

УДК 552.14+551.762 (571.1)

DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-5-699-711

Деформации слаболитифицированных пород баженовско-георгиевского комплекса

В. Ф. Гришкевич, Г. Х. Шайхутдинова, С. В. Лагутина

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИНефть» в г. Тюмень, 625000 г. Тюмень, ул. Республики, 41,
e-mail: Grishkevich.vf@gmail.com

Поступила в редакцию 13.02.2020 г., принята к печати 05.01.2021 г.

Объект исследования. Отложения верхнеюрского баженовско-георгиевского комплекса центральных районов Западно-Сибирского осадочного бассейна, которые в первом приближении представлены переслаивающимися чистыми или карбонатизированными радиоляритами и органогенно-глинистыми микститами. **Материал и методы.** Анализируется коллекция кернов баженовско-георгиевского комплекса, рассматриваются геолого-геофизические разрезы скважин, фотографии керна и микрофотографии шлифов. В качестве основы для расшифровки происхождения мягких пластических деформаций при землетрясениях использованы результаты экспериментов китайских ученых. **Результаты исследования.** Показано, что на разных стадиях диагенеза в разрезе контактировали слои с резко различающимися плотностными и механическими свойствами, что приводило к разнообразным деформациям слаболитифицированных слоев при землетрясениях. В раннем и среднем диагенезе подвижные карбонатизированные радиоляриты деформировали пластичные глинистые прослои с образованием карбонатных нодулей. В среднем диагенезе в радиоляритах соседствовали участки слабой литификации и подвижные радиоляриты. Наряду с пластическими деформациями происходили процессы автобрекчирования и автофлюидоразрыва радиоляритов, абразионной эрозии границ глинистых разностей. В позднем диагенезе в радиоляритах и глинистых силицитах преобладали литифицированные разности, в итоге деформаций радиоляриты и разделяющие их глинистые перемычки перерабатывались в обломки, зеркала скольжения и окатыши. Если под действием дифференциальных нагрузок происходила флюидизация (размягчение) и перемещение слаболитифицированных радиоляритов, то скорости таких перемещений в соседних слоях неизбежно различались. Каждый из описанных случаев продемонстрирован на кернах материала конкретных скважин, иллюстрирован петрографическими шлифами. Показан масштаб явления от знаков нагрузки миллиметровых прослоев до напорных валов брекчированных известняков толщиной 7–10 м. **Выводы.** Разномасштабные пластические деформации слаболитифицированных пород (soft sediment deformations), распространенные в породах баженовско-георгиевского комплекса, во многих случаях фиксировали сейсмические события прошлого, их временное и пространственное распространение. Чаще всего такие землетрясения происходили на границах блоков консолидированного фундамента при изостатических погружениях в зоне сверхбыстрого осадконакопления (лавинной седиментации) неокомской клиноформной толщи.

Ключевые слова: баженовская свита, георгиевская свита, слаболитифицированные породы, силицит, карбонат, гидроразрыв

Deformations of weakly lithified rocks of the Bazhenov-Georgievsky complex

Vladimir F. Grishkevich, Gul'nara Kh. Shaikhutdinova, Svetlana V. Lagutina

Branch of LUKOIL-Engineering KogalymNIPIneft in Tyumen, 41 Republic st., Tyumen 625000, Russia,
e-mail: grishkevich.vf@gmail.com

Received 13.02.2020, accepted 05.01.2021

Research subject. Deposits of the Upper Jurassic Bazhenov-Georgievsky complex situated in central West Siberian regions. At a first approximation, the deposits are represented by interlayering pure or carbonatized radiolarites and organic-clay mixites. **Materials and methods.** A collection of core samples taken from the deposits was analyzed to study the geological and geophysical features of borehole sections, photographs of core samples, and micrographs of thin section. Soft sediment deformations, which appeared within the Bazhenov-Georgievsky complex as a result of earthquakes,

Для цитирования: Гришкевич В.Ф., Шайхутдинова Г.Х., Лагутина С.В. (2021) Деформации слаболитифицированных пород баженовско-георгиевского комплекса. *Литосфера*, 21(5), 699–711. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-5-699-711>

For citation: Grishkevich V.F., Shaikhutdinova G.Kh., Lagutina S.V. (2021) Deformations of weakly lithified rocks of the Bazhenov-Georgievsky complex. *Lithosphere (Russia)*, 21(5), 699–711. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-5-699-711>

© В.Ф. Гришкевич, Г.Х. Шайхутдинова, С.В. Лагутина, 2021

were investigated using data obtained by Chinese researchers. *Results.* It is shown that, at different stages of diagenesis, layers with sharply differing density and mechanical properties came into contact, which led to various deformations of weakly lithified layers during earthquakes. In the early and middle diagenesis, mobile carbonated radiolarites deformed plastic clay interlayers with the formation of carbonate nodules. In the middle diagenesis, in radiolarites, areas of weak lithification and mobile radiolarites coexisted. Along with plastic deformations, the processes of autobrecciation and autofluid fracturing of radiolarites, abrasion erosion of the boundaries of clayey varieties took place. In the late diagenesis, lithified varieties predominated in radiolarites and clayey silicites; as a result of deformations, radiolarites and the argillaceous bridges separating them were transformed into fragments, polished surfaces, and pellets. If, under the influence of differential loads, fluidization (softening) and movement of weakly lithified radiolarites occurred, then the rates of such movements in adjacent layers inevitably differed. Each of the described cases is demonstrated by the core material of specific boreholes and petrographic thin sections. The scale of the phenomenon is shown from the signs of loading of millimeter interlayers to pressure shafts of brecciated limestones with a thickness of 7–10 m. *Conclusions.* The West Siberian Plate is epicontinental; therefore, the most intense earthquakes occurred at consolidated basement block boundaries during isostatic subduction and compensations in the Neocomian clinoform ultrafast sedimentation zones. Soft sediment deformations occurred within the Bazhenov-Georgievsky layers recorded the rock history of intense seismic events of the past, their temporary and spatial distribution.

Keywords: *Bazhenovo Formation, Georgievsk Formation, soft sediment deformations, silicilith, limestone, hydraulic fracturing*

ВВЕДЕНИЕ

Разрез баженовско-георгиевского комплекса центральных районов Западно-Сибирского осадочного бассейна представлен чередующимися силицит-глинисто-карбонатно-битуминозными породами. Основное многообразие состава слоев укладывается в простое изменение соотношения этих четырех компонентов с некоторым добавлением примесей: пирита, барита, фосфатов. При этом геометрические характеристики слоев могут быть весьма разнообразны: от ненарушенного согласного залегания до нодульных и септариевых, и иных слоев со сложной внутренней текстурой. Традиционно такие вторичные осложняющие текстуры в большинстве публикаций объясняются главным образом процессами литификации пород, роста и эволюции конкреций. Авторы ставят своей целью, в дополнение к традиционному подходу, показать полезность использования концепции гравитационных и сейсмических деформаций слаболитифицированных пород (*soft sediment deformations*) для выяснения возможного генезиса упомянутых текстур.

ТЕКСТУРЫ ГРАВИТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ

Известно, что в разрезе баженовской свиты снизу вверх уменьшается доля силикатного материала, а доли глинистого и органического веществ и карбонатов увеличиваются (Панченко и др., 2016). В процессе седиментации из первоначальных осадков под действием контурных и циклонических течений (Панченко, Немова, 2017; Гришкевич

и др., 2019в) вымывались мелкодисперсные глинистые и органические частицы (частично и карбонатные диски кокколитофор). В результате образовывались чередующиеся слои относительно чистых радиоляритов (опаловых камер радиолярий алевро-песчаной размерности) и слои радиоляритов, “замусоренные” глинистым и органическим веществом и карбонатными дисками. В процессе диагенеза глинистые прослои выступали донорами седиментационных вод и растворенного минерального вещества (в частности, карбонатов), а чистые радиоляриты – проводниками отвода седиментационных вод и акцепторами аутигенных минералов диагенеза (карбонатов и кремней) (Коровина и др., 2014, Гришкевич и др., 2019б). При этом первоначальное выпадение этих минеральных новообразований происходило внутри камер радиолярий, и только после этого начиналось формирование межкамерного минерального скелета. Параллельно за счет уменьшения объемов рыхлосвязанных вод происходил процесс слипания глинистых частиц и, соответственно, литификация глинистых разностей. Поэтому соотношения механических свойств смежных слоев в процессе диагенеза существенно изменялись во времени.

