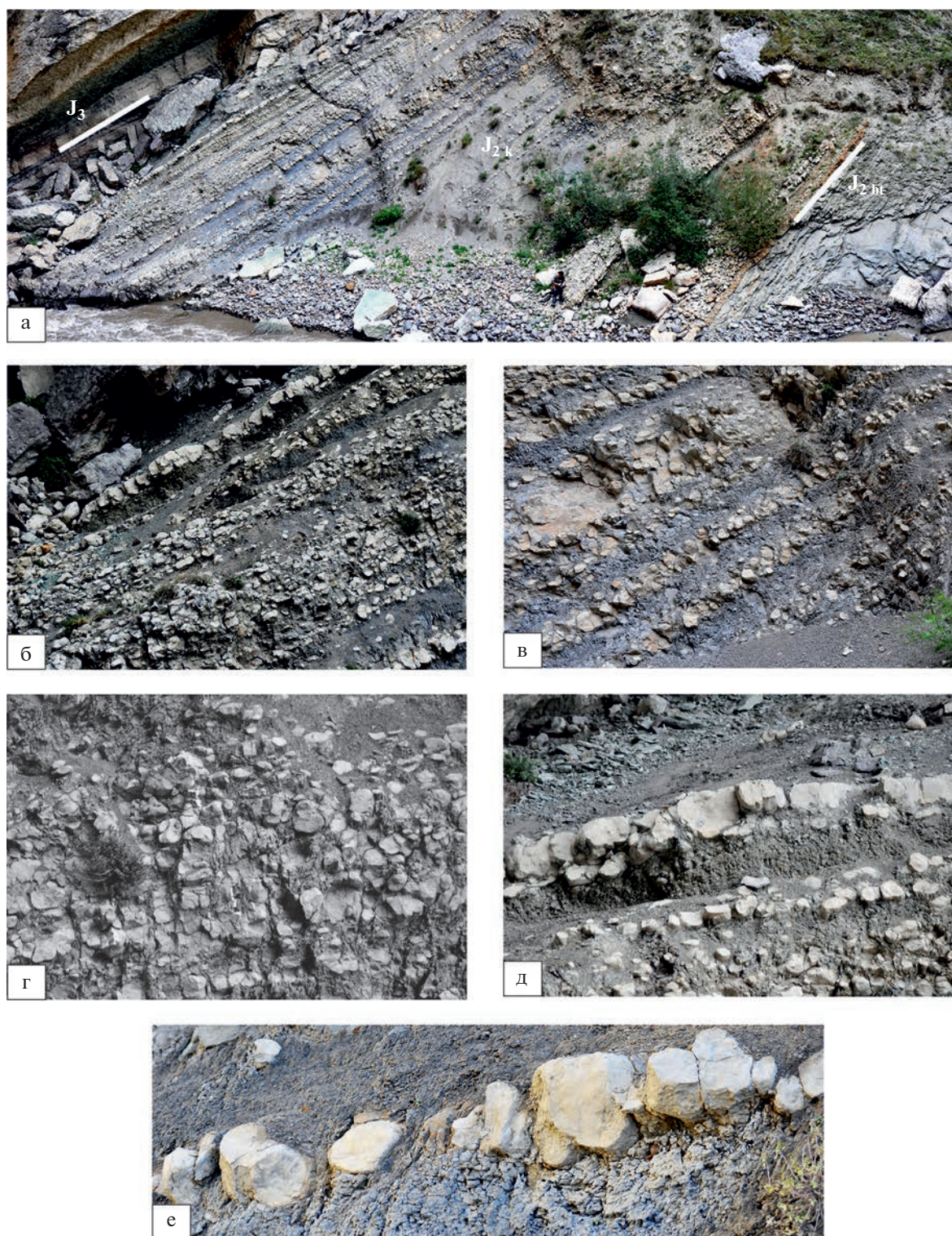


Рис. 3. Разрез келловейских отложений на правом берегу р. Кара-Койсу в районе с. Цудахар.

а — общий вид разреза келловейских отложений; показаны контакты с подстилающей толщей глинистых алевролитов бата (на фото справа) и с залегающей выше толщей известняков верхней юры (на фото слева); б—д — многочисленные деструктурированные отложения частого переслаивания карбонатных и глинистых пород из верхней части келловейской толщи; в глинистых породах отсутствуют следы седиментационной слоистости, которая исчезла вследствие перемешивания, перетирания пород во время землетрясений, вызывавших межслоевые сдвиги; е — раздробленный землетрясениями пласт известняка из нижней части толщи; отсутствие острых углов у фрагментов пласта — следствие их неоднократного “окатывания” в результате межслоевых движений пород при сейсмических ударах.

сотни метров) в отличие от залегающих ниже и выше отложений — горизонтальная слоистость в нем визуально не прослеживается. Это объясняется тем, что она маскируется возникшей вследствие сейсмического воздействия на породы вертикальной трещиноватостью, вдоль которой происходит раскалывание пласта (см. рис. 4а, 4б). Вместе с тем, местами на свежих сколах пород можно обнаружить реликты первоначальной седиментационной слоистости. На границе с подстилающим пластом прослеживается маломощный (0.2–0.4 м) интервал отложений со следами разлинзования слоев, возникшего в результате возвратно-поступательного перемещения вышележащего горизонта.

Следует отметить, что по простиранию этого карбонатного горизонта в нем наблюдаются определенные изменения структуры: зона развития трещиноватости сменяется интервалом длиной в несколько десятков метров, в котором прослеживается надвигание слоев друг на друга, а далее в нем начинает проявляться седиментационная слоистость, хотя и не очень отчетливо выраженная (см. рис. 4д, 4е).

