

УДК 552.578.2(571.1)

DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-209-227

Опыт петрографического анализа механизма формирования аномального разреза баженовской свиты на Имилорской площади Западной Сибири

© 2019 г. В. Ф. Гришкевич¹, Н. Н. Гатина², А. О. Сидоренко², Е. В. Карпова³

¹Филиал ООО “ЛУКОЙЛ-Инжиниринг” “КогалымНИПИНефть” в г. Тюмень, 625000, г. Тюмень, ул. Республики, 41, e-mail: GrishkevichVF@tmn.lukoil.com

²ЗАО “Моделирование и мониторинг геологических объектов”, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 21, e-mail: nn.gatina@gmail.com

³Московский государственный университет, геологический факультет, 119234, Москва, Ленинские горы, e-mail: karpoff_2002@mail.ru

Поступила в редакцию 05.04.2018 г., принята к печати 24.05.2018 г.

Объект и цель исследований. Аномальные разрезы нефтематеринской баженовской свиты (АРБ) в центральных районах Западно-Сибирского бассейна рассматриваются как результат внедрения оползневых масс с седиментационного склона в слаболифитизированные осадки у его основания. Целью работы является оценка состояния отложений на момент формирования АРБ по особенностям состава и текстуры пород на макро- и микроуровне. **Материалы и методы.** Исследовались разрезы опорных скважин Имилорской площади, взаимодействие пород с песчано-глинистой оползневой пульпой, их объемный вес, пластичность или хрупкость, обусловленные наличием или отсутствием непрерывного минерального каркаса. **Результаты.** В стратотипическом разрезе месторождения по керну и каротажным данным выделено девять региональных пачек. Максимальная глубина стратиграфического проникновения естественного гидроразрыва пород обусловлена их высокой объемной плотностью. Латеральные перемещение основных объемов оползневой массы происходило на уровне первой и второй пачек баженовской свиты, так как эти слои обладали нуль-плавушностью по отношению к внедряющейся пульпе при примерном равенстве их объемных плотностей. Следы таких интенсивных перемещений обнаружены в шлифах на стенках горизонтальных проводящих трещин в виде глинистых примазок толщиной около 0.1 мм со строгой ориентацией всех микрокристаллов вдоль стенок и потока. Показано, что для инклавов баженитов внутри АРБ в целом сохраняется их исходная стратиграфическая последовательность, что подтверждает механизм последовательного расщепления пластин протобаженита в процессе ее всплывания на растущем седиментационном склоне. При расщеплении литифицированных и нелитифицированных прослоев радиоляритов первые крошились из-за знакопеременных нагрузок, а вторые – подвижные радиоляриты – выступали в качестве жидкости их гидроразрыва наряду с песками-плывунами. **Выводы.** Детальное литологическое изучение керна из интервалов ненарушенного залегания баженовской и георгиевской свит и аномальных разрезов позволило произвести их послойное сопоставление, подтвердить оползневую гипотезу и извлечь информацию о степени литификации слоев толщи на момент формирования аномальных разрезов.

Ключевые слова: баженовская свита, аномальный разрез, силицит, карбонат, гидроразрыв

A petrographic study of the genesis of anomalous sections in the Bazhenov Formation, the Imilor deposit, Western Siberia

Vladimir F. Grishkevich¹, Nadezhda N. Gatina², Anna O. Sidorenko², Evgeniya V. Karpova³

¹ООО “KogalymNIPINeft” branch of “LUKOIL-Engineering” in Tyumen, 41 Respubliki st., Tyumen 625000, Russia, e-mail: GrishkevichVF@tmn.lukoil.com

²V.A. Dvurechensky Closed joint-stock company “Modeling and monitoring geological objects by” (CJSC “MiMGO”), 21 Entusiastov hw, Moscow 111123, Russia, e-mail: nn.gatina@gmail.com

³Lomonosov Moscow State University, geological faculty, Leninskiye Gory, Moscow 119991, Russia, e-mail: karpoff_2002@mail.ru

Received 05.04.2018, accepted 24.05.2018

Research subject. Anomalous sections present in the oil- and bituminous-bearing Bazhenov Formation (BF), in the central areas of the West Siberian basin, are considered to have emerged due to the injection of plastic pulp masses from the

Для цитирования: Гришкевич В.Ф., Гатина Н.Н., Сидоренко А.О., Карпова Е.В. (2019) Опыт петрографического анализа механизма формирования аномального разреза баженовской свиты на Имилорской площади Западной Сибири. *Литосфера*, 19(2), 209–227. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-209-227

For citation: Grishkevich V.F., Gatina N.N., Sidorenko A.O., Karpova E.V. (2019) A petrographic study of the genesis of anomalous sections in the Bazhenov Formation, the Imilor deposit, Western Siberia. *Litosfera*, 19(2), 209–227. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-209-227

sedimentation slope into weakly lithified basal deposits. The aim of this research was to evaluate the as-emerged rocks by analyzing their composition and structure at the macro- and micro- levels. *Materials and methods.* We investigated reference well sections in the Imilor deposit to elucidate the interaction of the rocks with sandy-clay landslide pulp, their volumetric weight, ductility or brittleness, caused by the presence or absence of a continuous mineral frame. *Results.* According to core and well logging data, nine regional packs were distinguished in the BF stratotype. The maximal depth of the natural hydraulic fracturing of the rocks is explained by their high bulk density. The lateral movement of the main slump mass is found to have occurred on the stratigraphic level of the first and second BF packs, since these layers possessed zero-buoyancy with regard to the injected pulp under their approximate equality in terms of bulk density. The traces of such active movements were revealed in rock samples from the walls of horizontal cracks in the form of clay intrusions having a thickness of about 0.1 mm and strict orientation of all micro-crystals along the walls and the flow. It is shown that inclusions of the rocks under investigation (bazhenits) in BF are generally characterized by their initial stratigraphic sequence, which is confirmed by the sequential disintegration of proto-bazhenit plates during the process of BF up-floating on a growing sedimentation slope. During the disintegration of the lithified and non-lithified layers of radiolarites, the former crumbled due to alternating loads, while the latter – mobile radiolarites – were represented by the hydraulic fracturing liquid, along with quicksand. *Conclusion.* A detailed petrographic study of core samples from intact deposits of the Bazhenov and George Formations and their anomalous sections have allowed their layer-by-layer comparison to be confirmed the landslide hypothesis and to be derived the information on the degree of lithification of the BF strata during the formation of its anomalous sections.

Keywords: *Bazhenov Formation, abnormal sequences, silicilith, limestone, hydraulic fracturing*

Acknowledgments

The authors expressed appreciation for Ivan Panchenko that made many very useful comments about this paper.

Одним из наиболее изучаемых объектов Западно-Сибирского осадочного бассейна является нефтематеринская битуминозная баженовская свита, стратиграфически залегающая на границе юры и мела. Структура и состав ее отложений подробно описаны во многих публикациях (от [Браду-чан и др., 1986] до [Эдер и др., 2017]). В последней работе расчленение классического ненарушенного разреза георгиевской и баженовской свит осуществлялось на основе региональной литолого-стратиграфической модели [Панченко, Немова, 2015; Панченко и др., 2016] ввиду ее высокой детальности: в общей сложности в ней описано 8 пачек или 13 слоев. Но на 70%-й части территории Имилорского месторождения битуминозный конденсированный разрез осложнен внедрением в него песчано-глинистых осадков, обычно называемых “аномальным разрезом баженовской свиты” (АР), что потребовало определиться с моделью его образования. В качестве рабочей гипотезы была принята оползневая модель формирования АР [Нежданов, 2004; Гришкевич и др., 2017a]. Детальное литологическое изучение керн из интервалов ненарушенного залегания баженовской и георгиевской свит и их аномальных разрезов позволило не только произвести их послойное сопоставление, но и извлечь информацию о степени литификации слоев толщи на момент схода оползня.

ХАРАКТЕРИСТИКА “КЛАССИЧЕСКОГО” РАЗРЕЗА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ В РАЙОНЕ ИМИЛОРСКОЙ ПЛОЩАДИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Для опорного георгиевско-баженовского разреза Имилорской площади выбрана скв. 401Р (рис. 1),

в которой этот интервал охарактеризован сплошным отбором керн. Стратификация разреза получена на основе комплекса палеонтологических, литологических и геохимических данных при увязке с каротажом.

Георгиевская свита представлена преимущественно серыми и темно-серыми глинами аргилитоподобными неравномерно кремнистыми, местами слабо углеродистыми с непостоянной примесью глауконита. Характерно присутствие карбонатных конкреций – известняков, неоднородно доломитизированных, а также сидеритово-фосфатных конкреционных образований. Свита разделена на две пачки. Нижняя – барабинская пачка – песчаники и алевролиты зеленовато-серые биотурбидитовые с аутигенным глауконитом, пиритом, сидеритово-фосфатными конкрециями и рострами белемнитов. Мощность – до 0.5 м. Верхняя пачка представлена глинами аргилитоподобными серыми и темно-серыми в нижней части – со значительной примесью глауконита (до 30%), количество которого вверх по разрезу существенно сокращается. Вверх по разрезу также возникает и растет кремнистая составляющая, вплоть до появления глинистых силицитов. Мощность второй пачки – первые (в среднем 3–5) метры.

Баженовская свита контрастно выделяется аномально высоким содержанием сапропелевого органического вещества ($C_{орг}$), высоким содержанием биогенного кремнезема, повышенной радиоактивностью. Мощность “классических” разрезов баженовской свиты на Имилорском месторождении составляет в среднем 25–30 м. Свита расчленена на 2 толщи, в каждой из которых выделено по 3 пачки (см. рис. 1). Граница толщ отчетливо идентифицируется по радиоактивному каротажу. Ниж-



Fig. 1. Bazhenov formation's thickness map (a, normal and abnormal laying) and its stratotype for Imilorskij field (б, well 401R).

1 – wells, 2 – discontinuous boundaries, 3 – sandstone, 4 – bioturbated glauconitic Barabinsk sandstone, 5 – clay, 6 – glauconitic clay, 7 – limestone, 8 – siliceous argillite-like clay, 9 – carbonate-less argillaceous silicilith, bandy pyriticaceous, 10 – argillaceous-carbonaceous silicilith, bandy pyriticaceous, 11 – argillaceous-carbonaceous silicilith, 12 – argillaceous, organic enrich silicilith, 13 – argillaceous silicilith with organic admixture, 14 – carbonate-less, argillaceous, organic enrich silicilith with *Buchia* bivalves, 15 – argillaceous, organic enrich silicilith with bivalves, 16 – interlaying radiolarities with dominating silicilithes, 17 – argillaceous, organic enrich silicilith with radiolarite's bulbs, 18 – thin interlaying radiolarities with silicilithes, 19 – secondary carbonates over radiolarities.