Механические свойства протобаженитов, прошедших первоначальное уплотнение, были очень изменчивыми, так как эти породы представляли собой набор разновидностей алевритоглинистых смесей (Mitchener, Torfs, 1996). Глинистые разности за счет слипания-адгезии частиц сближенными плоскими гранями приобретают при этом пластичность и относительную прочность. В чистых радиоляриевых илах алевритовые по размеру камеры радиолярий образуют точечные контакты, без слипания частиц. Смесей камер и глинистых

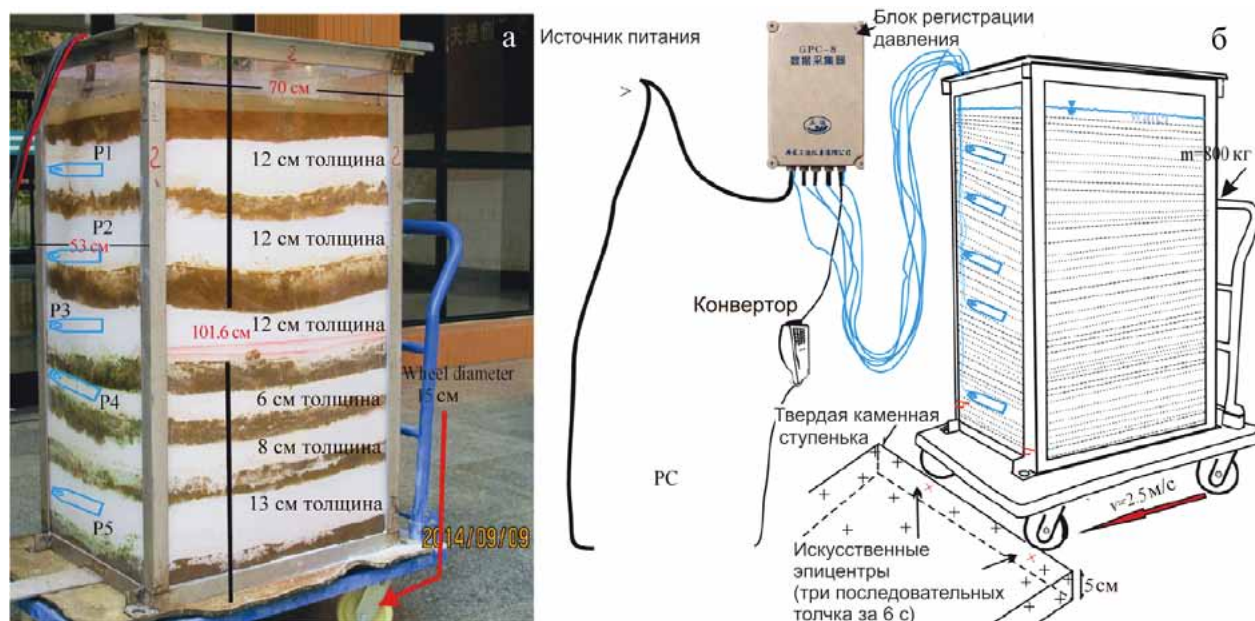


Рис. 1. Слоистая модель для имитации землетрясения (а) и схема экспериментов (б) (Tian et al., 2016).

Fig. 1. Earthquake simulation test model (a) and test instruments and methods (б).

частиц ведут себя как глины, пока в объеме осадка преобладают контакты глинистых частиц между собой, а камеры разобщены (более 30 об. % глин). При низких содержаниях глины (менее 20%) ее частицы разобщены в поровом пространстве между камерами, а последние и агрегаты глинистых частиц сохраняют подвижность. Таким образом, слаболитифицированные протобажениты состояли из переслаивающихся относительно прочных глинистых слоев и радиоляритов, прочность которых существенно менялась с глубиной (со стадией диагенеза).

Как в свежееотложенных радиоляритах, так и в радиоляритах с минеральным заполнением капсул индивидуальные частицы оставались взаимно подвижными. Под действием гравитационных нагрузок или сейсмических толчков они легко переходили в состояние текучести (плывуна). Характер пластических деформаций, возникающих на контакте с такими подвижными радиоляритами, зависел от степени литификации (прочности слипания частиц) глинистых разностей, вмещающих подвижные слои.

Пластические деформации и землетрясения

В свежееотложенных предельно водонасыщенных глинистых и алевроитовых осадках связи между частицами очень слабые. Механизм образования мягких пластических деформаций в таких переслаивающихся осадках при сильных землетрясениях был экспериментально изучен в 2016 г.

(Tian et al., 2016) (рис. 1). Представленная этими авторами слоистая модель состоит из двух разностей “свежих” осадков: глин – геомеханического аналога будущих глинистых силицитов – и пудры измельченного известняка – аналога чистых радиоляритов с минеральным заполнением аутигенным кальцитом внутренних объемов камер опаловых раковин микроорганизмов.

В качестве карбонатного сырья для создания модели был взят щебень микритового скрытокристаллического известняка от серого до светло-серого цвета, содержащего 96–98% кальцита. Щебень перемалывали в порошок с диаметром частиц в 5, 10, 15, 23 и 30 мкм. Затем порошок был упакован в мешки в соответствии с их диаметром: меньше 5, 10–15, 23–30 мкм. Красно-коричневую вязкую глину отбирали, измельчали и просеивали. Этот искусственный вязкий ил состоял в основном из каолинита и иллита с содержанием 4.0–5.6% алевроитовых частиц и около 1.5% органического вещества.

Далее в три прозрачные короба заливали 3.5%-й раствор поваренной соли (NaCl, pH около 8.5) для имитации морской воды. Известковый и глинистый порошки медленно добавляли в заполненные водой короба, образуя мягкие водонасыщенные карбонатные слои толщиной 12–13 см и вязкие (cohesive) слои глин толщиной 4–7 см каждый; эта процедура заняла 56 дней. В каждый из трех боксов засыпался известковый порошок только одной фракции: в первый бокс – меньше 5 мкм, во второй бокс – 10–15 мкм и в третий бокс – 23–30 мкм.