Весьма характерным элементом разреза, ассоциирующим с рассматриваемым горизонтом, является подстилающий его пласт “бесструктурных” гомогенизированных пород, в которых следы седиментационной слоистости прослеживаются с трудом (см. рис. 4б–4г). Образование этого гомогенизированного пласта связано с латеральным перемещением карбонатного горизонта вследствие воздействия на него сейсмических ударов, при котором подстилающие его слаболитифицированные отложения деструктуризировались, перетирались, теряли свой первоначальный слоистый облик. Сходные по своей сути горизонты гомогенизации ранее были нами установлены под крупными песчаными пластинами, перемещение которых вниз по склону авандельты юрской палеореки происходило под действием гравитационных сил, а инициировалось их перемещение сейсмическими ударами [Гаврилов, 1990, 2005].

Важно подчеркнуть, что крупное палеосейсмическое событие на границе юры и мела разграничивает два этапа в развитии карбонатной платформы [Гаврилов, 2018]: 1-й позднеюрский (хундемеэрская свита [Снежко и др., 2011]) — преимущественно карбонатное осадконакопление, сопровождавшееся образованием глинисто-гипсоносной толщи, 2-й — берриас-валанжинский (кулимеэрская свита) — образование нескольких крупных (мощность — многие десятки метров) осадочных циклитов, начинавшихся с накопления в основном глинистых осадков и завершавшихся накоплением карбонатных отложений.

Сейсмическая активность на завершающем этапе развития карбонатной платформы. Еще од-

ним стратиграфическим уровнем, на котором формировались сейсмогенные дислокации, является интервал карбонатных отложений, расположенный вблизи кровли осадочного комплекса карбонатной платформы (т.е. вблизи кровли валанжинской толщи — турклитауская свита). В гортериве характер седиментации резко меняется: накопление карбонатных осадков заканчивается и начинают накапливаться песчаные и алевроитовые отложения.

На рис. 5а показана верхняя часть толщи карбонатных отложений, в которой зафиксированы следы достаточно мощного сейсмического палеособытия. Причем в пластах, в разной степени литифицированных во время этого события, характер сейсмодислокаций заметно различается. Здесь распознаются следующие горизонты отложений с индивидуальным типом структур (сверху вниз, см. рис. 5а, 5б).

I. Верхний горизонт отложений характеризуется наиболее интенсивными, морфологически преимущественно хаотическими дислокациями и нарушениями первичной слоистой структуры пород. Наиболее вероятным является соответствие этого горизонта основному сейсмическому событию. Поскольку этот интервал отложений был первоначально представлен двумя разными по литологическим характеристикам пачками отложений, характер дислокаций в его нижней и верхней частях несколько различается.

II. Ниже залегает горизонт гомогенизированных пород, в максимальной степени лишившихся проявления первичной седиментационной слоистости. Литификация отложений была, видимо, очень слабой, а насыщенность отложений иловыми водами — высокой. Он является аналогом горизонта гомогенизации, описанного выше при обсуждении сейсмического события на границе юры и мела.

III. Породы этого горизонта к моменту землетрясения уже были отчасти литифицированы, что позволило им в целом сохранить горизонтальную слоистую структуру. Однако, имевшие место во время сейсмических ударов возвратно-поступательные перемещения пластов друг относительно друга в латеральном направлении обусловили разлинзование пластов, и их взаимное надвигание и пододвигание линзовидных фрагментов пластов. В результате этого сформировалась отчетливо выраженная надвиговая структура горизонта III (см. рис. 5б).

IV. Горизонт карбонатных пород с отчетливо выраженной субвертикальной трещиноватостью (2–2.5 м); в нем наблюдается также горизонтальная полосчатость, обусловленная следами реликтовой седиментационной слоистости. Трещиноватость образовалась в относительно слаболитифицированных отложениях под воздействием