няя толща имеет преимущественно высокие показатели НКТ и относительно низкие значения ГК, верхняя толща – наоборот. Граница толщ уверенно проводится по инверсии значений указанных кривых. Мощности нижней и верхней толщ примерно равны.

Нижняя толща сложена преимущественно кремнисто-глинистыми углеродистыми отложениями, в которых преобладает биогенный кремнезем радиолярий. Карбонатный биогенный материал практически отсутствует, однако широко развиты вторичные доломиты и известняки, замещающие высококремнистые (или же наименее глинистые) породы. Верхняя толща состоит из карбонатно-глинисто-кремнистых высокоуглеродистых пород с переменным составом компонентов, повышенным содержанием пирита и большим количеством биогенного карбоната, связанного с остатками двустворок и кокколитофорид. Глинистость в верхней толще существенно выше.

В **нижебаженовской толще** выделены три пачки.

Пачка 1. Темно-буровато-серые силициты малоглинистые и низкоуглеродистые ($C_{\text{орг}}$ в среднем 2–5%) однородные и в тонком (3–15 см) переслаивании с пиритизированными линзовидными радиоляритами. Толщина линз от 1–2 до 5 см. В кровле пачки – единичный прослой радиолярита, как правило вторично доломитизированного, мощностью менее 0.5 м.

На кривых ГИС интервал первой пачки соответствует спаду (снизу вверх) значений ИК, слабому подъему БК и ГК. Многочисленные тонкие прослои пиритизированных радиоляритов находят отражение в зубчатой записи кривых ГИС. Мощность пачки около 2 м.

Породы **пачки 2** более кремнистые, содержат линзы кремнистых радиоляритов, повышенное содержание $C_{\text{орг}}$ (до 10%). Суммарная мощность пачки 2 баженовской свиты на месторождении составляет около 10 м.

Пачка 3 – “радиоляритовая”. Представлена тонким (первые сантиметры) чередованием высококремнистых силицитов и радиоляритов, иногда вторично карбонатизированных. $C_{\text{орг}}$ пониженный по отношению к ниже- и вышележащим породам (около 5%). Остатки макрофауны редки, характерны исключительно нектонные формы (рыбы и онихитес). Скелеты радиолярий здесь наиболее крупные, высококонические и насчитывают максимально большое количество камер (до 10–15), что хорошо диагностируется даже в петрографических шлифах. Мощность радиоляритовой пачки в среднем около 2 м.

В **верхнебаженовской толще** также выделяют три пачки.

Пачка 4 – “высокоуглеродистая” – контрастно выделяется аномально высокими содержаниями

органического вещества и радиоактивностью, повышенной глинистостью, выдержанностью по латерали. Нижний *слой (4a)* – темно-серовато-бурые силициты глинистые высокоуглеродистые ($C_{\text{орг}}$ – 10% и более) с тонкими (первые сантиметры) прослойками кремнистых радиоляритов, с редкими двустворками (*Buchia* и *Inoceramus*) и аммонитами. Верхний *слой (4b)* – “иноцерамовый” – аналогичные силициты с большим количеством иноцерамов (монородовые скопления), вплоть до образования ракушняка.

Пачка 5 – “кокколитофоридовая” – силициты карбонатно-глинистые высокоуглеродистые. Подошва пачки отбивается по появлению карбонатистых слоев, насыщенных *Buchia*. С этого интервала породы становятся неоднородно насыщенными биогенным карбонатом – остатками кокколитофорид, в больших количествах появляется фрамбoidalный пирит. Мощность пачки около 5 м.

Пачка 6 – “пиритовая” – сложена тонко-горизонтально-слоистыми углеродистыми кремнистыми глинами с редкими мелкими конкрециями баритового состава, с постоянным присутствием остатков рыб, диагностируемых макроскопически и в петрографических шлифах. На каротажных кривых “пиритовая” пачка выделяется отчетливым понижением значений ГК по отношению к ниже- и вышележащим отложениям. Нейтронный каротаж имеет выдержанные значения. Индукционный и плотностной каротаж снизу вверх показывают плавный подъем значений.

Баженовская свита перекрывается пачкой “подачимовских” глин. Граница очень постепенная, но выше нее происходит качественное изменение большинства геохимических параметров (соотношение петрогенных оксидов, возрастание роли оксидов калия и титана, глинозема и железа, не связанного с серой), существенно снижается $C_{\text{орг}}$ (до кларкового). В подачимовских глинах крайне редки радиолярии, но она насыщена остатками рыб, велико и количество древесного детрита.

ВОПРОС О ГЛУБИНЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПЕСЧАНО-АЛЕВРИТОВЫХ ПОТОКОВ В РАЗРЕЗ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

Из приведенного выше описания следует, что породы георгиевской и баженовской свит образовались из осадков, представлявших смесь главным образом четырех компонентов: флоккул глинистых частиц, силикатных (опаловых) и карбонатных раковин организмов, рассеянного органического вещества (РОВ), кластической (обломочной) примеси алевритовой размерности.

После первоначального уплотнения (обезвоживания) на глубинах до 1–2 м в осадках формируется каркас, принимающий на себя геостатическое давление. При этом в чистых глинистых илах обра-

зуется каркас пелитового типа – за счет перекрытия сольватных оболочек (двойных электрических слоев) и вандерваальсовского взаимодействия (молекулярного притяжения) сближенных субпараллельных частиц. Присутствие любых примесей делает пелитовый каркас нерегулярным, уменьшает его прочность. Принципиально иной механический каркас породы образуется за счет упругих контактов твердых кластических частиц или раковин, когда содержание глин мало и отдельные глинистые глобулы располагаются в порах этого скелета, не образуя единого односвязного тела. Малоглинистые (чистые) радиоляриты обладали таким механическим каркасом контактного типа. Их первоначальная карбонатизация и силицитизация происходили внутри опаловых оболочек, что увеличивало объемный вес породы, но не изменяло механических свойств каркаса. Только на втором этапе, с началом пятнистой карбонатизации (силицитизации), выходящей за пределы раковин, они оказывались соединенными минеральными новообразованиями, теряли свою относительную подвижность, постепенно образуя новый монолитный скелет породы.

Само накопление и диагенетическое преобразование осадков георгиевской и баженовской свит, включая подачимовскую пачку, протекало около 15 млн лет, в этом масштабе времени оползни, формирующие АР, являются очень быстрыми событиями [Деев и др., 2012]

Образование новой зоны АР начиналось с мгновенного события – разрыва подачимовских глин и верхних слоев баженовской свиты оползнем пластового скольжения глинистой покрывки над плавучим ачимовским песчаным пластом, спровоцированного землетрясением [Микуленко, Острый, 1968; Гришкевич и др., 2017а] (рис. 2).

Глубина проникновения трещины-сейсмита определялась положением в разрезе первого сверху протяженного вязко-пластичного слоя, не способного передать вниз напряжение, необходимое для разрыва. Традиционно считается, что среди литологических разностей в разрезе баженовской свиты долго не литифицируются и остаются самыми слабыми глинистые породы с повышенным содержанием органического вещества [Брадучан и др. 1986], а чисто кремнистые породы, сложенные радиоляриями, литифицируются очень быстро – окремневевают или карбонатизируются. Далее по тексту это предположение будет проверено.

Относительная прочность слоев чистого радиолярита и высокоуглеродистого глинистого силицита сравнивается на примере границ карбонатов, залегающих в разрезе скв. 412Р, глубина 3014.47–3015.0 м (рис. 3, 4). Эта граница деформирована – единственная в толще ровно и четко горизонтально слоистых отложений.

По характеру верхней границы слоя (см. рис. 3) видно, что он выступал в качестве подвижной сре-

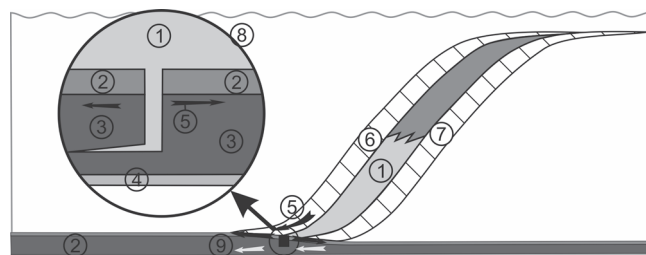


Рис. 2. Геомеханическая модель формирования АРБ. Стадия оползня пластового скольжения.

1 – зыбучий песок, 2 – подачимовские глины, 3 – протобаженит, 4 – георгиевские глины, 5 – напряжение разрыва, 6 – активный блок оползня скольжения (глины), 7 – неподвижное основание оползня, 8 – место и глубина разрыва основания оползня, 9 – направление отжима седиментационных вод баженовских отложений.

Fig. 2. Geomechanical model of Bazhenov abnormal sequence's generation. Stage of slipping slide, braking under-achimovsky clay and protobazhenit.

1 – flowing sand, 2 – Under-Achimov clays, 3 – protobazhenit, 4 – Georgiev clay, 5 – brake stress, 6 – active slipping slide's block (clay), 7 – unmoved slide basement, 8 – down-tagged brake cracks, 9 – Bazhenov sedimentary water flow direction.