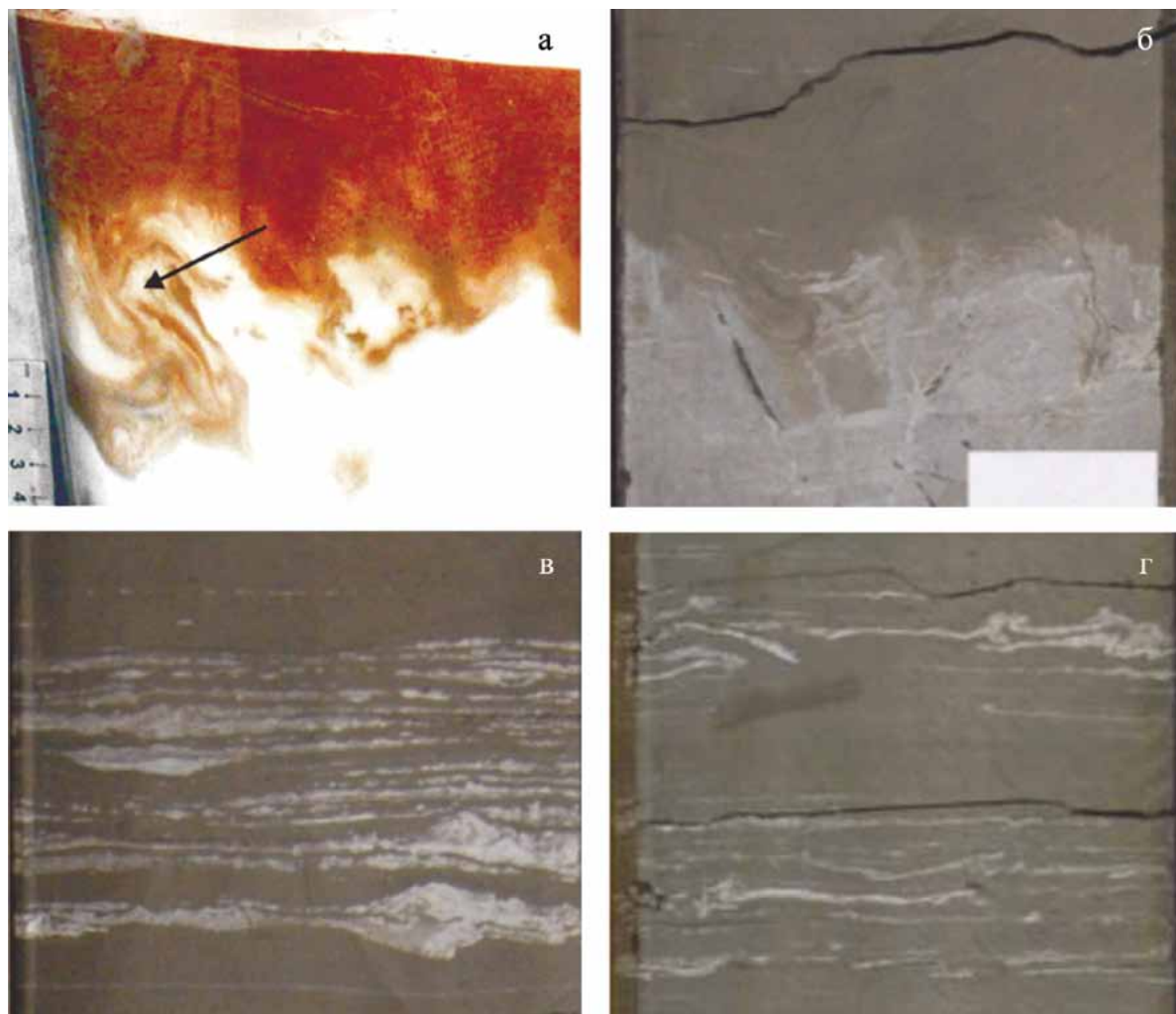


Рис. 2. Сейсмически индуцированные “пламенные” складки.

а – образованные подвижным известковым илом и тиксотропной (вязкотекучей) глиной в эксперименте (помечены стрелкой) (Tian et al., 2016) и фиксируемые в керне; б – то же в скв. Северо-Ватъеганская 1Р (3058.35–3058.45 м); в, г – турбулентные мягко-пластические деформации тонких переслаиваний чистых радиоляритов и глинистых силицитов: в – скв. Северо-Ватъеганская 1Р (3056.55–3056.64 м), г – скв. Имилорская 412Р (3019.16–3019.25 м).

Fig. 2. Seismically induced curl-shaped fold.

а – experimentally formed by liquefied lime-mud and thixotropic mud (arrowed); б – the same in the core, well North-Vatagan-1P (depth 3058.35–3058.45 m); в, г – turbulent viscos-plastic deformations of thin interbedding of pure radiolarites and clay silicites: в – well North-Vatagan-1P (3056.55–3056.64 m), г – well Imilorskaya 412P (3019.16–3019.25 m).

Непосредственно во время экспериментов железная тележка с жесткими колесами (диаметром 15 см) толкалась со скоростью 2–3 м/с; в течение 6 с ее колеса трижды натывались на каменную ступень высотой 5 см, и, таким образом, они являлись точечным искусственным источником сейсмического воздействия (см. рис. 1).

“Деформационные текстуры мягких осадков, вызванные текучестью, инициированной искусственным землетрясением, состоят из известково-грязевых микровулканов, микродаек подвижного известкового шлама, огненных текстур и др.” (Tian et al.

2016). При этом плавучести (liquefaction) наиболее подвержены водонасыщенные слои с мелкопесчано-алевритовым размером частиц (23–30 мкм).

Деформационные текстуры в породах баженовской свиты

Некоторые сходные текстуры наблюдаются и в кернах скважин из разреза баженовской свиты (рис. 2). Соотнеся условия эксперимента с возможным процессом диагенеза протобаженитов, можно предположить, что “пламенные” текстуры в

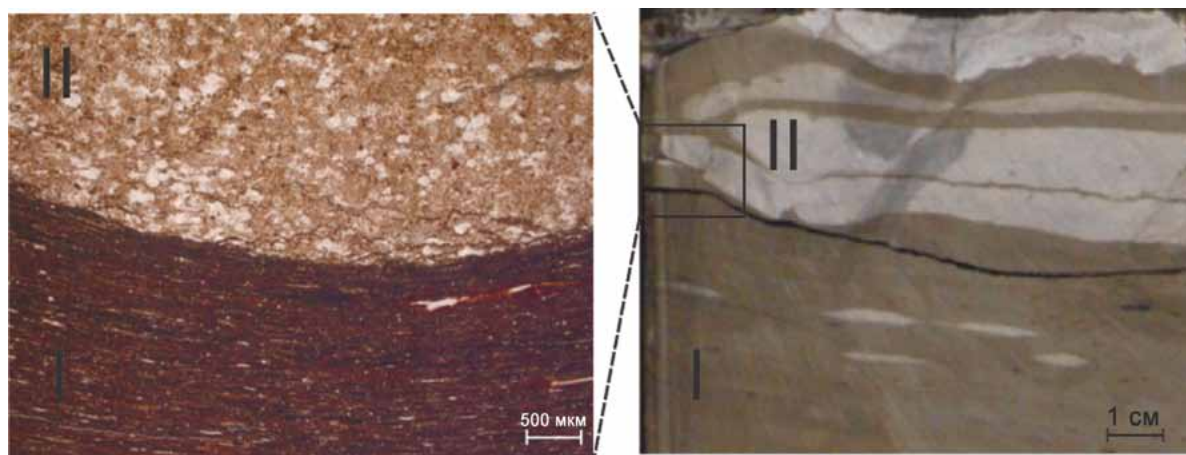


Рис. 3. Мягкие пластические деформации, знаки нагрузки, скв. Северо-Ватъеганская 1Р.

Микрофото шлифа и фото керна в дневном свете. I – глинистый силицит, II – апорадиолариевый известняк.

Fig. 3. Soft plastic deformations, load signs, well North-Vateganskaya 1P.

The photo of the microsections and the photo of the core in daylight. I – clay silicite, II – aporadiolarian limestone.

баженитах наиболее вероятно образовывались на самых ранних стадиях, когда глинистые силициты еще не потеряли способности переходить в гидравлически подвижное состояние под сейсмическим воздействием. Необходимым условием образования “пламенных” текстур в баженитах также являлась достаточная толщина прослоев чистых подвижных радиоларитов (порядка 10 см и более), необходимая для пространственного размещения вихревых течений внутри слоя. В слоях меньшей толщины происходило турбулентное перемешивание подвижных радиоларитов с вмещающими глинистыми силицитами (см. рис. 2в и г). Отметим, что в скв. Северо-Ватъеганская 1Р интенсивные пластические деформации фиксируются на протяжении 10 м верхней высококарбонатной части разреза баженовской свиты, и, вероятно, они инициировались многократными землетрясениями.

На более поздней стадии диагенеза глинистые разности протобаженитов приобретали некоторую прочность и постепенно теряли способность к плавучести при сейсмических событиях. Для переслаиваний подвижных радиоларитов с такими относительно плотными и прочными глинистыми разностями характерны пластические деформации (знаки нагрузки, рис. 3). Тонкие слойки радиоларита превращались в “бусы” микролинзочек, при большей толщине перетекание подвижного радиоларита деформировало кровлю и подошву – слои вмещающих упругопластичных глинистых разностей (Гришкевич и др., 2019а). Подобные образования разумно называть карбонатными нодулями, чтобы терминологически отделить их от классических карбонатных конкреций.

Гравитационная нагрузка понимается как геостатическое давление на слой вышележащими осадками или породами. Текстуры таких нагрузок возникают в результате сейсмического воздействия (толчков) на слаболитифицированную слоистую среду, сложенную чередующимися слоями с существенно различной плотностью и механическими свойствами. При этом, используя пластичность или текучесть осадков, более плотные разности стремятся погрузиться, а легкие – всплыть. В результате границы между слоями деформируются, а сами осадки перемещаются относительно друг друга в латеральном и вертикальном направлениях. Сами гравитационные нагрузки можно условно разделить на однородные и дифференциальные, возникающие при резком изменении массы перекрывающих пород. При однородных нагрузках осадки перемещаются в латеральном направлении на расстояния, соизмеримые с толщиной слоев, при дифференцированных нагрузках латеральные перемещения могут превосходить толщины слоев в десятки и сотни раз.