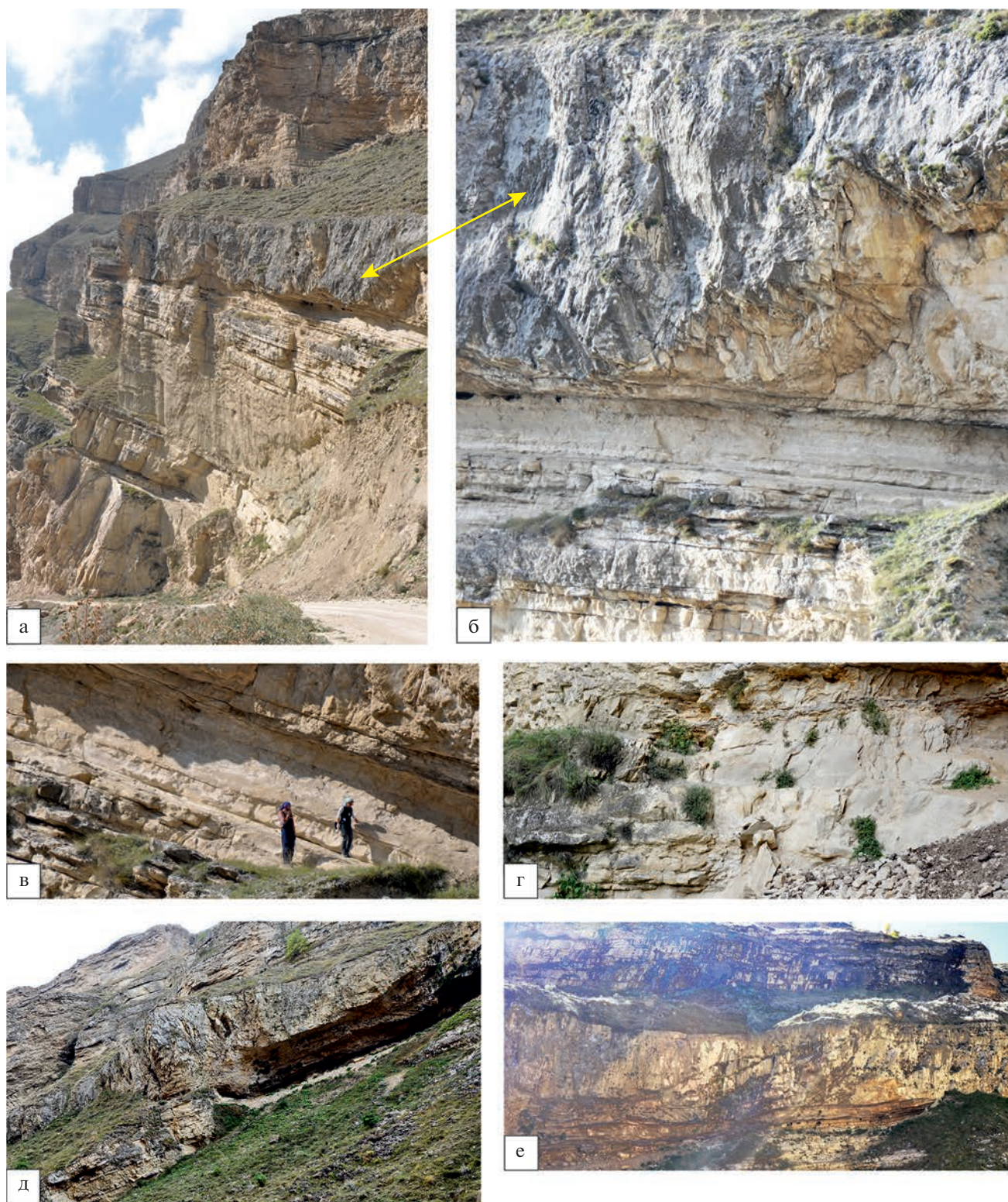


Рис. 4. Пограничные верхнеюрские и меловые отложения вдоль дороги Гергебиль—Аймаки (Горный Дагестан). а — общий вид разреза пограничных отложений; стрелкой отмечен последний в разрезе юрской толщи карбонатный горизонт; б — строение пограничной юрской толщи: в карбонатном горизонте не прослеживается седиментационная слоистость, но хорошо выражена вертикальная трещиноватость; под этим горизонтом залегает слой гомогенизированных пород, образованных в результате перетирания пород при подвижках карбонатного пласта во время землетрясения; в, г — строение пласта гомогенизированных пород; д, е — карбонатный горизонт в зоне развития в нем надвиговых структур.