ды, деформирующей и перерабатывающей выше-лежащий более прочный глинистый высокоуглеродистый силицит (оба анализируемых прослоя принадлежат “кокколитофоридовой” пачке 5). Из этого карбонатного слоя отобрано три образца. Вещественный состав породы более чем на 80% представлен кальцитом. Согласно петрографическому описанию шлифов, известняки биоморфные, по радиоляритам и целлюлозной клетчатке водорослей, перекристаллизованные, но карбонат преимущественно первичный – кокколитофоридовый. Породы обогащены остаточным скрытокристаллическим кремнеземом при практически полном отсутствии глинистой примеси. Аналогичные карбонатные слои с деформированными границами встречаются в разрезе баженовской свиты и на других площадях.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ НАЛИЧИЯ ПРОВОДЯЩИХ КАНАЛОВ, ОБЕСПЕЧИВШИХ ПРОДВИЖЕНИЕ ПЕСЧАНО- АЛЕВРИТО-ГЛИНИСТЫХ ПОТОКОВ (НАПОРНОЙ ПУЛЬПЫ)

После возникновения зияющей трещины относительно тяжелые пески-плывуны ачимовского пласта (объемная плотность 1.75–1.8 г/см³) получали возможность растекания под относительно легкими протобаженитами, образуя с их мягкими нелитифицированными разностями разнообразные текстуры пластических деформаций и растрескивая из-за возникающих упругих деформаций

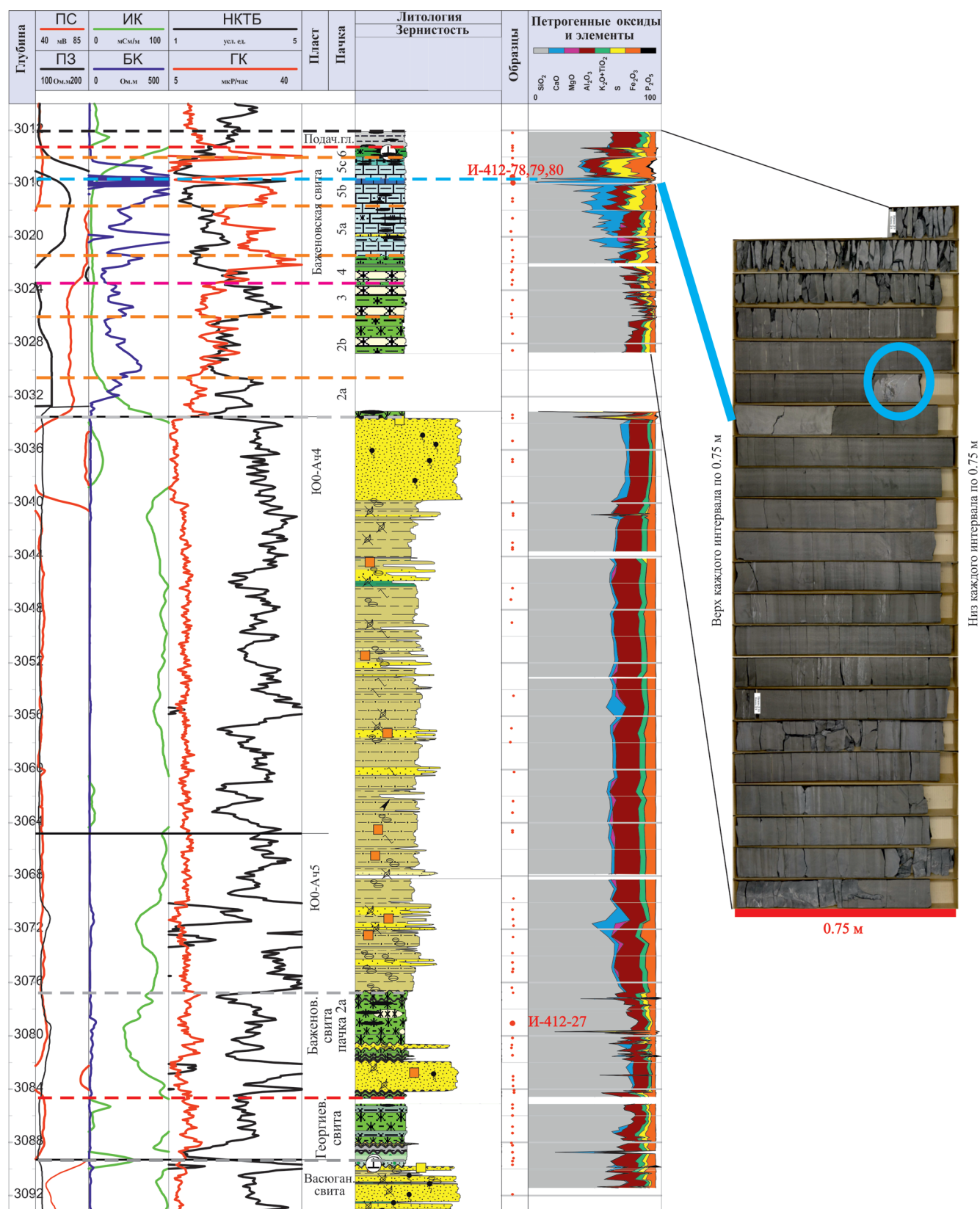


Рис. 3. Стратиграфический разрез скв. 412Р (условные обозначения – см. рис. 1) с фрагментом фотографии керна в дневном свете (помечена кровля карбонатного прослоя).

Fig. 3. Stratigraphical section of well 412R (see legend on Fig. 1) and photos of core in day light (carbonate layer's top is pointed).

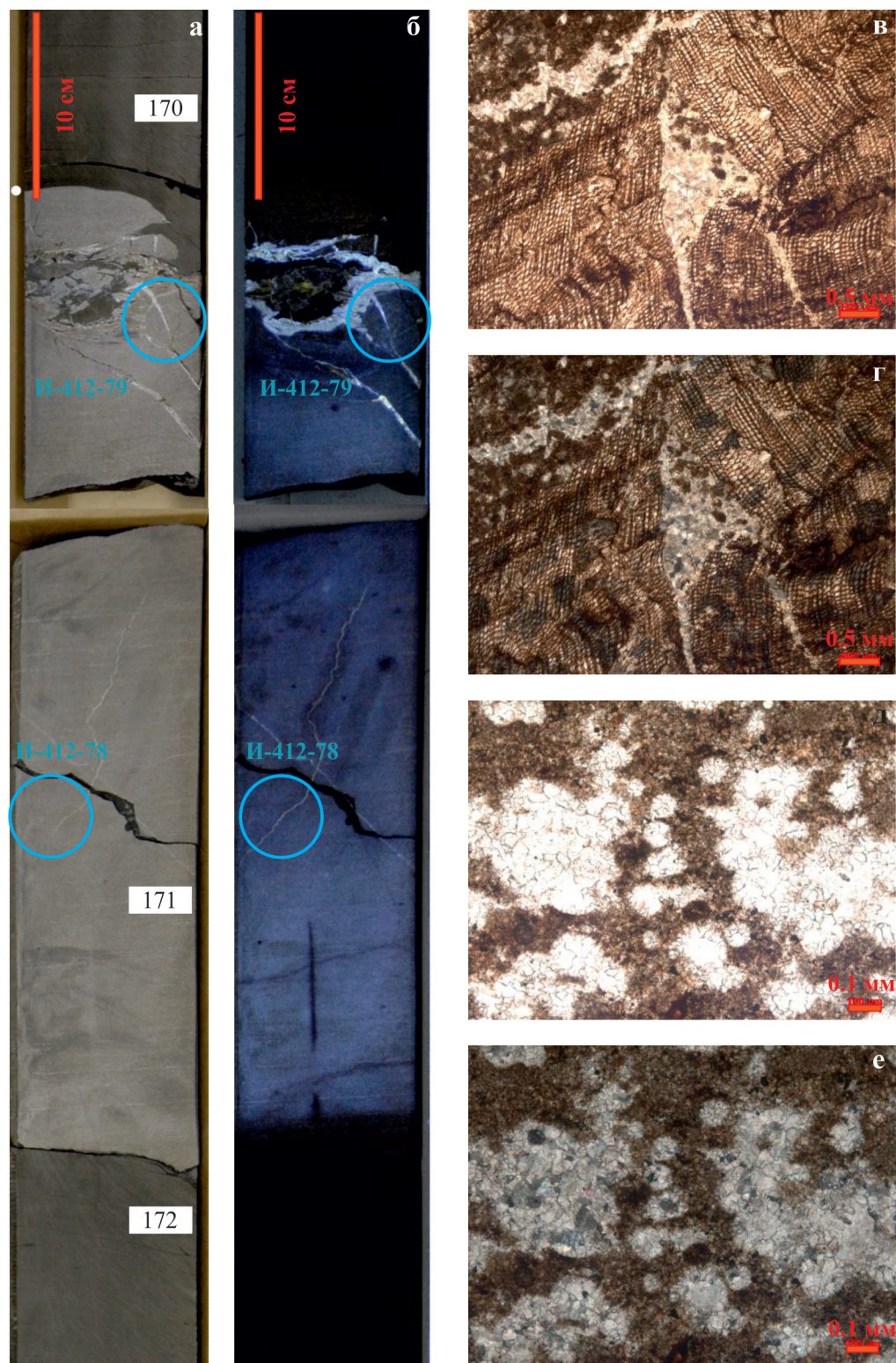


Рис. 4. Фотография ядра в дневном (а) и УФ (б) свете с указанными местами отбора образцов и фотографии шлифов образцов И-412-79 (в, г) и И-412-78 (д, е).

Условия съемки: в, д – николи параллельны; г, е – николи скрещены.

Fig. 4. Photos of core in daylight (a) and UV-light (б) with sampling points of core and photos of them microsections (в, г – sample И-412-79; д, е – sample И-412-78).

Photograph conditions: в, д – nicols are parallel; г, е – nicols are crossed.

литифицированных прослоев. По возникавшим трещинам тяжелая оползневая пульпа получала возможность проникать во все более глубокие слои. Однако основным направлением было латеральное растекание по нелитифицированным прослоям и межслоевым трещинам на глубинах примерно равенства объемных плотностей подвижной песчано-алеврито-глинистой части пульпы и вмещающих пород. По мнению авторов, именно горизонтальные прослои и трещины были проводящими каналами, обеспечившими продвижение напорной пульпы на расстояние в несколько километров, а вертикальные трещины были в основном только оперяющими.

В керне скважин тонкие (первые сантиметры) и более крупные (десятки сантиметров) прослои с отчетливо видной даже на макроуровне градационной слоистостью в песчано-алевритовых прослоях встречаются часто, поэтому не составило труда отобрать несколько образцов и сделать шлифы четко на границе силицит–песчано-алеврито-глинистый прослой, чтобы на микроуровне оценить эту границу.

Песчано-глинистая пульпа является вязкопластичной неньютоновской жидкостью с переменной реологией [Wagner, Brady, 2009; Малкин, 2015]. Она способна снижать свою вязкость за счет реструктуризации – упорядочения и параллелизации глинистых частиц [Osuji, Weitz, 2008], результат этого процесса наблюдается в шлифах в виде чешуйчато-ориентированных аргиллитовых примазок на зеркалах скольжения. Они снижали трение и толщину переходного слоя, обеспечивая быстрое квазиламинарное течение пульпы даже в относительно узких проводящих трещинах [Борзенко, 2009].