Общее представление о текстурах локальных гравитационных нагрузок в единичном изолированном слое дает рис. 4. Синхронизация керна здесь выполнена по его суммарной радиоактивности ($^{\gamma}$ -R) и гамма-каротажу ствола скважины. Светло-серые разности – апорадиолариевые известняки (более 80% кальцита). Все слои и слойки известняков в значительной степени деформированы. В выделенном слое к его деформированной кровле прижат окатыш – включение глинистого силицита, подошва слоя также несет следы деформаций: пунктиром обозначена подошва слойки, смятого в

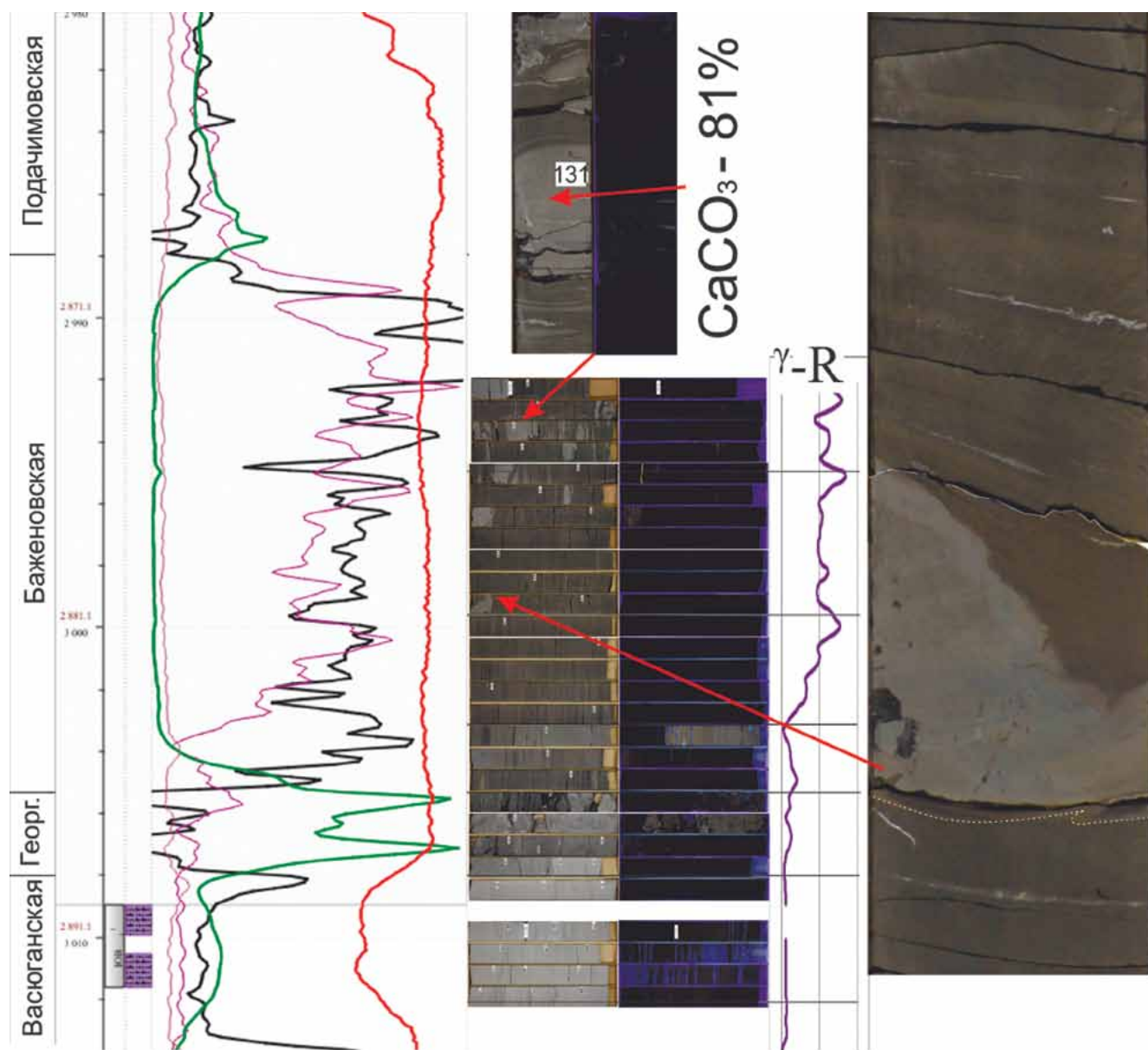


Рис. 4. Примеры текстур сейсмита в разрез скв. 2085У Южно-Выинтойского месторождения.

Fig. 4. Examples of seismite textures in the well South Vyinta 2085Y.

складку волочения. Дополнительный пример деформации единичного слоя приводится в (Гришкевич и др., 2019а)

Перемещение подвижных радиоляритов внутри слоев может быть как ламинарным, так и турбулентным, поэтому первоначальная слоистость радиоляритов внутри породы может претерпевать разнонаправленную и разномасштабную деформацию (рис. 5). Крупномасштабные деформации видны на фотографиях керна, микрофотографии шлифа демонстрируют микродеформации. Верх шлифа – микро- и мелкозернистый слабоглинистый

известняк, рыжие полосы в центре – слойки пелитоморфного сидерита и гидрослюдистого материала, низ – известняк микрокристаллический, пиритизированный. Трещины выполнены микро-мелкозернистым участками кристаллически-зернистым доломитом или кальцитом. Микротрещины проходят по границе пород или в крест ее.

После появления на стадии диагенеза межкварцевой минерализации в радиоляритах оказались сближенными участки со слабым минеральным каркасом и рыхлые разности, склонные к плавучести. Под дифференциальными нагрузками и под

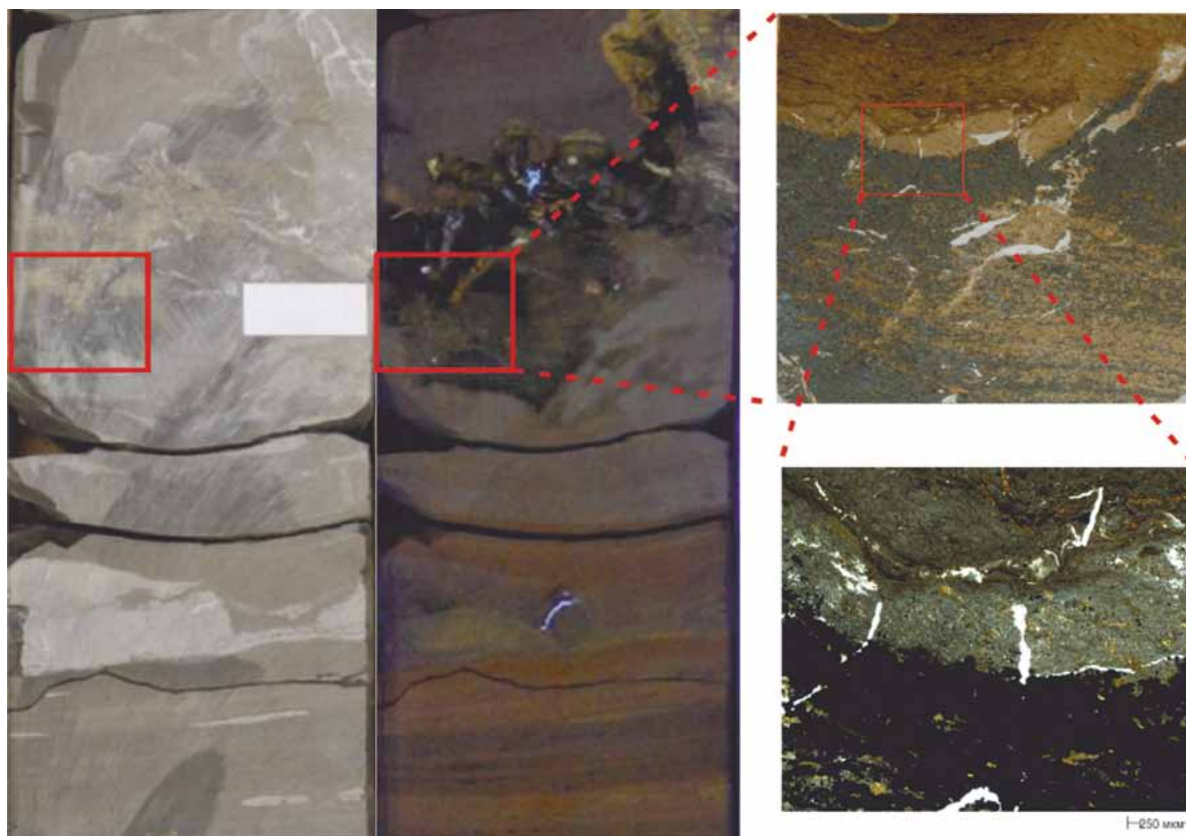


Рис. 5. Примеры пластичных текстур внутри слоевых деформаций (скв. Северо-Ватьеганская 1Р, 3051.54–3051.80 м). Фотография керна при дневном и УФ освещении, фото шлифа в отраженном и проходящем свете.