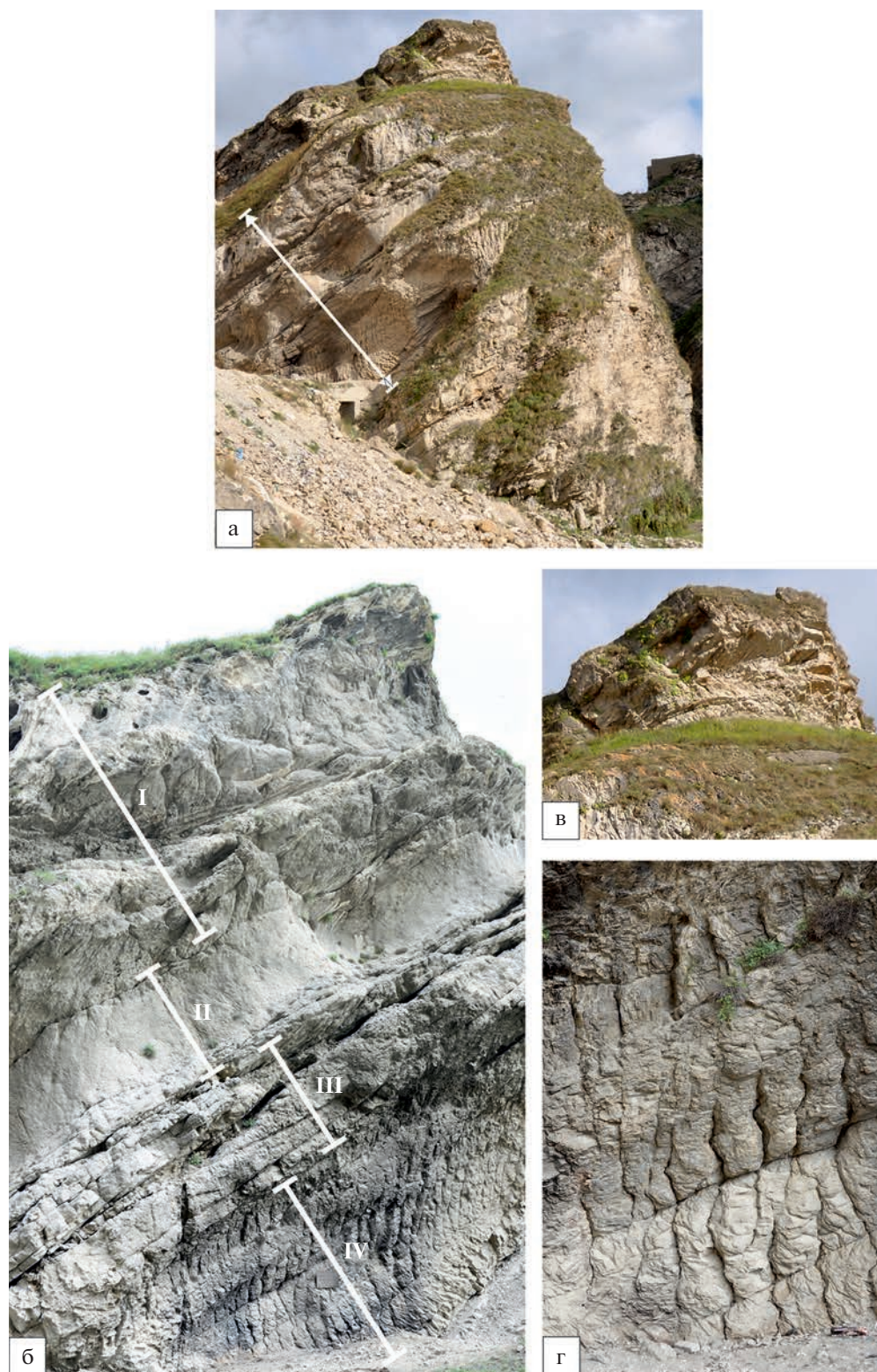


Рис. 5. Фрагмент верхней части разреза валанжинских отложений, венчающих осадочный комплекс карбонатной платформы [Гаврилов, 2018].

а — общий вид верхней части разреза валанжинских отложений; риской обозначен интервал отложений со следами воздействия на них сейсмического события; б — строение интервала отложений, испытавших воздействие сейсмических ударов, I–IV — горизонты с различным характером отражения в своей структуре сейсмического воздействия (пояснения в тексте); в — последний в разрезе валанжина осадочный цикл, в котором также запечатлены признаки сейсмического события; г — строение горизонта IV с сейсмогенной субвертикальной трещиноватостью и слабовыраженными следами первичной седиментационной слоистости.

боковых нагрузок, возникших в результате сейсмического события, сопровождавшегося латеральным перемещением вышележащей толщи пород (горизонты I–III).

В более низких горизонтах разреза (ниже горизонта IV) следы сейсмического воздействия на породы выражены слабо или исчезают вовсе.

Нам представляется, что все особенности строения осадочных пород в горизонтах I–IV были результатом одного мощного сейсмического события (или серии сближенных во времени событий), а различия в строении этих горизонтов были обусловлены как разницей в первичном составе осадочных пород, так и отличиями в степени их литификации.

Над описанной верхней частью разреза карбонатной платформы — в самой кровле осадочной толщи валанжина залегает относительно мало-мощный циклит, в верхней карбонатной части которого также наблюдаются интенсивные сейсмогенные дислокации отложений и исчезновение их первоначальной седиментационной слоистости (см. рис. 5в). Эти дислокации возникли в результате следующего импульса землетрясений, но вместе с предыдущим импульсом они характеризуют единый период усиления сейсмической активности, приуроченный к завершающей стадии позднеюрско-валанжинского этапа развития палеобассейна и переходу к новому этапу, начавшемуся с резкой смены типа седиментации в го-териве — с преимущественно карбонатной на терригенную.

В некоторых разрезах кайнозоя Дагестана отмечены существенные сейсмогенные деформации осадочной толщи, накопившейся на завершающей стадии развития майкопского палеобассейна. В мощной (около 1 км) песчано-глинистой майкопской толще нередко встречаются горизонты отложений со следами палеоземлетрясений, которые по относительно небольшой мощности слоев с сейсмитами (первые метры) можно оценивать, как одноактные и умеренной мощности. Однако, в самой верхней части этого осадочного комплекса — вблизи от границы с тархан-чокракской толщей — наблюдается мощный — более 10 м — интервал отложений, которые в высокой степени деструктурированы сейсмическими ударами (зона Буйнакского перевала в районе г. Махачкала). В дальнейшем — на протяжении среднего миоцена — эта область также характеризовалась повышенной сейсмичностью [Гаврилов, 2017], но вблизи границы двух различных осадочных комплексов интенсивность сейсмичности была видимо особенно высока.

Проявления сейсмиков в кремнистых отложениях. В пределах Горного Дагестана в районе Урминского плато развита кремнистая толща (нижний эоцен) [Щербинина и др., 2014], мощность

оценивается в 50 м. Фрагмент верхней части толщи показан на рис. 6а. Литологически толща представляет собой преимущественно переслаивание кремнистых известняков и мергелей, кремнистых и алевроитовых или глинисто-алевритовых слоев (см. рис. 6б). Образование осадков происходило в морском заливе, окруженном поднятиями, сложенными известняками и глинистыми мергелями мела и раннего палеогена. В кремнистой толще встречаются интервалы отложений, в которых — по нашему мнению — запечатлены следы сейсмических событий. Однако, характер этих следов существенно отличается от рассмотренных выше, что обусловлено присутствием в составе отложений большого количества биогенного кремнезема. Последний образует как собственно кремнистые слои, так и входит в виде значительного количества примеси в состав карбонатных прослоев.