Следы прохождения больших объемов песчано-глинистой пульпы по проводящим трещинам обнаружены в ряде шлифов. Примеры из керна разных скважин: шлиф И-412-27, 3076.87 м, верхи баженовской пачки 2а (рис. 5) и И-555-17, 3489.55 м, верхи георгиевской пачки 2 (рис. 6). Песчано-алевритовые пропластки включены в основную вмещающую породу: колломорфный опал-кристобалитовый силицит, углеродистый, слабоглинистый и алевритистый, с горизонтально-линзовидной слоистостью, с реликтами радиолярий, пиритизированный. Четкую, сглаженную поверхность силицита покрывает пленка (толщина 0.1 мм) тонкодисперсного аргиллита. Глинистое вещество ориентированно-чешуйчатое, что выражается в максимумах погасания и просветления, т.е. порода ведет себя как поликристалл, имитирующий монокристалл. Посредством промежуточного слоя (толщина до 0.5 мм) с отчетливой прямой градационной слоистостью аргиллит переходит в мелкозернистый песчаник. Характерно, что микротрещины стенки (см. рис. 6)

перекрыты слоем глинистой примазки, сколотый фрагмент не унесен потоком, а прижат. На основании изложенного данную трещину в силицитах, заполненную песчано-алеврито-глинистым материалом, можно считать проводящей. Зафиксированные случаи проводящих трещин дают возможность оценить стратиграфический интервал пород с нуль-плавучестью (приблизительным равенством объемных весов) по отношению к оползневой пульпе в объеме 1 и 2 пачек баженовской свиты. Иными словами, авторы подошли к объяснению закономерности максимального распределения внедрений песчано-алеврито-глинистого материала именно в нижнюю часть баженовской свиты, а точнее – латеральное перемещение основных объемов оползневой массы происходило на уровне первой и второй пачек баженовской свиты.

Подобные примазки формировались только в проводящих трещинах и отсутствуют в оперяющих. Примером периферийных оперяющих трещин может служить образец вторичных известняков из георгиевской свиты в разрезе скв. 405Р (рис. 7, 8). Затухающие вниз трещины заполнены алеврит-тонкопесчаной смесью с дресвяными обломками вмещающих известняков. Пленки глинистой примазки отсутствуют.

Известняки вторично кристаллические, местами прослеживаются радиоляриевые структуры, в редких случаях наследуется скульптура раковины. Фиксируются редкие участки остаточного колломорфного опалового вещества. Из этого следует, что на момент гидроразрыва сформированные по радиоляритам вторичные известняки имели сплошную, но пористую минеральную матрицу, и даже если предположить, что их пористость на тот момент составляла от 20 до 40%, то при этом их объемная плотность была 2.0–2.2 г/см³, т. е. значительно превышала плотность пульпы, что исключало всплывание обломков и разрастание объема внедрения вниз по разрезу.

Слабая минеральная матрица известняков георгиевской свиты могла разрушаться не только прямыми внедрениями оползневой пульпы, но и из-за знакопеременных динамических нагрузок, возникавших в результате быстрого перестроения вышележащей толщи. Возможно, абразивный эффект продавливания и перемещения нелитифицированных радиоляритов с остроугольными обломками разрушенных пятен карбонатной матрицы обнаружен в образце И-401-7 (3033.55 м), георгиевская свита (см. рис. 1, 9).

Известняк вторичный гигакристаллический, с массовыми микроскладчатыми структурами и структурами cone-in-cone, с включениями слабоглинистых абоморфных силицитов песчано-дресвяной размерности. Известняки имеют “фунтиковую” текстуру (cone-in-cone), обычно возникающую при вертикальном сжатии пород в диагене-

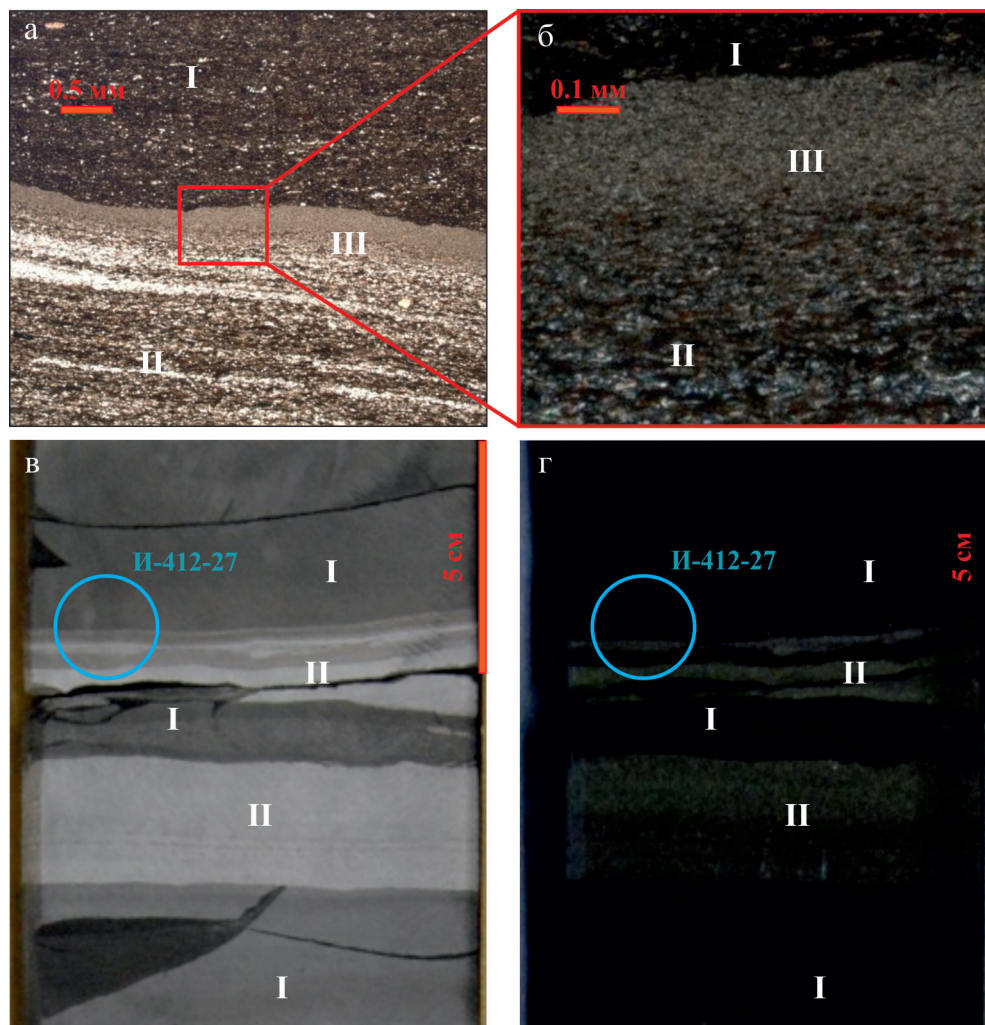


Рис. 5. Фотография шлифа И-412-27 (3076.87 м) (а, б) и керна (в, г) с указанным местом отбора образца.

I – силицит, II – алевро-песчаник, III – глинистая примазка. Условия съемки: а – николи параллельны, б – николи скрещены, в – в дневном, г – в ультрафиолетовом свете.

Fig. 5. Photos of sample's И-412-27 microsection, and core with sampling points.

I – silicilith, II – silty fine sand, III – clayey lubricating layer. Photograph conditions: а – nicols are parallel, б – nicols are crossed, в – daylight and г – UV-light.

зе. В георгиевской свите такие текстуры встречается часто, в том числе вне зон АР. В дополнительном объяснении нуждается механизм появления внутри карбонатов обломков вмещающих пород.

ВОПРОС О ВОЗМОЖНОСТИ СТРАТИФИКАЦИИ ФРАГМЕНТОВ ГЛИНИСТО-КРЕМНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ, ПРИСУТСТВУЮЩИХ В ВИДЕ МАКРО- И МИКРОВКЛЮЧЕНИЙ В ОПОЛЗНЕВОЙ МАССЕ АРБ

Геомеханическая модель формирования АРБ предполагает существование не только высокона-

порного разрушения протобаженитов посредством гидроразрыва оползневой пульпой, но и низконапорное расщепление пластин протобаженитов в процессе их всплывания в полужидких осадках на растущем седиментационном склоне [Гришкевич и др., 20176]. Отщепляемые фрагменты фиксируются, деформируются и частично перерабатываются вмещающими осадками седиментационного склона, сохраняя в общих чертах стратиграфическую последовательность исходной разрушаемой пластины. Это позволяет проводить стратиграфическую идентификацию обломков бажениита по их вещественному составу (рис. 10).

В качестве примера рассмотрена скв. 405Р (см. рис. 7). В ней аномальный разрез баженовской сви-

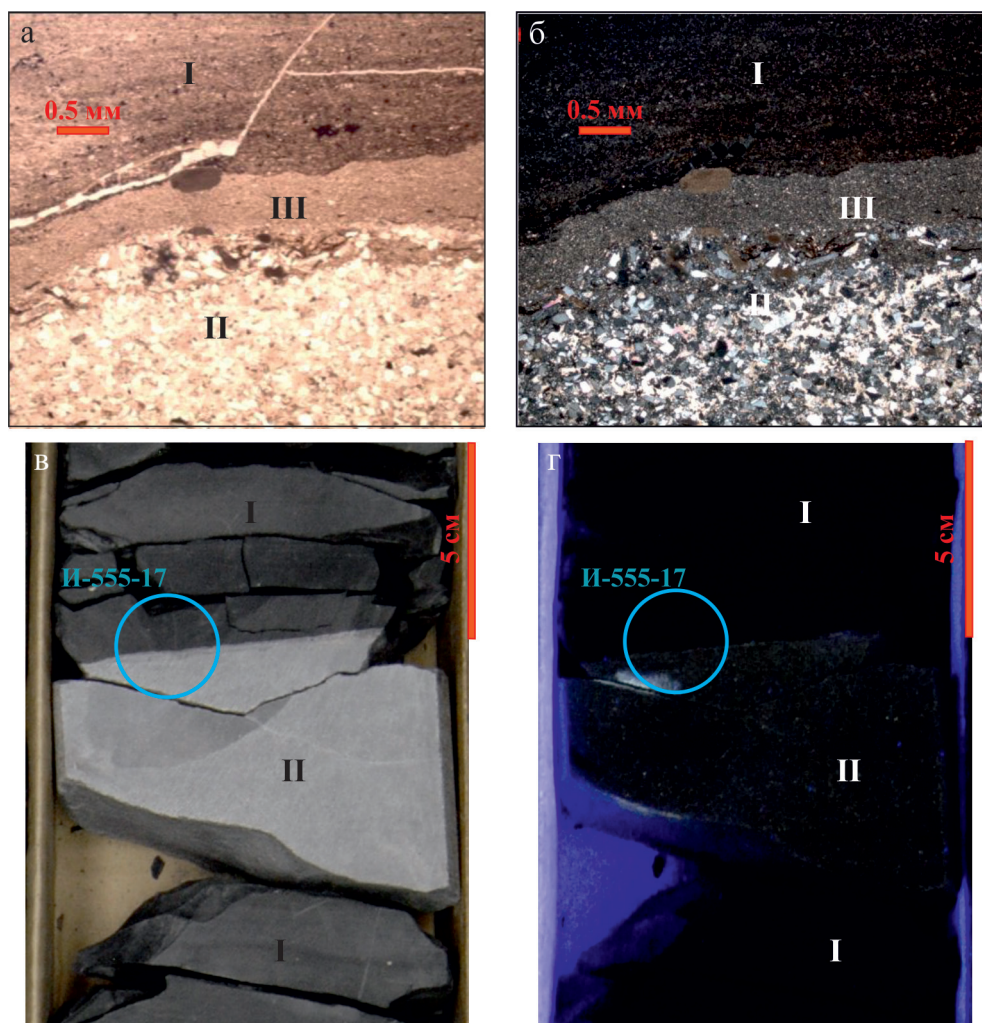


Рис. 6. Фотография шлифа образца И-555-17 и керна с указанным местом отбора образца.
Условные обозначения – см. рис. 5.