Fig. 5. Examples of plastic textures inside layer deformations (North-Vatyeganskaya well 1P, 3051.54–3051.80 m). Core photo in daylight and UV light, the microsection photo in reflected and passing light.

сейсмическим воздействием происходил автогидроразрыв (брекчирование) породы и мягкие деформации (выдавливание) пластичных радиоляритов с брекчированными включениями литифицированных разностей. На рис. 6 представлен пример соседства мягкопластических деформаций, гидроразрыва и брекчированных литифицированных радиоляритов, а также поведение промежуточных малоглинистых радиоляритов, выступавших и как объект пластических деформаций, и как агент вторичного гидроразрыва (см. верхнюю часть макрофотографии керна и микрофотографии шлифов).

Наличие межкамерного минерального каркаса во время сейсмических событий (землетрясений) фиксируется как абразией (соскабливанием) границ раздела радиоляритов и силицитов (помечено стрелкой на фотографии шлифа), так и многократным самобрекчированием радиоляритов автофлюидоразрывами.

При благоприятных исходных геологических условиях (достаточной мощности и протяженности слоев карбонатизированных радиоляритов) в напор-

ных валах перед седиментационным склоном могут формироваться линзы брекчированных карбонатов значительной толщины (Усманов и др., 2005).

На территории деятельности компании «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» яркий пример такой линзы выявлен бурением на Мишаевском месторождении (рис. 7) (Гришкевич и др., 2019б). В скв. 184Р вскрытая толщина линзы составляет 7 м, максимальная толщина линзы в 10 м зафиксирована, по данным ГИС, в соседней эксплуатационной скв. 1606. Ширина этой линзы до 1 км, простирание северо-восточное, что согласуется с направлением седиментационного склона и зон развития аномальных разрезов баженовской свиты. Кровля известняков резкая, с наклоном около 30° к оси скважины. Конформное выполаживание границ слоев, перекрывающих линзу выдавливания до горизонтального залегания, растянуто на 6 м. Основной объем линзы представлен карбонатами. Карбонат апорадиоляриевый, структура стенок радиолярий подчеркнута замещающим пиритом и примесью глинистого материала. Петрографическими исследова-

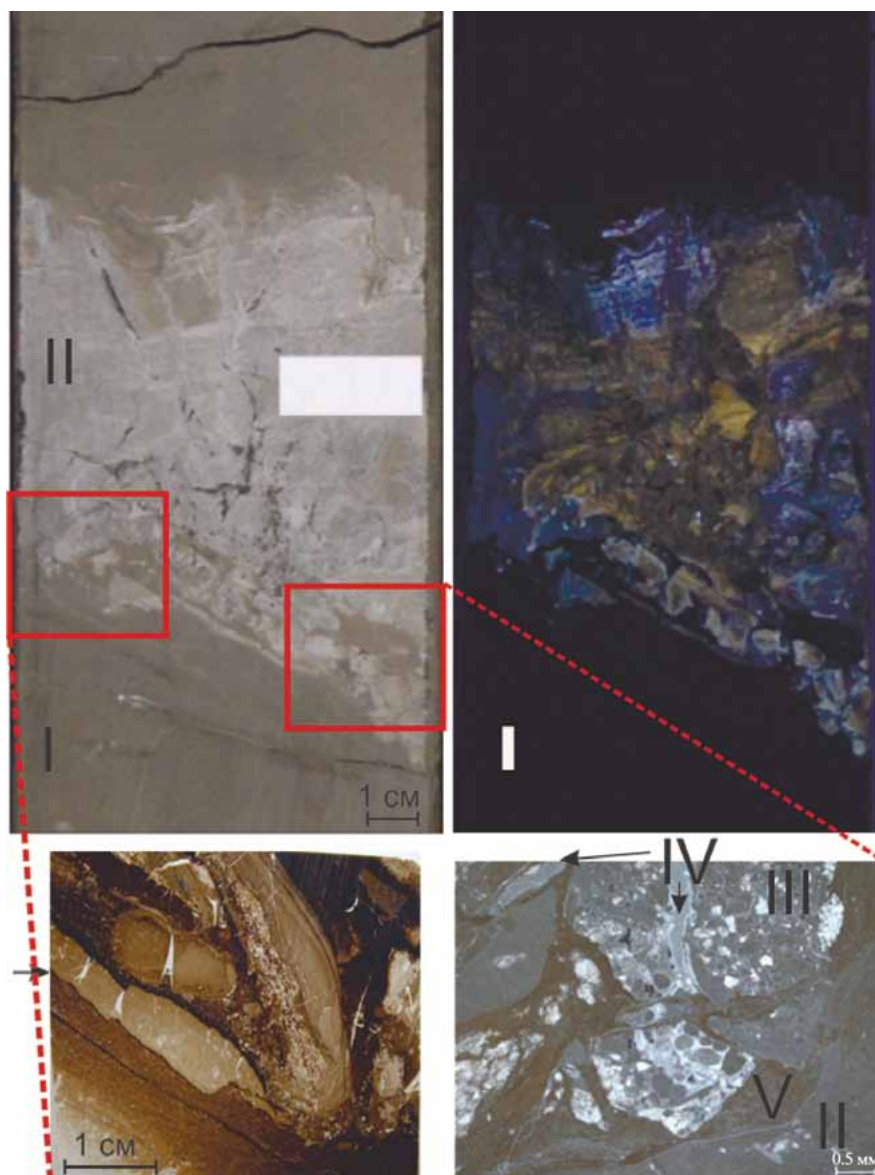


Рис. 6. Сейсмические деформации, скв. Северо-Ватъеганская 1Р (3058.35–3058.55).

I – глинистый силицит; II – апорадиолариевый известняк; III – первичная микробрекчия; IV – чистый радиоларит, агент первого гидроразрыва; V – глинистый радиоларит, агент второго гидроразрыва. Фотография керна при дневном и УФ освещении, микрофотография шлифов в отраженном и проходящем свете.

Fig. 6. Seismic deformations, North-Vatyeganskaya 1P well (3058.35–3058.55).

I – clay silicite; II – aporadiolarian limestone; III – primary microbreccia; IV – pure radiolarite, agent of the first hydorrapture; V – clay radiolarite, agent of the second hydorrapture. The picture of the core in daylight and UV light, the microphoto of the section in reflected and passing light.

дованиями выявлены дополнительные диагностические признаки пластических деформаций. Непосредственно к кровле линзы примыкает темно-серый комок с резкой “кочковатой” границей. По составу порода комка – глинистый силицит с высоким (до 30%) содержанием обломков костей рыб. Первичная слоистость силицитов не сохранилась, у обломков костей отсутствует гравитационная

ориентировка, сохранившиеся линзовидные включения многократно деформированы в различных направлениях (фотография шлифа любезно представлена И.В. Панченко; см. рис. 7). Подобные комки разумно именовать окатышами. Для сравнения приводится фотография шлифа образца с прослоями рыбного детрита из разреза баженовской свиты с ненарушенным залеганием.