Нередко в процессе диагенеза кремнистых осадков — по мере растворения кремневых раковин организмов происходит постепенное перераспределение возникающего геля SiO_2 и образование линзовидных тел или слоев кремния с линзовидными утолщениями. Поскольку этот процесс занимает сравнительно длительный промежуток времени, — одна часть гелевой массы уже стянулась в линзовидные тела и гель в них начал стареть, другая же продолжала процесс перераспределения вещества. Таким образом, часть геля становилась немиграционноспособной, тогда как другая часть продолжала находиться в подвижном состоянии. Такой режим постепенного перераспределения вещества в диагенезе мог быть нарушен в результате воздействия на отложения сейсмического события. При этом, вследствие тиксотропных свойств геля, в результате сейсмических ударов происходило разжижение всей гелевой массы и осадок оказывался пересыщенным жидкой гелевой субстанцией, которая вновь приобретала способность активно перераспределяться в осадках. Поскольку первоначальная седиментационная структура отложений этого интервала была отчасти нарушена сейсмическими ударами — появилась трещиноватость различной морфологии, межслоевые сдвиги и т.д. — перераспределение гелевой массы утратило ранее доминировавшее горизонтальное направление ее миграции и стало довольно хаотичным — вверх, вниз, вбок. В результате этого процесса сформировались кремневые стяжения сложной морфологии. Местами различные стяжения соединялись, объединялись, образуя тела причудливой конфигурации (см. рис. 6в–6д). Поскольку крупное сейсмическое событие, как правило, состоит из серии сейсмических ударов, каждый последующий удар мог усложнять картину диагенетического перераспределения вещества. В итоге сформировалась пачка отложений, которая выглядит

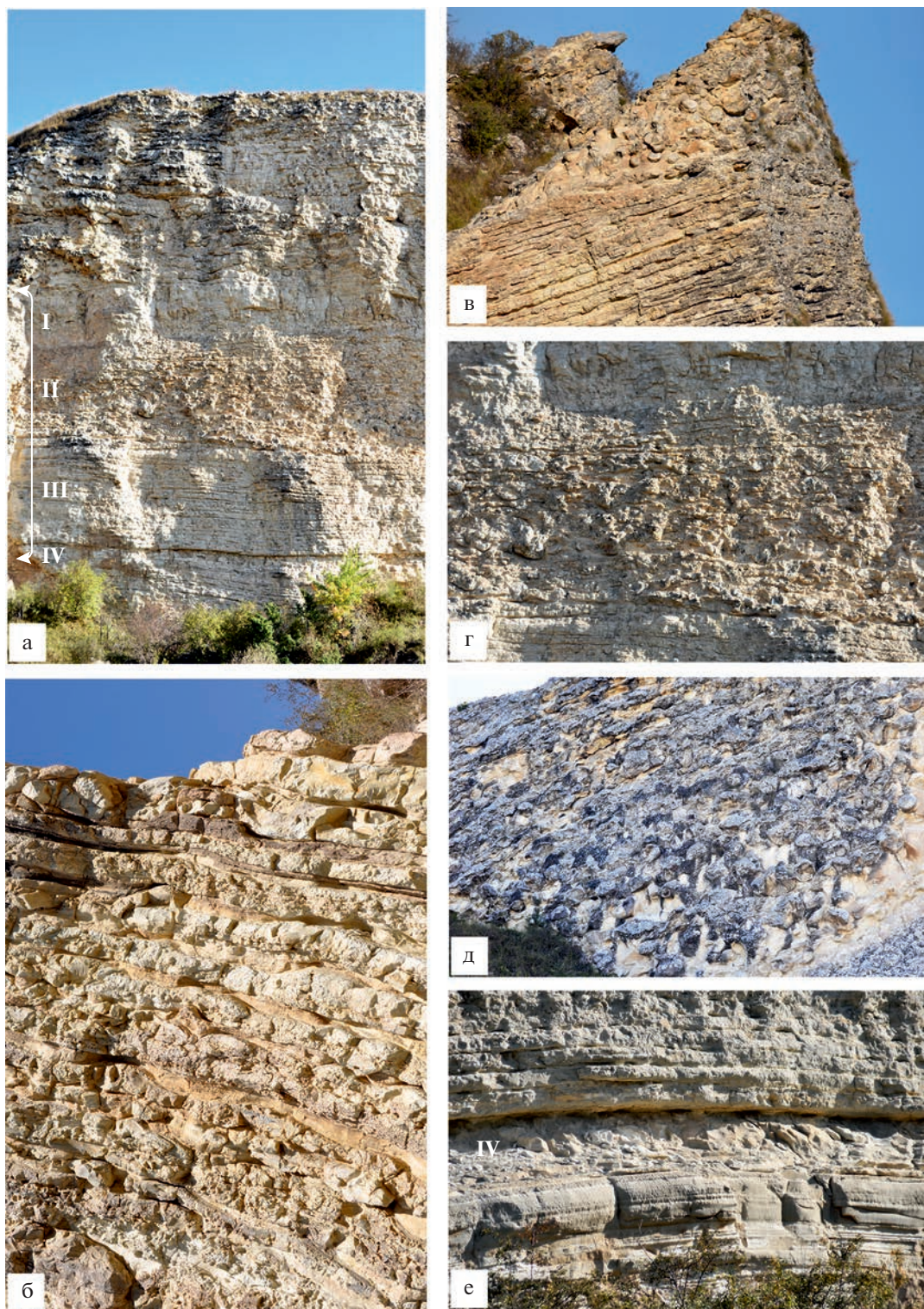


Рис. 6. Сейсмиды в кремнистой толще.

а — общий вид верхней части кремнистой толщи с горизонтом отложений, испытавших воздействие на них сейсмического события; риской обозначен интервал отложений с предполагаемыми следами палеоземлетрясения (пояснения к обозначениям I — IV в тексте); б — переслаивание слоев кремнистых известняков и глинисто-алевритовых пород; в некоторых слоях отмечаются следы диагенетического перераспределения вещества (появление линзовидного облика слоев); в, г, д — породы с интенсивным диагенетическим перераспределением кремневого вещества, спровоцированного сейсмическими ударами; е — горизонт гомогенизированных отложений (IV), аналогичный горизонтам с такой же структурой, описанным выше.