Fig. 6. Photos of sample's И-555-17 microsection and core with sampling points.
See legend on Fig. 5.

ты стратиграфически простирается от георгиевской свиты до верхневаланжинского пласта Ач₄ (в номенклатуре подсчета запасов нефти 2017 г.). Почти весь интервал покрыт сплошным отбором керна (на рис. 7 интервал отбора керна можно увидеть в графе “литология”, усл. обозначения – см. рис. 1). Кровля баженовской свиты – баженовская пачка 6 вместе с подачимовскими глинами, а также расположенная ниже георгиевская свита надежно коррелируются по каротажным кривым. Внутренняя же корреляция интервала проблематична. Возможность идентификации пачек и их последовательности по отдельным признакам рассмотрена ниже. Пачки охарактеризованы на данной площади по скв. 401 в ненарушенном (“классическом”) залежании баженовской свиты, о чем было сказано в начале статьи.

Интервал пород нуль-плавуности в скв. 405Р (3073.3–3076.2 м) включает в себя пачки 1 и 2 баженовской свиты, представлен в разрезе непрерывной пластиной с деформированными кровлей и подошвой, отделен от непрерывного разреза георгиевской свиты 3-метровым слоем оползневой пульпы с острообломочными включениями силицитов, перекрыт многометровой толщей оползневой массы с яркими пластическими деформациями песков, алевролитов и глин.

Внутри вышележащей оползневой массы по локальному максимуму радиоактивного каротажа (ГК) достаточно надежно идентифицируется олистолит (останец с видимой толщиной 3.5 м) “высокоуглеродистой” пачки 4, представленный слоями, из которых отобраны обр. И-405-63 (глубина 3047.03 м), И-405-57 (3050.32 м) и И-405-56

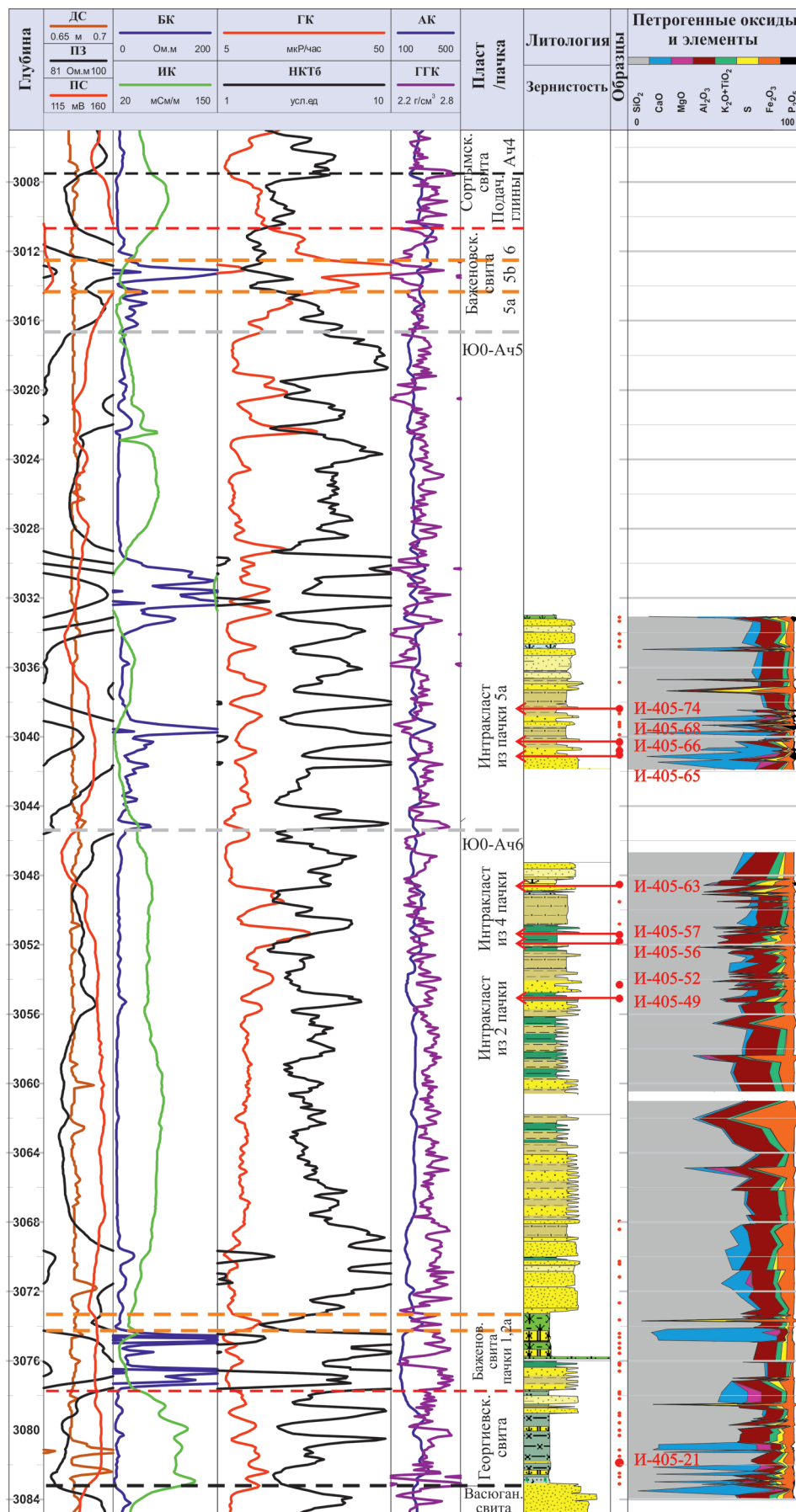


Рис. 7. Скважина 405Р. Интервал аномального строения базеновско-achimovских отложений. Условные обозначения — см. рис. 1.

Fig. 7. Abnormal bazhenovo-achimovo sections of well 405R.

See definition on Fig. 1.

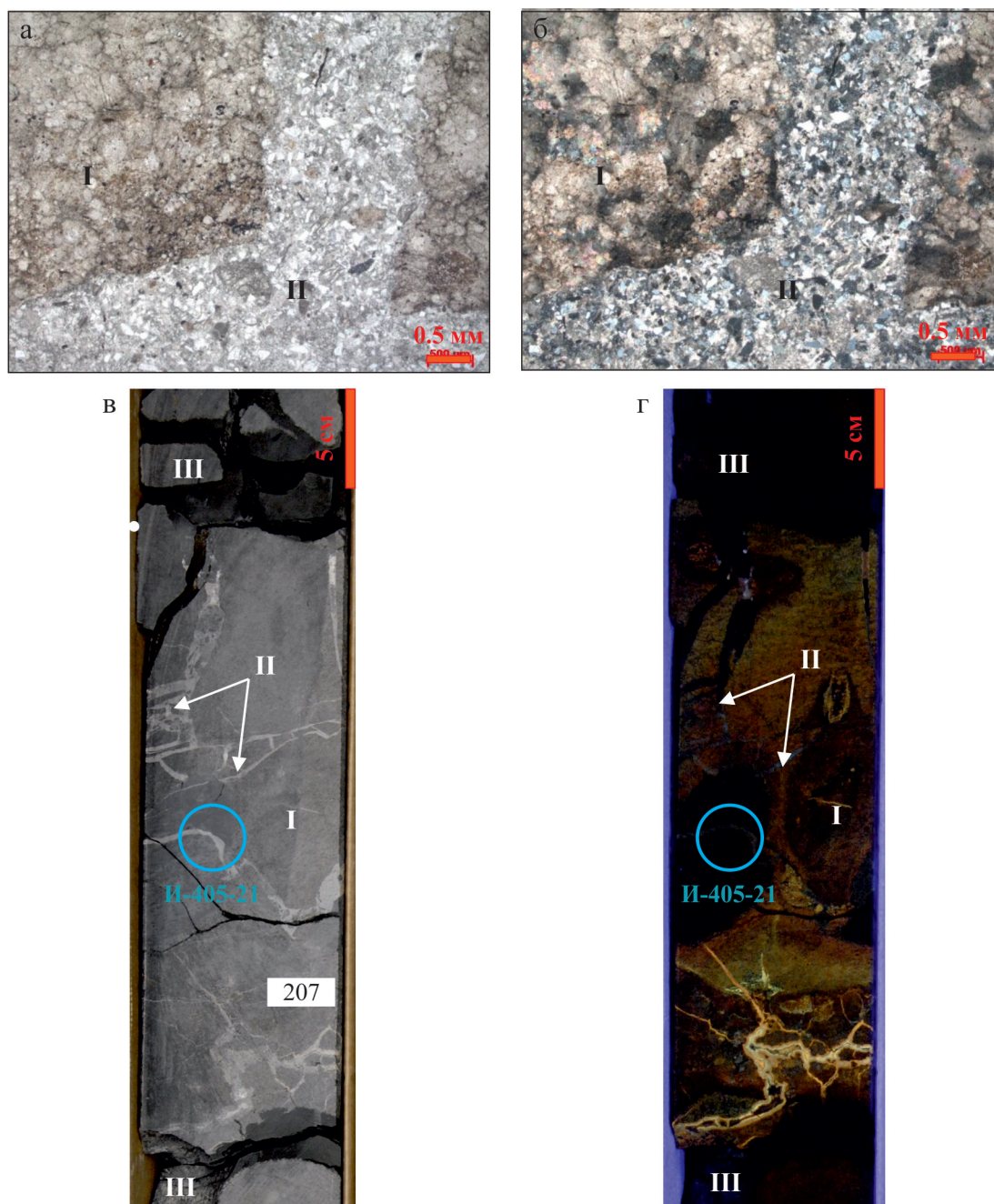


Рис. 8. Фотография шлифа образца И-405-21 (3079.02 м), керна с указанием точки отбора образца.

I – известняк, II – мелкозернистый песчаник, III – глинистый силицит. Условия съемки – см. рис. 5.

Fig. 8. Photos of sample's microsection И-405-21 (3079.02 m), and core with sampling point.

I – limestone, II – finesand, III – clayey silicilith. Photograph condition see on Fig. 5.