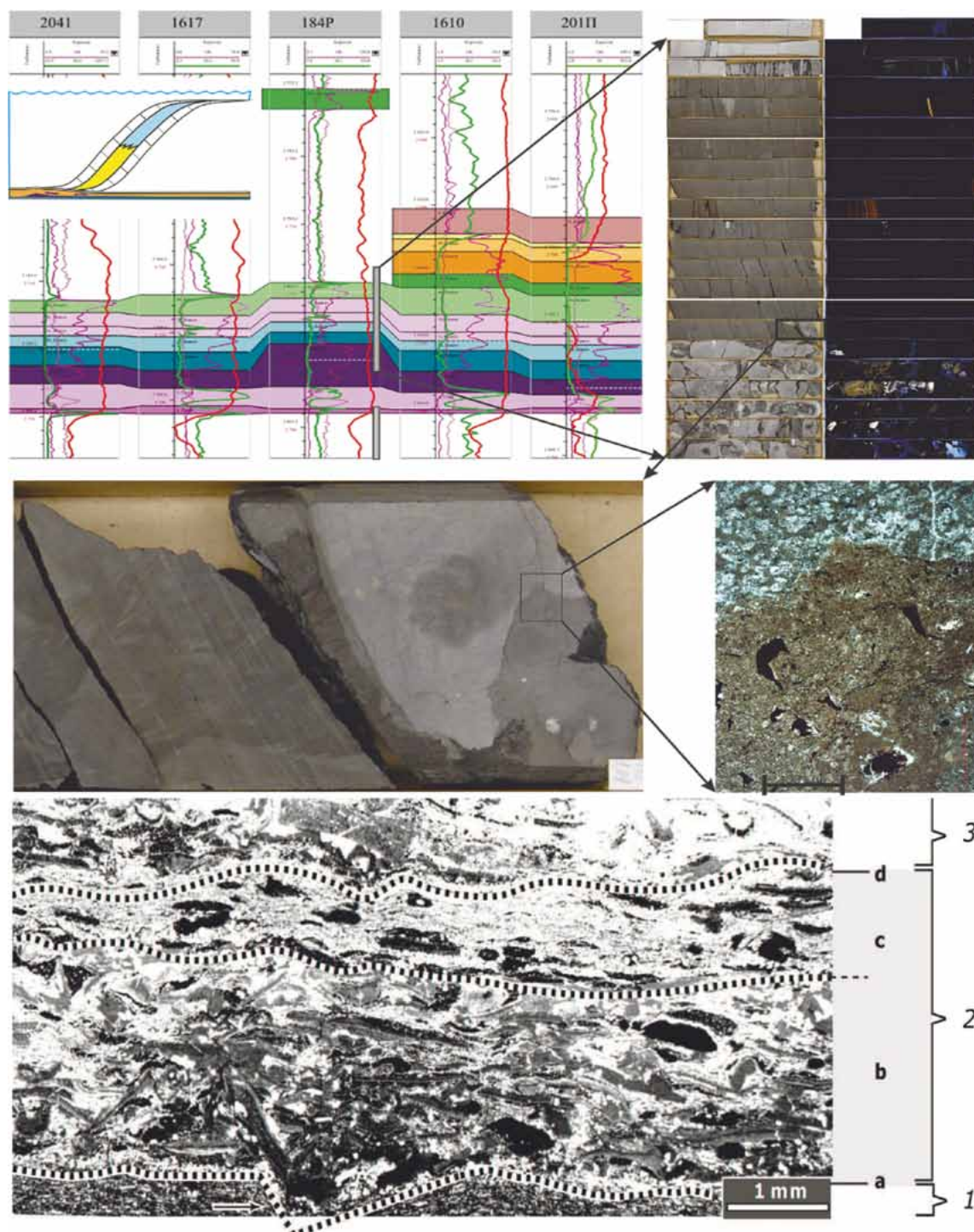


Рис. 7. Линза брекчированных карбонатов в подошве баженовской свиты и пример залегания прослоев с рыбным детритом (черное).

Фото шлифа в нижней части рисунка. 1 – вмещающие глинистые силициты. 2 – штормогенный прослой: а – поверхность размыва; b – концентрация костных рыбных фрагментов с нормальной градиацией; с – тонкослоистый иловый покров с рассеянными биокластами, ориентированными субгоризонтально; d – волнистая кровля прослоя. 3 – концентрированный рыбный детрит вышележащего штормогенного слоя. Баженовская свита, скв. Емангальская-96 (Щепетова и др., 2015).

Fig. 7. The brecciated carbonates lens in Bazhenov suite's bottom and fish detritus mirophoto example.

Microsection. 1 – enclosing clay silicites. 2 – stormogenic layer: a – erosion surface; b – concentration of bone fish fragments with normal gradation; c – covering thin silt layer with scattered, subhorizontal oriented bioclasts; d – undulating interlayer's roof. 3 – concentrated fish detritus of the overlying storm layer. Bazhenovo Formation, Emangalskaya well 96 (Shchepetova et al., 2015).

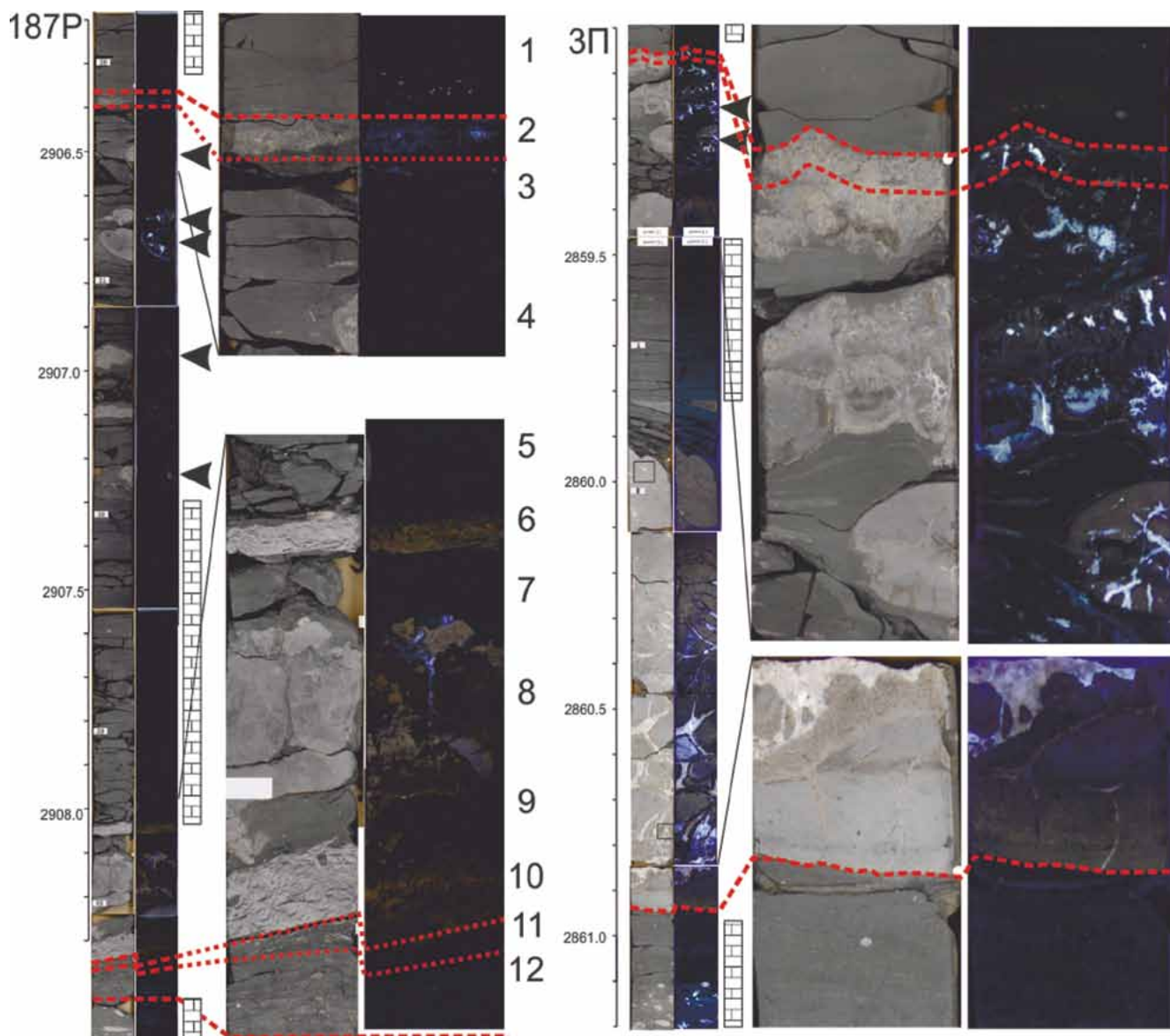


Рис. 8. Перемещенные слои в разрезах георгиевской свиты скважин Ново-Ортыгунская 187Р (2906.25–2908.39 м) и Северо-Ватъеганская 3П (2859.05–2860.95 м).

Fig. 8. Displaced Georgian suite layers, Novo-Ortyagunskaya 187Р (2906.25–2908.39 m) and North-Vateganskaya 3П (2859.05–2860.95 m) wells.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ МНОГОСЛОЙНЫХ АССОЦИАЦИЙ

В нижней части разреза баженовской свиты и в пределах георгиевской свиты достаточно часто встречаются выдержанные по площади, протяженные слои условно чистых апорадиоляриевых карбонатов, разделенные одной или двумя перемычками (слоями) выдержанных глинистых силицитов. Если под действием дифференциальных нагрузок происходила флюидизация (размягчение) и перемещение слаболитифицированных радиоляритов, то скоро-

сти таких перемещений в соседних слоях неизбежно различались. Это вызвало в глинисто-силицитовых перемычках напряжения изгиба и образование секущих трещин. Процесс фрагментации перемычки приводил к ее полной или частичной переработке в интракласты (олистолиты), разделенные между собой подвижными радиоляритами и зеркалами взаимного скольжения. Неоднородность литификации радиоляритов дополнительно усложняла общую картину. Результаты этого процесса показаны на рис. 8, где представлен керн разреза георгиевской свиты из двух скважин.