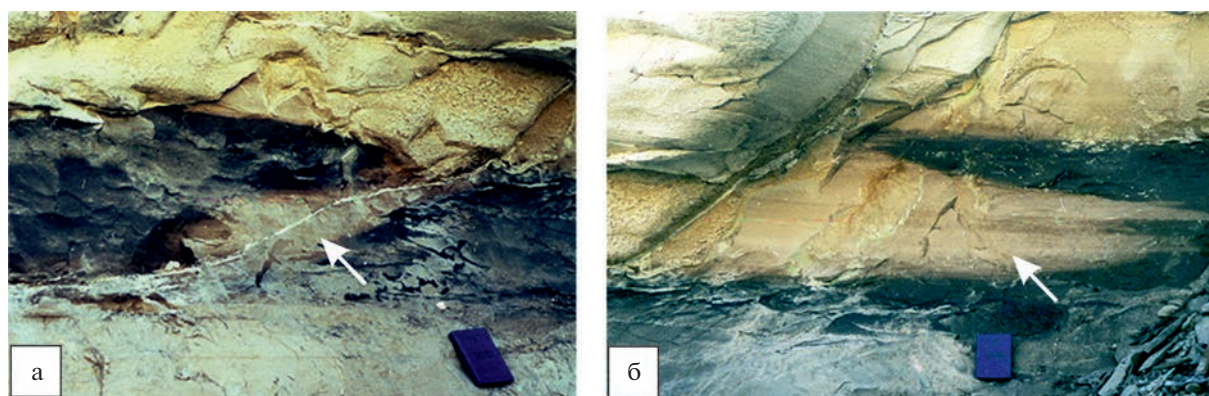


Рис. 7. Зоны осветления вдоль сейсмогенных трещин в углеродистых отложениях кумской свиты (разрез “Бахчисарай”, Крым).

а, б — вдоль сейсмогенных трещин в углеродистых развиты зоны осветления пород (отмечены стрелками), из которых по трещинам на стадии диагенеза осадков удалялись иловые воды с растворенным в них органическим веществом и другими компонентами (размер полевого дневника 10×15 см).

как хаотичное нагромождение отдельных кремневых тел размером в несколько дециметров. Вместе с тем, внутри этой пачки можно наблюдать сохранившуюся местами седиментационную слоистость.

Таким образом, для образования структур рассмотренного типа наиболее благоприятными являлись кремнистые отложения, в которых ко времени сейсмического события процессы диагенетического перераспределения кремневого геля характеризовались высокой интенсивностью. Гораздо менее благоприятные для этого условия существовали в свежих, только что накопившихся осадках, в которых процессы диагенеза только начинали проявляться, или напротив — в отложениях, где активная стадия диагенеза уже завершилась и кремневый гель в основном был раскристаллизован и потерял способность к миграции внутри осадка. Исходя из изложенных представлений о развитии процессов миграции продуктов диагенеза, оценим общую схему влияния сейсмического события на структуру толщи, которая подверглась его воздействию. Нам представляется, что в общих чертах эту схему можно наметить следующим образом (см. рис. 6а).

I. Интервал слабоструктурированных отложений, соответствующий, видимо, сейсмическому событию. В его нижней части залегает слой слоистых отложений, но без следов активного перераспределения аутигенного вещества.

II. Горизонт отложений с многочисленными следами диагенетического перераспределения кремневого аутигенного материала SiO_2 .

III. Пачка слоистых отложений, в которых процессы диагенетического минералообразования к моменту сейсмического события в основном завершились; в породах видна вторичная, очевидно, сейсмогенная (?) трещиноватость.

IV. Слой гомогенизированных отложений, вдоль которого в результате сейсмических ударов произошел срыв и перемещение всей вышележащей пластины осадочных пород. Первичная слоистая структура в нем исчезла в результате перетирания пород при движении пластины, но возникла мелкая надвиговая структура (срывы и трещины, наклоненные в сторону движения пластины) (см. рис. 6е). Причем в отложениях, залегающих ниже слоя IV, сейсмогенная трещиноватость не наблюдается.

В нижней части кремнистой толщи отмечены также другие интервалы отложений с кремневыми телами сложной необычной конфигурации. По нашему мнению, усложнение морфологии кремневых стяжений и образование их сростков также было результатом воздействия на эти отложения землетрясений различной интенсивности.

Поскольку землетрясения затрагивают прежде всего отложения зоны диагенеза (несколько десятков метров), то появление сейсмогенной трещиноватости в породах позволяет иловым водам с растворенными в них минеральными компонентами мигрировать из материнских для них слоев в соседние слои с иными геохимическими характеристиками и влиять на процессы аутигенного минералообразования. В частности, в толщах углеродистых отложений вокруг сейсмогенных трещин нередко наблюдается зона осветления пород (рис. 7а, 7б), возникающая в результате оттока по трещине иловых вод с растворенным в них ОВ. Соответственно, наблюдается понижение в несколько раз содержания в осветленных породах $\text{C}_{\text{орг}}$ и в меньшей степени карбонатов; отмечается также уменьшение содержания ряда малых элементов. Такое явление отмечалось нами в углеродистых отложениях чокракско-караганской толщи (средний миоцен) Северного Кавка-

за, в среднеэоценовых мергелях кумской свиты Крыма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ морфологических особенностей горизонтов пород, подвергшихся воздействию палеоземлетрясений, показал, что сейсмичность из литологически разных отложений существенно различаются. В карбонатных толщах с сейсмическим воздействием на отложения связывается появление горизонтов брекчированных пород, а также возникновение субвертикальной трещиноватости, в глинисто-карбонатных — дробление, дефрагментация слоев карбонатных пород — как это наблюдается в среднесеноманских и келловейских отложениях Дагестана, в кремнистых толщах — изменение характера перераспределения в отложениях диагенетического аутигенного кремнезема с формированием кремневых стяжений и их сростков необычной конфигурации (см. выше), в толщах переслаивания песчаных и глинистых отложений важным следствием сейсмических ударов является ликвификация (разжижение) песчаных масс, вследствие чего образуется мобильная жидкая песчаная пульпа активно внедряющаяся в глинистые породы по сейсмогенным трещинам и образующая непутические дайки, силлы, тела сложной конфигурации (явление типичное для толщи среднего миоцена Дагестана [Гаврилов, 2017 и др.]).