(3050.68 м). В шлифе И-405-63 отмечается максимальное содержание керогена, а в шлифе И-405-56 – примесь фосфатного биогенного детрита и цельных скелетных фрагментов, характерных для баженовской пачки 4. Выше 3047 м – останца “высокоуглеродистой” пачки – в аномальном разрезе большинство фрагментов “баженитов” обладают повы-

шенной карбонатностью, характерной для баженовской пачки 5.

Ниже зоны включений пачки 4 (от 3052.5 м) внутри типичной оползневой массы рассредоточены относительно мелкие обломки силицитов с максимально видимыми толщинами до 10–15 см.

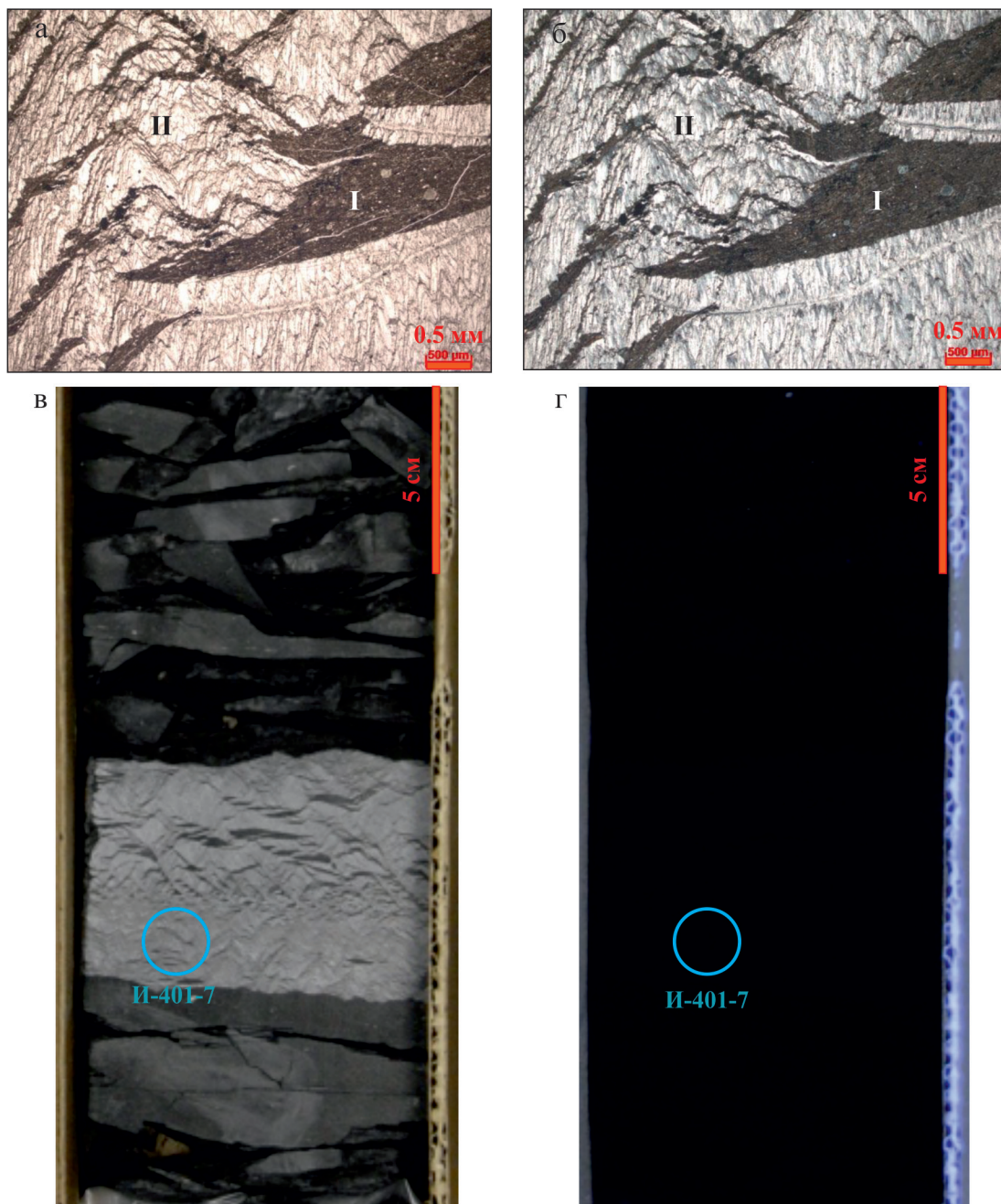


Рис. 9. Фотографии шлифа обр. И-401-7 (3033.55 м) и керна с указанием места отбора образца.

I – глинистый силицит, II – гигакристаллический известняк с фунтиковой текстурой. Условия съемки – см. рис. 5.

Fig. 9. Sample's И-401-7 microsection photos (3033.55 m), and photos of core with sampling point.

I – clayey silicilith, II – mega-crystal cone-in-cone limestone. Photograph condition see on Fig. 5.

Петрографический облик обр. И-405-49 – “кероген-кремнево-глинистая порода, глобулярно-пелитовой структуры, тонко горизонтально- и линзовиднослоистая, со сферами, с небольшой примесью алевроитовых неокатанных зерен кварца, слюды и полевого шпата; пиритизированная, слаботрепещиноватая” – типичен для пород пачки 2.

Более интересен обр. И-405-52 (рис. 11). Хрупкий силицит механически разрушен до щебеночной размерности при бурении, порода содержит более светлые угловатые включения. В шлифе основная порода – силицит колломорфный, опаловый с реликтами радиолярий, сильноглинистый (25–30%) и слабоалевритистый, пропитанный ОВ

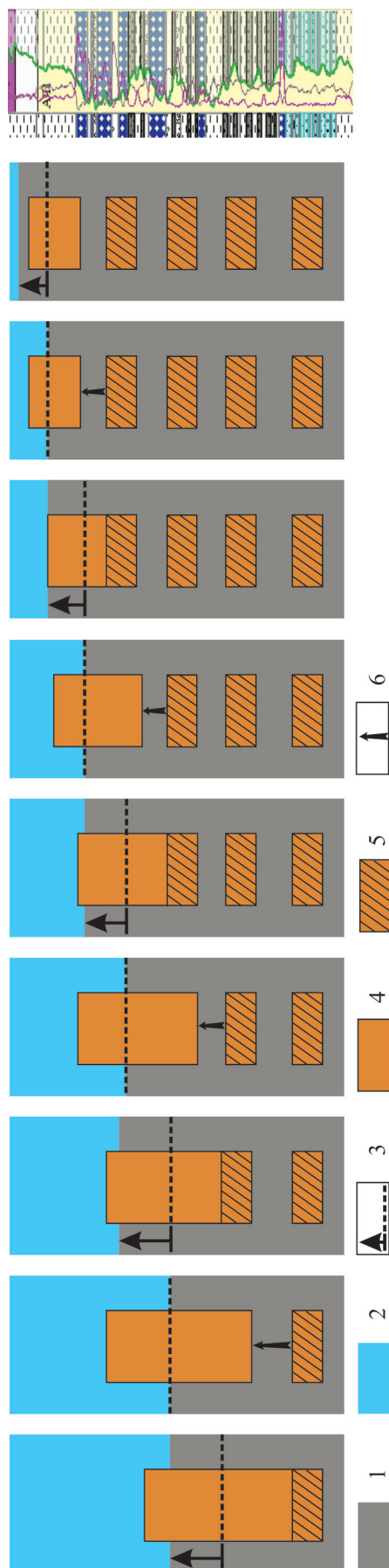


Рис. 10. Геомеханика расщепления протобаженита при всплывании.

1 – полужидкие осадки; 2 – водная толща; 3 – ступенчатый прирост склона; 4, 5 – сохраняемая и отщепляемая части пластины баженита; 6 – всплывание пластины после ее раскола.

Fig. 10. Geomechanical schema of splitting protobazhenit plate during up-floating.

1 – semiliquid sediments; 2 – water volume; 3 – stair slope grows; 4, 5 – saved and splitted parties of protobazhenit mat; 6 – after-splitting plate up-floating.

и тонкодисперсным пиритом, горизонтально- и линзовиднослоистый. Перпендикулярно слоистости его рассекает трещина, заполненная силицитом колломорфным опаловым, абиоморфным, слабоглинистым, без реликтов радиолярий и с редкими примазками ОВ. Единственно возможное объяснение такой текстуры – разрушение во время внедрения оползня литифицированных прослоев глинистого силицита и заполнение возникающих пустот подвижным радиоляритом из малоглинистых прослоев. Таким образом, нелитифицированные радиоляриты, наряду и одновременно с песками-плывунами, могли служить жидкостью гидроразрыва пород.

Аналогичные взаимоотношения наблюдаются между карбонатизированными и нелитифицированными радиоляритами в их разрушенных переслаиваниях. Интервал глубин 3039.7–3041.2 м в керне скв. 405Р визуально классифицируется как зона брекчирования неравномерно карбонатизированных радиоляритов. (рис. 12). Снизу (обр. И-405-65, 3041.38 м) интервал начинается типичным вторичным известняком по радиоляритам (см. обр. И-412-78, рис. 4). В одном из обломков брекчии взят обр. И-405-66 (3041.16 м) (рис. 13), он состоит из двух разновидностей силицита: радиолярита опал-кristобалитового, со слабо кристаллизованным межкомпонентным матриксом (15–20%) опал-кristобалитового состава (рис. 13а, б), радиолярита пятнистого за счет избирательной, крупночастиковой кальцитизации (50%) породы (рис. 13в, г).

Остроугольные обломки карбонатизированных силицитов взвешены в некарбонатных разностях силицитов и алевритистых карбонатизированных песках пульпы. Стенки трещины на разделе пульпа-силицит неровные, глинистые примазки отсутствуют, алевриты пульпы не слоистые (рис. 14). Наряду с разрывами наблюдаются разнообразные пластические деформации пород. При этом пластические деформации литифицированных разностей подвижными радиоляритами могли приводить к образованию их включений. Аналогичные результаты эрозии зафиксированы выше по разрезу еще в одном шлифе И-405-74, 3038.4 м. Стратиграфически исходное переслаивание, наиболее вероятно, является аналогом баженовского слоя 5а.