На Ново-Ортыгунской площади георгиевская свита охарактеризована керном из пяти скважин. В четырех из них эти отложения имеют мягкие пластические деформации типа карбонатных нодулей.

В скв. 188П комковатые известняки на границе баженовской и георгиевской свит имеют толщину 1.2 м, над ними непосредственно залегают алевролиты, внедрившиеся из аномального разреза баженовской свиты (Гришкевич и др., 2017) с интенсивным голубым свечением в УФ (нефть). Кровля известняков (2904.89 м) осложнена знаками нагрузки и проникающей трещиной (с голубым свечением в УФ). Из-за неполноты выноса (не хватает 52 см) иные границы керном не охарактеризованы, но факт ударного гидравлического воздействия в ходе внедрения зафиксирован абсолютно достоверно.

В скв. 187Р вынос керна полный, что позволяет точно установить границы ненарушенного залегания отложений баженовско-георгиевского комплекса. Выше глубины 2906.35 м границы всех прослоев близки к горизонтальным, аналогично – ниже глубины 2908.42 м прослой тоже параллельны. Кроме того, ненарушенное залегание зафиксировано в интервале 2907.30–2908.04 м. Порода динамической “смазки” скольжения (слои 2 и 11) имеет характерную полосчато-волнистую текстуру, а примыкающие к ним слои ненарушенной породы содержат заметные следы затухающей деформации. Верхний интервал перемятых пород (2906.40–2907.30 м) представлен матрицей деформированных глинистых силицитов с множественными включениями окатышей глинистых апорадиоляриевых карбонатов. Окатыши на рис. 8 помечены стрелками. Они имеют комковатую внутреннюю структуру, встречается также радиальная трещиноватость “септариевого” типа. Нижний интервал перемещенных пород (2908.04–2908.34 м) сверху и снизу ограничен слоями крупнокристаллических карбонатов с фунтиковой текстурой. Общепризнано их появление в результате перекристаллизации. Включения в фунтиковые карбонаты многочисленных интракластов силицитов хорошо согласуются с эрозийным (неровным) характером границ этих слоев, что свидетельствует об отсутствии взаимного окатывания. Возможно, это объясняется низкой вязкостью будущих фунтиковых карбонатов.

Скважина Северо-Ватъеганская 3П расположена на расстоянии около 3 км от предполагаемой границы выклинивания тела внедрения аномального разреза баженовской свиты на Западно-Повховской площади. В этой скважине (см. рис. 8) перемещен интервал разреза 2859.05–2860.95 м. Верхняя и нижняя границы его отчетливо эрозийные, слои с видимыми деформациями отсутствуют, но имеет место слабая проградация

свойств граничных слоев в примыкающих карбонатах. В верхней трети перемещенного интервала залегают множественные карбонатные окатыши, притертые к интракластам силицитов (2859.2–2959.5 м) и слой (или линза?) ненарушенных силицитов (2859.46–2959.81 м). Окатыши имеют радиальную систему трещин, выполненных вторичными карбонатами, которые подобны трещинам классических септариевых конкреций. Нижняя граница ненарушенного слоя силицитов осложнена эрозийными выступами и клиновидной инъекцией (2959.81–2959.83 м) подвижных радиоляритов (карбонатов). Подвижность их подтверждается унаследованностью формы прослоев примеси в матрице породы от контура прилегающей эродируемой границы (рис. 9).

Матрица породы на рисунке разбита множественными трещинами двух генераций. Все они залечены крупнокристаллическим кальцитом: первая генерация с примесью сидерита (светлорыжая), вторая – чистым кальцитом. Подобные трещины многократно описывались различными авторами (например, (Эдер и др., 2019)), как гидротермально-катагенетические. По изотопному составу кислорода и углерода апорадиоляриевые карбонаты являются микробиально-диагенетическими (изотопно легкими), а крупнокристаллические карбонаты – катагенетическими (изотопно тяжелыми). Эти трещины (см. рис. 7 и 8) не имеют к деформациям мягких осадков никакого отношения: в породе на момент их возникновения не сохранилось разностей, способных к плавучести, оплыванию, флюидизации, поэтому трещины залечивались медленными процессами гидротермального привноса, а не быстрыми процессами внутрипородного гидравлического перераспределения масс (Деев и др., 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье показано, что в разрезе баженовско-георгиевского комплекса диагностируются следы деформаций слаболитифицированных пород: от микрослоев и ансамблей глинистых частиц до пластовых интрузий (тел внедрения) аномальных разрезов баженовской свиты. Деформации слаболитифицированных пород (*soft sediment deformations*) всегда возникают на контактах пород с различными плотностями и текучестью под воздействием встряхивающих землетрясений. В истории эпиконтинентальной Западно-Сибирской плиты наиболее интенсивные землетрясения происходили на границах блоков консолидированного фундамента при изостатических погружениях и компенсациях в зоне сверхбыстрого осадконакопления (лавинной седиментации (Лисицын, 1988)) неокомской клиноформной толщи. Поэтому пластические деформации баженовско-георгиевского

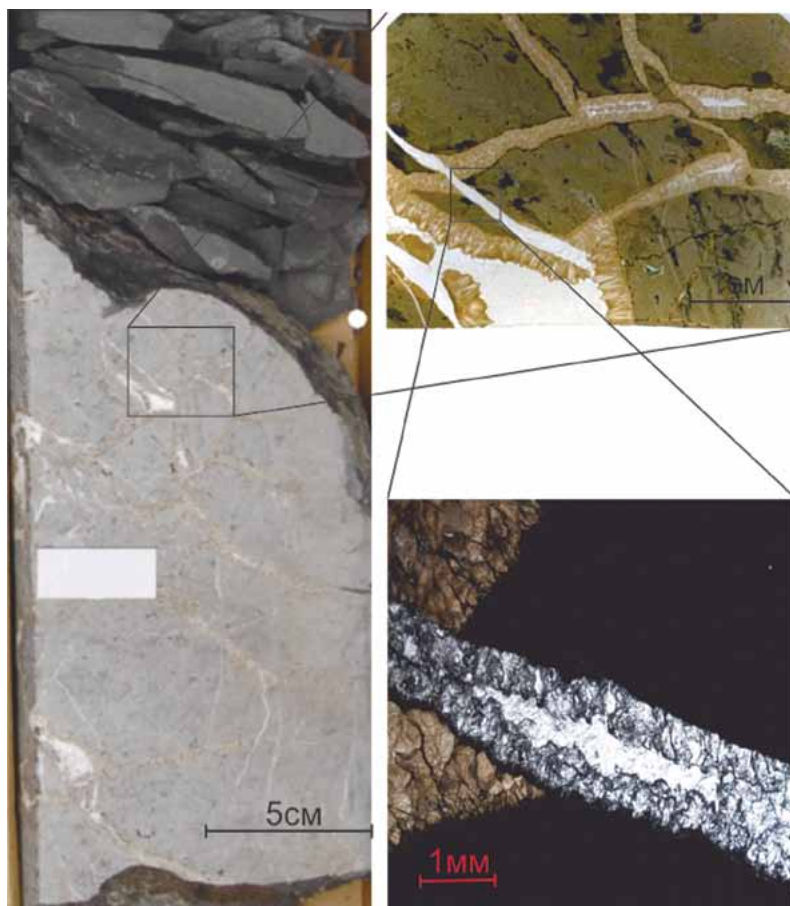


Рис. 9. Пример пластичных текстур, осложненных трещинами, залеченными гидротермальными карбонатами двух генераций (скв. Северо-Ватъеганская 3П, 2959.83–2960.11 м).

Фотография ядра при дневном освещении, фото шлифа в отраженном и проходящем свете.

Fig. 9. A plastic textures example, complicated by cracks, treated with hydrothermal carbonates of two generations (North-Vatieganskaya well 3П, 2959.83–2960.11 m).

Core photo in daylight, microsection photo in reflected and passing light.