Анализ расположения горизонтов сейсмиков в разрезах позволяет выявить определенные закономерности. В осадочных толщах нередко встречаются относительно маломощные горизонты отложений (несколько дециметров — первые метры), в которых нарушения их первоначальной седиментационной структуры по ряду признаков можно определить как следствие воздействия на них землетрясений сравнительно малой интенсивности. Свидетельства крупных сейсмических событий (серии событий) значительной мощности, при которых существенные изменения осадочной структуры претерпевают интервалы пород в 10 м и более, встречаются гораздо реже и, как показано выше, часто бывают приурочены к тем частям разрезов отложений, которые накапливались на завершающей стадии определенного этапа развития палеобассейна. Как правило, с наступлением следующего этапа — в палеобассейне начинали формироваться литологически иные осадочные комплексы. Таким образом, эти мощные землетрясения знаменовали собой этап тектонической перестройки региона, сопровождавшейся в ряде случаев (например, в среднем сеномане) усилением прогибания дна бассейна, а наличие в отложениях прослоев бентонитов указывает на одновременное усиление вулканической деятельности. Поскольку в Дагестане и смежных обла-

стях отсутствуют палеовулканы, пепловый материал очевидно поступал из Закавказья — скорее всего из вулканических центров, располагавшихся на территории Азербайджана или Грузии.

В мощном триггеном комплексе нижней и средней юры Северо-Восточного Кавказа встречаются различные признаки нарушений первоначальной осадочной структуры отложений, которые имели сейсмическую природу. Здесь также отмечена тенденция приуроченности следов палеоземлетрясений к пограничным отложениям крупных (более 1 км) осадочных циклов, когда происходили изменения тектонического режима палеобассейна, связанные с резким ростом темпов прогибания дна и изменением палеогеографической обстановки в палеобассейне. Выявлены многочисленные примеры перемещения по склону конуса авандельты фрагментов крупных осадочных пластин (несколько километров в поперечнике), которые, как правило, инициировались мощными землетрясениями [Гаврилов, 2005].

Палеоземлетрясения приводили не только к механическим изменениям — нарушению первоначальной осадочной структуры отложений, но, как было показано выше на примере кремнистой толщи, они активно влияли на происходившие в осадках диагенетические — физико-химические процессы. Наиболее чувствительным к этому влиянию оказывалось аутигенное минеральное вещество, проходившее в процессе своего образования стадию геля (кремнезем, сульфиды Fe, некоторые другие). Ранее нами были описаны следы миграции этих соединений (в том числе вертикальной миграции) [Гаврилов, 2020]: SiO_2 в карбонатных отложениях с примесью биогенного кремнезема; сульфидного вещества ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) в пачках переслаивания пластов известняков и обогащенных органическим веществом (ОВ) глинистых мергелей.