ВЫВОДЫ

Последние годы Имилорское месторождение интенсивно изучается, разбуривается и вводится в разработку. Модель его геологического строения, в том числе и аномальных разрезов баженовской свиты, в общих чертах устоялась. Она базируется главным образом на сейсмической информации и данных геофизического исследования скважин (ГИС) [Гришкевич и др., 2017а–в]. На базе этой модели

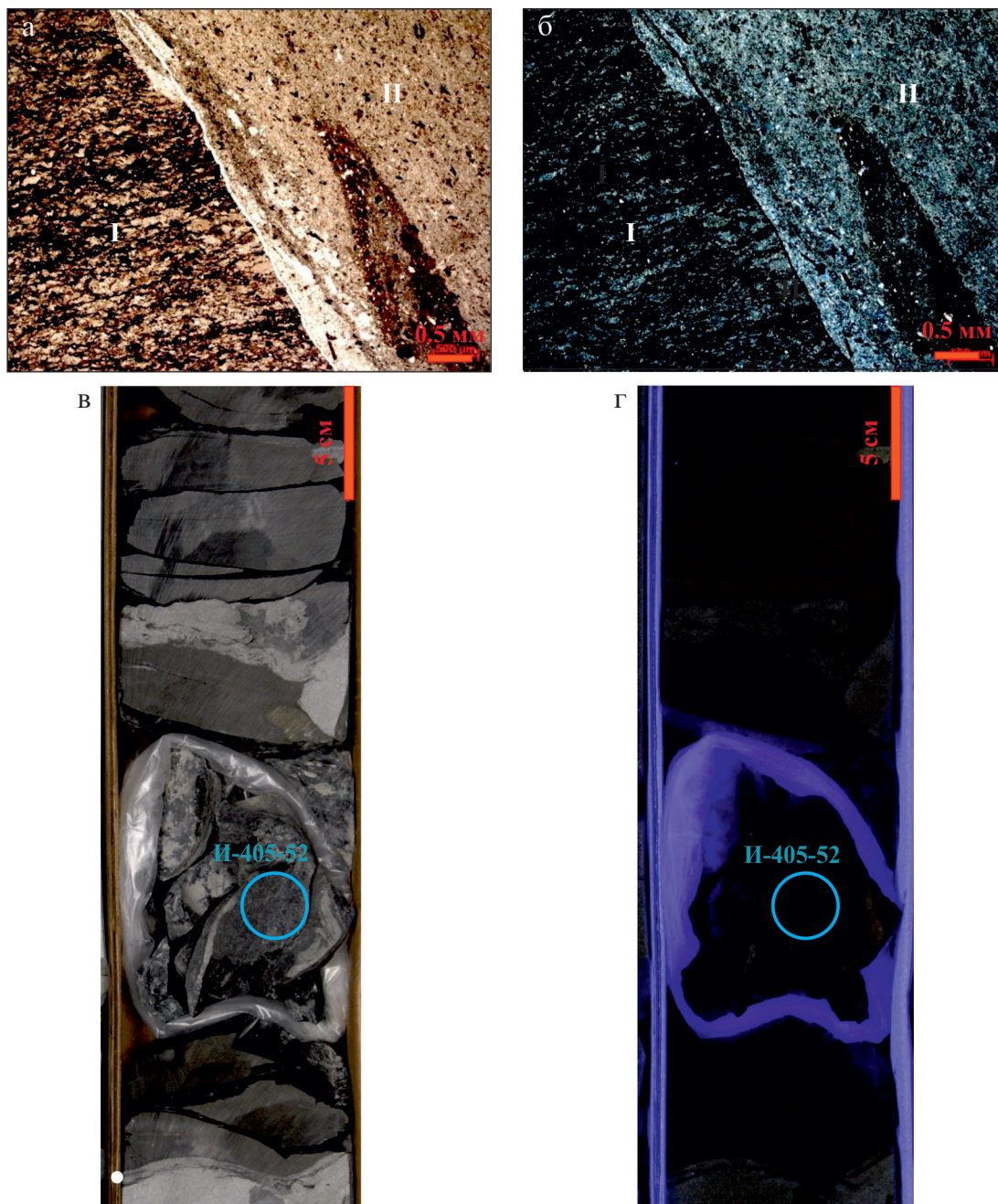


Рис. 11. Фотографии шлифа обр. И-405-52 (3052.99 м) и керна с указанием точки отбора образца.

I – глинистый силицит, обогащенный ОВ; II – слабоглинистый силицит, без признаков ОВ. Условия съемки – см. рис. 5.

Fig. 11. Photos of sample's И-405-52 microsection and core with sampling points.

I – clayey organic enrich silicilith; II – pure silicilith with low argillic and organic admixtures. Photograph condition see on Fig. 5.

осуществлен целенаправленный отбор керна и его петрографическое изучение для проверки принципиальных моментов образования аномальных разрезом баженовской свиты.

Установлено, что максимальная глубина стратиграфического проникновения естественного гидро-разрыва пород – до вторичных карбонатов георги-

евской свиты – обусловлена их высокой объемной плотностью. Латеральное перемещение основных объемов оползневой массы происходило на уровне пачек 1 и 2 баженовской свиты, так как эти слои обладали нуль-плавуучестью по отношению к внедряющейся пульпе при примерном равенстве их объемных плотностей. Следы таких интенсивных пе-

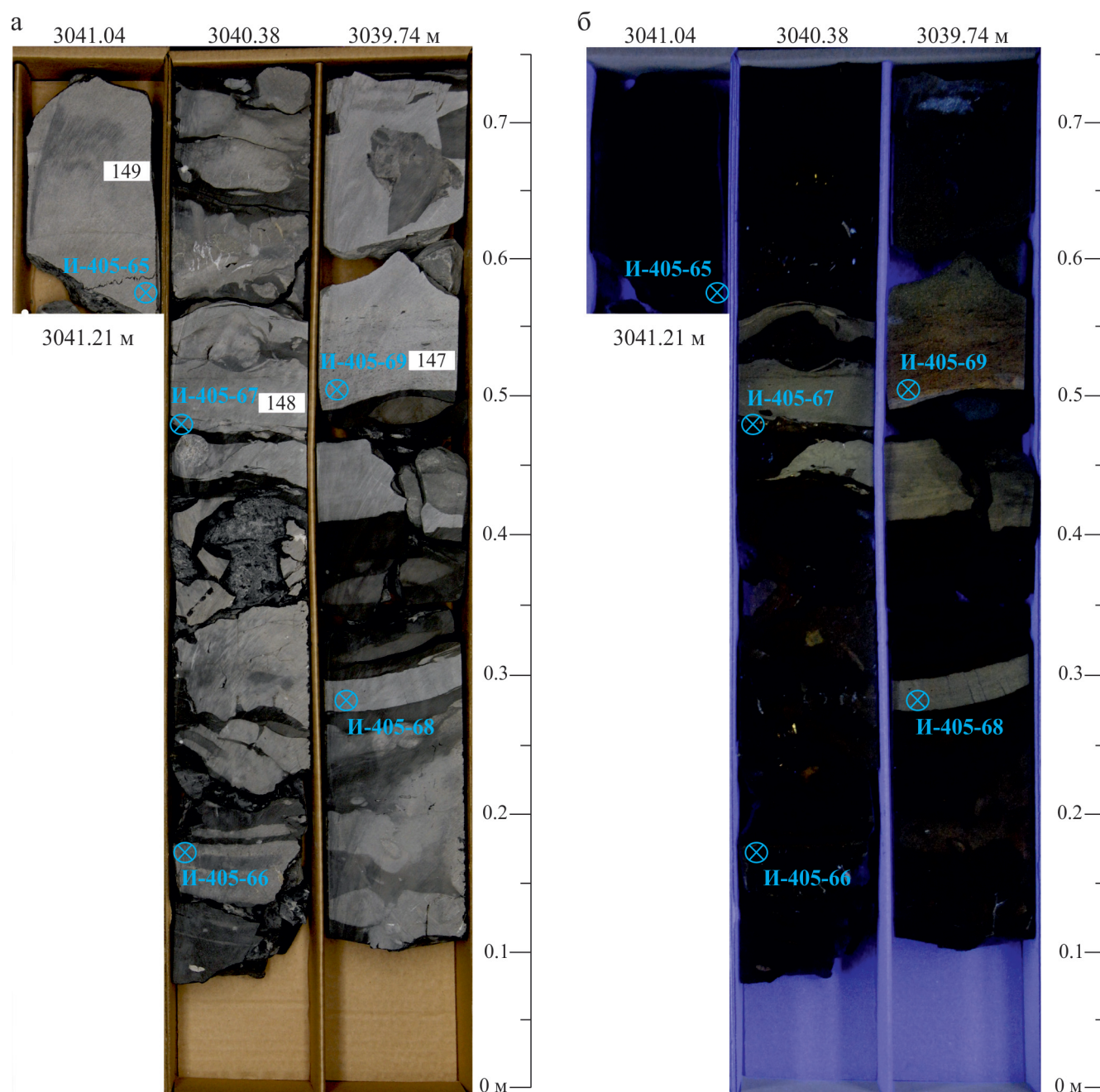


Рис. 12. Фотография керна скв. 405Р с указанием точек отбора образцов (интервал глубин по бурению – 3039.74–3041.21 м) (а – в дневном, б – в ультрафиолетовом свете).

Fig. 12. Photos of core between drilling depths 3039.74–3041.21 m with sampling points (a – daylight, б – UV-light).

ремещений обнаружены в шлифах на стенках горизонтальных проводящих трещин в виде глинистых примазок толщиной около 0.1 мм со строгой ориентацией всех микрокристаллов вдоль стенок и потока. Показано, что механизм последовательного расщепления пластины протобаженита в процессе ее всплывания на растущем седиментационном склоне подтверждается сохранением для об-

ломков баженитов их исходной стратиграфической последовательности. Установлено, что при расщеплении переслаиваний литифицированных и нелитифицированных прослоев радиоляритов первые крошились из-за знакопеременных нагрузок, а вторые – подвижные радиоляриты – выступали в качестве жидкости их гидроразрыва, наряду с песками-плывунами.