евского комплекса надежно зафиксировали в облике пород интенсивные сейсмические события прошлого, их временное и пространственное распространение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гришкевич В.Ф., Гатина Н.Н., Сидоренко А.О., Карпова Е.В. (2019а) Опыт петрографического анализа механизма формирования аномального разреза баженовской свиты на Импурской площади Западной Сибири. *Литосфера*, **19**(2), 209–227. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-209-227
- Гришкевич В.Ф., Касаткин В.Е., Лагутина С.В., Панина Е.В., Смоляков Г.А., Сивкова А.В., Шайхутдинова Г.Х., Хорошев Н.Г., Блинкова А.В. (2019б) Эволюция флюидопроводящей системы отложений баженовской свиты. *Пути реализации нефтегазового потенциала Западной Сибири*. Мат-лы XXII науч.-практ. конф. Ханты-Мансийск. Т. 1, 105–126.
- Гришкевич В.Ф., Лагутина С.В., Панина Е.В., Долматова С.С. (2019в) Общая структура неокотского морского осадконакопления в Западно-Сибирском бассейне. *Геология морей и океанов*. Мат-лы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Москва, ИО РАН, Т. 1, 69–73.
- Гришкевич В.Ф., Лагутина С.В., Панина Е.В., Долматова С.С., Лаптей А.Г., Торопов Э.С., Стариков В.С., Хорошев Н.Г., Блинкова А.В. (2017) Геомеханическая модель формирования аномальных разрезов баженовской свиты: физическое моделирование и практическое применение. *Геология, геофизика и разработка месторождений нефти и газа*, (3), 33–47.
- Деев Е.В., Зольников И.Д., Староверов В.Н. (2012) Отражение быстрых геологических процессов в отложениях и текстурах (на примере разновозрастных комплексов Северной Евразии) *Литосфера*, (6), 14–36.
- Коровина Т.А., Кропотова Е.П., Гуляев С.В., Крицкий И.Л., Шадрин С.В. (2014) Генетические аспекты

- формирования баженовской свиты и критерии прогноза ее промышленной продуктивности. *Актуальные проблемы нефти и газа*, **2**(10), 21-29.
- Лисицын А.П. (1988) Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. М.: Наука, 309 с.
- Панченко И.В., Немова В.Д. (2017) Контуриты в баженовских отложениях Западной Сибири: формирование, распространение и практическое значение. *Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии*. VII Всерос. совещ. (Ред.: В.А. Захаров, М.А. Рогов, Е.В. Щепетова). М.: ГИН РАН, 153-157
- Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е., Ильина М.В., Барабошкин Е.Ю., Ильин В.С. (2016) Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керн и ГИС. *Геология нефти и газа*, (6), 22-34.
- Усманов И.Ш., Трофимова Е.Н., Дякина А.В., Карлов А.М. (2005) Нефтенасыщенные известняки баженовской свиты Сургутского района. *Нефт. хоз-во*, (12), 19-25.
- Щепетова Е.В., Панченко И.В., Барабошкин Е.Ю., Немова В.Д., Смирнова М.Е., Зуйкова М.В. (2015) Штормогенные отложения в баженовской свите Фроловской мегавпадины (Западная Сибирь). Мат-лы VIII Всерос. литолог. совещ. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Т. 1, 312-314.
- Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Ян П.А. (2017) Закономерности распространения кремнистых пород и “кокколитовой” пачки баженовской свиты. *Геология и геофизика*, **58**(3-4), 511-521.
- Эдер В.Г., Костырева Е.А., Юрченко А.Ю., Балущкина Н.С., Сотнич И.С., Козлова Е.В., Замирайлова А.Г., Савченко Н.И. (2019). Новые данные о литологии, органической геохимии и условиях формирования баженовской свиты Западной Сибири. *Георесурсы*, **21**(2), 129-142. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.129-142>
- Mitchener H., Torfs H. (1996) Erosion of mud/sand mixtures. *Coast. Engin.*, **29**, 1-25.
- Tian H., Zhang S., Zhang A. (2016) Test Investigation on Liquefied Deformation Structure in Saturated Lime-Mud Composites Triggered by Strong Earthquakes. *Acta Geologica Sinica* (English Edition), **90**(6), 2008-2021.
- Deev E.V., Zol'nikov I.D., Staroverov V.N. (2012) Some types of deposits and textures as a result of rapid geological processes (on the example of different age complexes of northern Eurasian). *Litosfera*, (6), 14-36. (In Russ.)
- Eder V.G., Kostyrev E.A., Yurchenko A.Yu., Balushkina N.S., Sotnich I.S., Kozlova E.V., Zamirailova A.G., Savchenko N.I. (2019). New data on lithology, organic geochemistry and accumulation conditions of the Bazhenovo Formation in Western Siberia. *Georesources*, **21**(2), 129-142. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.129-142>. (In Russian)
- Eder V.G., Zamirailova A.G., Yan P.A. (2017) The regularities of the distribution of siliceous mudstones and “cololith” member of the bazhenov formation. *Geol. Geofiz.*, **58**(3-4), 511-521. DOI: 10.15372/GiG20170314 (In Russ.)
- Grishkevich V.F., Gatina N.N., Sidorenko A.O., Karpova E.V. (2019a) Petrographic study of the genesis of anomalous sections in the Bazhenovo Formation, the Imilor deposit, Western Siberia. *Litosfera*, **19**(2), 209-227. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-209-227. (In Russian)
- Grishkevich V.F., Kasatkin V.E., Lagutina S.V., Panina E.V., Smolyakov G.A., Sivkova A.V., Shaikhutdinova G.H., Horoshev N.G., Blinkova A.V. (2019b) Evolution of the fluid-conducting system of the Bazhenovo Formation. *Usage ways for West Siberian oil and gas potential*. XXII Scientific-practical Conference Papers. Hanty-Mansiisk, V. 1, 105-126 (In Russian)
- Grishkevich V.F., Lagutina S.V., Panina E.V., Dolmatova S.S. (2019b) Neocomian marine sedimentation of West Siberian basin in general. *Geology of seas and oceans*: Proc. XXIII International Conference on Marine Geology. Moscow, IO RAS, V. 1, 69-73. (In Russian)
- Grishkevich V.F., Lagutina S.V., Panina E.V., Dolmatova S.S., Laptei A.G., Toropov E.S., Starikov V.S., Khoroshev N.G., Blinkova A.V. (2017) Geomechanical model of bazhenov abnormal sequence's generation: physical experiments and practical usage. *Geologiya, Geofizika i Razrabotka Mestorozhdenii Nefti i Gaza*, (3), 33-47. (In Russ.)
- Korovina T.A., Kropotova E.P., Gul'tyaev S.V., Kritskii I.L., Shadrina S.V. (2014) Genetic view to Bazhenovo suite formation and industrial productivity forecasting criteria. *Aktual'nye Problemy Nefti i Gaza*, **2**(10), 21-29. (In Russ.)
- Lisitsyn A.P. (1988) Avalanche sedimentation and deposits interruptions in the seas and oceans. Moscow, Nauka Publ., 309 p. (In Russian)
- Mitchener H., Torfs H. (1996) Erosion of mud/sand mixtures. *Coast. Engin.*, **29**, 1-25.
- Panchenko I.V., Nemova V.D. (2017) Contourites in the Bazhenovo deposits of Western Siberia: formation, distribution and practical significance. *Jurassic system of Russia: problems of stratigraphy and paleogeography*. VII All-Russia Meeting. Moscow. (Eds: V.A. Zakharov, M.A. Rogov, E.V. Shchepetova). Moscow, GIN RAS, 153-157. (In Russian)
- Panchenko I.V., Nemova V.D., Sмирнова М.Е., Ильина М.В., Барабошкин Е.Ю., Ильин В.С. (2016) Stratigraphy and detail correlation of Bazhenov horizon in Western Siberia central part based on lithological and paleontological core studies. *Geologiya Nefti i Gaza*, (6), 22-34. (In Russ.)
- Shchepetova E.V., Panchenko I.V., Baraboshkin E.J., Nemova V.D., Sмирнова М.Е., Зуикова М.В. (2015) Stormogenic deposits in the Bazhenovo Formation of the Frolovskaya megahollow (materials from Western Siberia). *VIII All-Russian Lithological Conf*. Moscow, I.M. Gubkin State University Oil and Gas, V. 1, 312-314. (In Russian)
- Tian H., Zhang S., Zhang A. (2016) Test Investigation on Liquefied Deformation Structure in Saturated Lime-Mud Composites Triggered by Strong Earthquakes. *Acta Geologica Sinica* (English Edition), **90**(6), 2008-2021.
- Usmanov I.Sh., Trofimova E.N., Dyakina A.V., Karlov A.M. (2005) Bazhenovo oil productive limestones of Sugrut's region. *Neftyanoe khozyaistvo*, (12), 19-25. (In Russian)

REFERENCES