Закономерности влияния сейсмических событий на развитие осадочных бассейнов, на изменение условий осадконакопления и постседиментационных преобразований пород, рассмотренные на примере мезозойско-кайнозойских осадочных комплексов Северо-Восточного Кавказа, в дальнейшем необходимо проследить на более широкой территории, выявить зоны их наиболее ярко выраженного проявления или, напротив, их отсутствия. Полученные в результате таких специальных исследований данные позволят осуществлять более надежные палеорекострукции развития крупных геологических структур.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в соответствии с госзаданием Геологического института РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вассоевич Н.Б., Коротков С.Т. К познанию явлений крупных подводных оползней в олигоценовую эпоху на Северном Кавказе. М., Л.: ОНТИ НКТП, 1935. 46 с. (Тр. НГРИ. Сер. А. Вып. 52)
- Верзилин Н.Н. Влияние древних землетрясений и мутьевых потоков в меловом периоде на особенности осадконакопления в прибрежных частях Ферганского бассейна // Дельтовые и мелководно-морские отложения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 149–154.
- Верзилин Н.Н. Методы палеогеографических исследований. Л.: Недра, 1979. 247 с.
- Гаврилов Ю.О. Некоторые аспекты диагенеза чокракско-караганских отложений Восточного Предкавказья // Литология и полез. ископаемые. 1977. № 3. С. 38–52.
- Гаврилов Ю.О. Оползневые явления и образование горизонтов гомогенизации в области подводных конусов выноса (лейас, С.-В. Кавказ) // Литология и полез. ископаемые. 1990. № 1. С. 49–58.
- Гаврилов Ю.О. Динамика формирования юрского терригенного комплекса Большого Кавказа: седиментология, геохимия, постдиагенетические преобразования. М.: ГЕОС, 2005. 301 с.
- Гаврилов Ю.О. Отражение сейсмических палеособытий в мезозойско-кайнозойских терригенных толщах Северного Кавказа // Литология и полез. ископаемые. 2017. № 1. С. 1–21.
- Гаврилов Ю.О. Архитектура южной краевой зоны верхнеюрско-валанджинской карбонатной платформы северо-восточного Кавказа (Дагестан, Шахдагский массив) // Литология и полез. ископаемые. 2018. № 6. С. 507–520.
- Гаврилов Ю.О. Особенности поведения продуктов диагенеза в отложениях сейсмоактивных областей // Литология и полез. ископаемые. 2020. № 6. С. 501–514. <https://doi.org/10.31857/S0024497X20060038>
- Гарецкий Р.Г. Кластические дайки // Известия АН СССР. 1956. № 3. С. 81–102.
- Гладков А.С., Лунина О.В. Сейсмичность юга Восточной Сибири: проблемы и перспективы изучения // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. № 3. С. 249–272.
- Деев Е.В., Зольников И.Д., Гуськов С.А. Сейсмичность в четвертичных отложениях юго-восточного Алтая // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 6. С. 703–722.
- Леонов Г.П., Логинова Г.А. Основные черты геологического развития Дагестана в эпоху верхней юры и валанджина // Ученые записки МГУ. Сер. геол. 1956. Вып. 176. С. 17–29.
- Логинова Г.А. Нижне-среднекембрийские отложения горного Дагестана // Вестник МГУ. Сер. геол. 1975. № 6. С. 46–54.
- Снежко В.А., Богданова Т.Н., Лобачева С.В., Снежко В.В. Стратиграфия нижнемеловых отложений Дагестана (Северный Кавказ) // Региональная геология и металлогения. 2011. № 45. С. 29–41.
- Палеосейсмология / Под ред. Д. Мак-Калпина. М.: Научный мир, 2011. Т. 1. 541 с.; Т. 2. 387 с.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатилов А.В. Эндогенные опасности Северного Кавказа. М.: ИФЗ РАН, 2014. 256 с.
- Темирбекова У.Т., Баркуева Л.С. Биостратиграфия келловейских отложений Дагестана // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. VI Всероссийское совещание: научные материалы / Отв. ред. В.А. Захаров, М.А. Рогов, А.П. Ипполитов. Махачкала: АЛЕФ, 2015. С. 264–267.
- Холодов В.Н., Гаврилов Ю.О. Кластические дайки в миоценовых отложениях Восточного Предкавказья // Докл. АН СССР. 1977. Т. 237. № 6. С. 1463–1466.
- Хромовских В.С., Солоненко В.П., Семенов Р.М., Жилкин В.М. Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.
- Черкашин В.И., Гаврилов Ю.О., Захаров В.А., Рогов М.А. и др. Юрские отложения центральной части Горного Дагестана. Путеводитель геологических экскурсий VI Всероссийского совещания “Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии”, 15–20 сентября 2015 г., г. Махачкала. Махачкала: АЛЕФ, 2015. 132 с.
- Шрок Р. Последовательность в свитах слоистых пород. М.: Изд-во Иностранной литературы, 1950. 564 с.
- Щербинина Е.А., Александрова Г.Н., Яковлева А.И., Ступин С.И., Закревская Е.Ю. Микробиота и стратиграфия нижнепалеогеновых отложений Урминского плато Центрального Дагестана // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2014. Т. 22. № 1. С. 65–99.
- Ancient Seismites / Eds F.R. Etensohn, N. Rast, C.E. Brett // Geological Society of America Spec. Papers. 2002. V. 359. 190 p.
- Lunina O.V., Gladkov A.S. Soft-sediment deformation structures induced by strong earthquakes in southern Siberia and their paleoseismic significance // Sedimentary Geology. 2016. V. 344. P. 5–19.
- Montenat C., Barrier P., d'Estevou P.O., Hibsche C. Seismites: an attempt at critical analysis and classification // Sed. Geol. 2007. V. 196. P. 5–30.
- Seilacher A. Fault-graded beds interpreted as seismites // Sedimentology. 1969. V. 13. № 1–2. P. 155–159.
- Seilacher A. Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events // Marine Geology. 1984. V. 55. P. 1–12.
- Sims J.D. Earthquake-induced structures in sediments of Van Norman Lake, San Fernando, California // Science. 1973. V. 182. P. 161–163.
- Sims J.D. Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments // Tectonophysics. 1975. V. 29. P. 141–152.
- Wang J., Jin Z., Hilton R.G. et al. Earthquake-triggered increase in biospheric carbon export from a mountain belt // Geology. 2016. V. 44. № 6. P. 471–474. <https://doi.org/10.1130/G37533.1>

Seismogenic Structures in Sediments of Different Lithological Composition and their Position in Mesozoic–Cenozoic Sections of the Northern Caucasus

Yu. O. Gavrilov^{1, *}, Yu. R. Gatatdinova¹

¹*Geological Institute RAS, Pyzhevsky lane, 7, bld. 1, Moscow, 119017 Russia*

**e-mail: yugavrilov@gmail.com*

A comparative analysis of the morphological features of rock horizons affected by paleoearthquakes showed that seismites from lithologically different deposits differ significantly. Powerful earthquakes determine not only the destruction of the sedimentary structure of near-surface deposits and their chaotic mixing, but also actively affect the underlying layers to a depth of several tens of meters; since the degree of diagenetic lithification of rocks in different horizons varies with depth, the nature of their seismogenic changes also changes. It was found that major seismic events were associated with the time intervals of tectonic and paleogeographic restructuring of sedimentation basins, which consisted in the intensification of the process of bowing of the reservoir bed, changes in the material composition of sediments accumulated in the paleobasin. A special type of seismites was formed during the impact of earthquakes on siliceous deposits, in which the processes of diagenetic redistribution of authigenic mineral matter, which passed through the gel stage during diagenesis, actively proceeded.

Keywords: paleoearthquakes, seismic events, seismites, paleobasins, lithification, diagenesis, redistribution of autigenic matter, downwarping of the basin bottom.