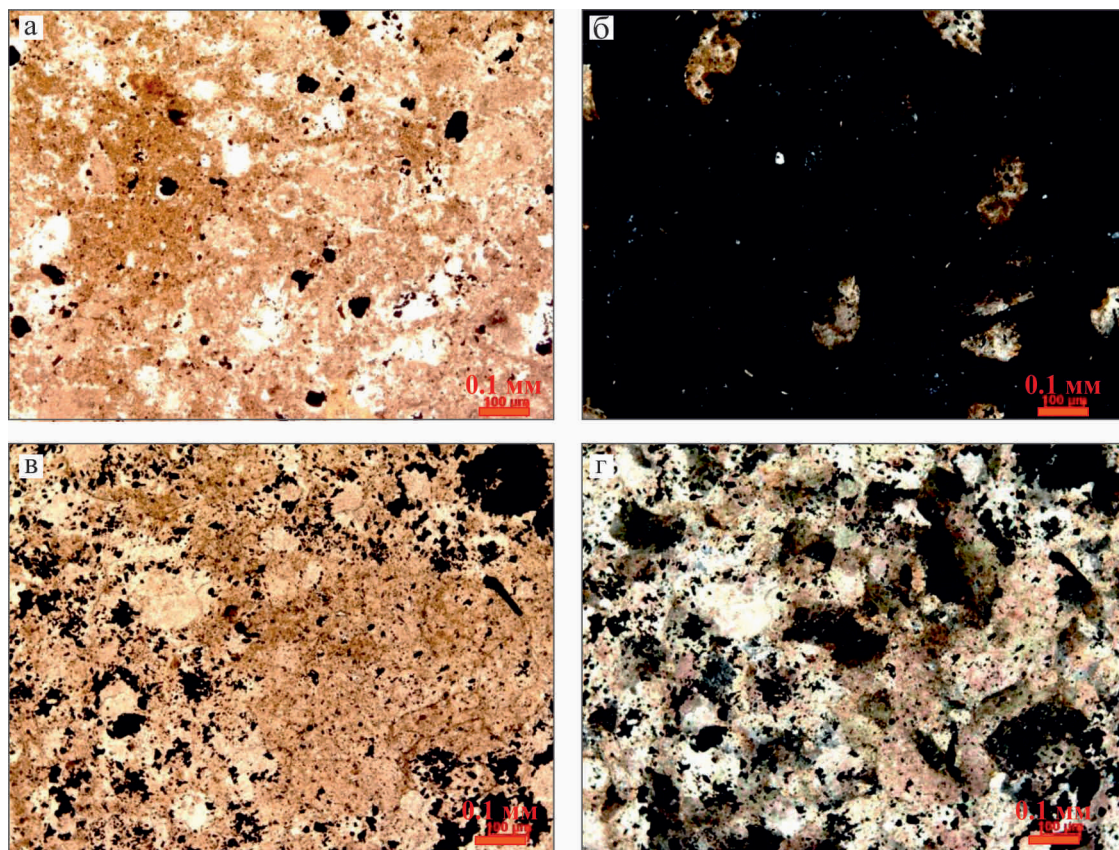


Рис. 13. Фотография шлифа № И-405-66 (3041.16).

а, б – опал-кристобалитовый радиолярит; в, г – радиолярит с пятнистой кальцитизацией. Условия съемки: а, в – николи параллельны; б, г – николи скрещены.

Fig. 13. Sample's И-405-52 (3041.16) microsection photos.

а, б – opal-cristobalitic radiolarite; в, г – spotty calcinated radiolarite. Photograph condition: а, в – nicols are parallel; б, г – nicols are crossed.

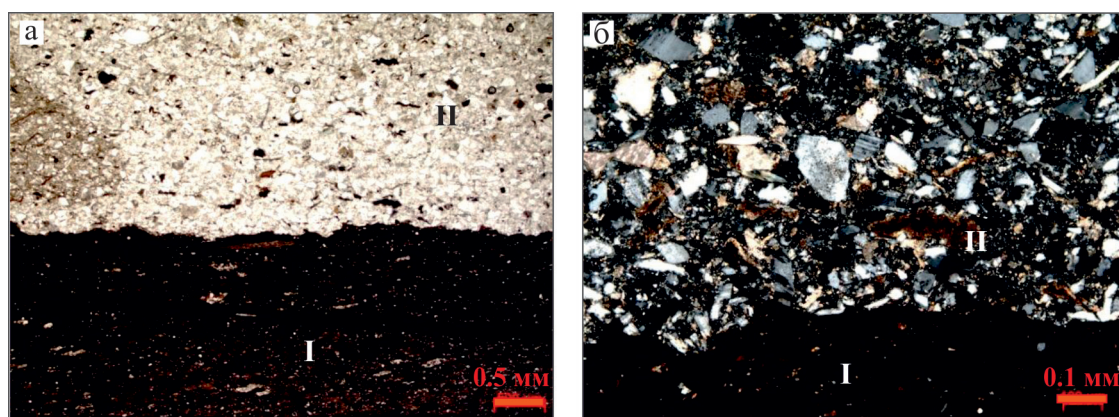


Рис. 14. Фотография шлифа № И-405-68 (3040.4 м).

I – глинистый силицит, II – алевритистый мелкозернистый песчаник. Условия съемки: а – николи параллельны, б – николи скрещены.

Fig. 14. Sample's И-405-52 microsection photos (3040.4 m).

I – clayey silicilith, II – silty fine sandstone. Photograph condition: а – nicols are parallel, б – nicols are crossed.

Полученные результаты, с одной стороны, на уровне микроструктуры пород подтвердили гидро-разрыв баженинов оползневой пульпой в качестве главного механизма формирования АР. С другой стороны, выяснилось, что на петрографическом уровне оказались зафиксированными свойства – степень литификации – различных литологических разностей пород баженовской и георгиевской свит на момент внедрения оползня. Эта информация может быть полезна при уточнении теоретической модели поэтапной литификации георгиевско-баженовских пород.

Авторы выражают свою искреннюю признательность И.В. Панченко, чья аргументированная критика способствовала улучшению текста статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Борзенко Е.И. (2009) Численное моделирование течений реологически сложной жидкости в плоских каналах. Томск: ТГУ, 20 с.
- Брадучан Ю.В., Булыникова С.П., Вячкилева Н.П., Гольберт А.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А., Климова И.Г., Козлова Г.Э., Лебедев А.И., Месежников М.С., Нальняева Т.И., Турбина А.С. (1986) Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтегазоносность). Новосибирск: Наука, 216 с.
- Гришкевич В.Ф., Гатина Н.Н., Долматова С.С., Лагутина С.В., Лаптей А.Г., Межецкий В.В., Панина Е.В. (2017б) О следах раскола островов протобаженита на седиментационном палеосклоне. *Литосфера*, (4), 48-61.
- Гришкевич В.Ф., Касаткин В.Е., Лагутина С.В., Москаленко Н.Ю., Смоляков Г.А., Панина Е.В., Лаптей А.Г., Торопов Э.С., Стариков В.С., Хорошев Н.Г., Блинкова А.В., Черноскулова В.А. (2017в) Некоторые аспекты совместного моделирования отложений ачимовской толщи и аномальных разрезов баженовской свиты. *Геология, геофизика и разработка месторождений нефти и газа*, (9), 27-42.
- 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. (2017а) 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.
- Малкин А.Я. (2015) Реология суспензий. *Реология и физико-химическая механика гетерофазных систем*. М.: МГУ, 6-9.
- Микуленко К.И., Острый Г.Б. (1968) Оползневые образования в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. *Литология и полез. ископаемые*, (5), 11-18.
- Нежданов А.А. (2004) Геолого-геофизический анализ строения нефтегазоносных отложений Западной Сибири для целей прогноза и картирования неантиклинальных ловушек и залежей УВ. Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Тюмень: ТюмГНГУ, 458 с.
- Панченко И.В., Немова В.Д. (2015) Детализация строения разреза баженовского горизонта путем выделения литолого-палеонтологических маркеров. *Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа-Югры*. Вып. XVIII, т. 1, 87-92.
- 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 керны и ГИС. *Геология нефти и газа*, (6), 22-34.
- 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.
- Osuji C.O., Weitz D.A. (2008) Highly anisotropic vorticity aligned structures in a shear thickening attractive colloidal system. *Soft Matter*. Advance Articles DOI: 10.1039/b716324j
- Wagner N.J., Brady J.F. (2009) Shear thickening in colloidal dispersions. *Physics Today*, American Institute of Physics, S-0031-9228-0910-010-8, 27-32.

REFERENCES

- Borzenko E.I. (2009) *Chislennoe modelirovanie techenii reologicheski slozhnoi zhidkosti v ploskikh kanalakh* [Numeral modeling of tricky rheological fluid within plate slots]. Tomsk, Tomsk State Univ. Publ., 20 p. (In Russian)
- Braduchan Ju.V., Bulynnikova S.P., Vyachkileva N.P., Gol'bert A.V., Gurari F.G., Zakharov V.A., Klimova I.G., Kozlova G.E., Lebedev A.I., Mesezhnikov M.S., Nal'nyaeva T.I., Turbina A.S. (1986) *Bazhenovskii gorizont Zapadnoi Sibiri (stratigrafiya, paleogeografiya, ekosistema, neftegazonosnost')* [Bazhenov horizon of the West Siberia: stratigraphy, paleogeography, ecosystem, oil and gas productivity]. Novosibirsk, Nauka Publ., 216 p. (In Russian)
- 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 Russian)
- Eder V.G., Zamirailova A.G., Yan P.A. (2017) The regularities of the distribution of siliceous mudstones and “coccolith” member of the bazhenovformation. *Geol. Geofiz.*, 58(3-4), 511-521. (In Russian)
- Grishkevich V.F., Gatina N.N., Dolmatova S.V., Lagutina S.V., Laptei A.G., Mezhetetskii V.V., Panina E.V. (2017б) Lithological markers of protobazhenit mats splitting on sedimentary slope. *Litosfera*, (4), 48-61. (In Russian)
- Grishkevich V.F., Kasatkin V.E., Lagutina S.V., Moskalenko N.Yu., Smolyakov G.A., Panina E.V., Laptei A.G., Tоропов E.S., Starikov V.S., Horoshev N.G., Blinkova A.V., Chernoskulova V.A. (2017в) Some aspects of Achimovo layers and abnormal sequences Bazhenovo Formation joint modeling. *Geologiya, geofizika i razrabotka mestorozhdenii nefiti i gaza*, (9), 27-42. (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. (2017a) Geomechanical model of bazhenov abnormal sequence's generation: physical experiments and practical usage. *Geologiya, geofizika i razrabotka mestorozhdenii nefii i gaza*, (3), 33-47. (In Russian)
- Malkin A.Ja. (2015) Rheology of suspenszion. *Reologiya i fiziko-khimicheskaya mekhanika geterofaznykh system* [Rheology and physic-chemical mechanics of heterophase systems]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 6-9. (In Russian)
- Mikulenko K.I., Ostryi G.B. (1968) Slump formations in West Siberian Mesozoic deposits. *Litol. Polezn. Iskop.*, (5), 11-118. (In Russian)
- Nezhdanov A.A. (2004) *Geologo-geofizicheskii analiz stroeniya neftegazonosnykh otlozhenii Zapadnoi Sibiri dlya tselei prognoza i kartirovaniya neantiklinal'nykh lo-vushek i zalezhei UV*. Dis. ... dokt. geol.-min. nauk [Geological and geophysical feature analyses of West Siberia oil productive sediments for non-anticline HC traps forecasting and mapping]. Doct. geol. and min. sci. diss., 458 p. (In Russian)
- Osuji C.O., Weitz D.A. (2008) Highly anisotropic vorticity aligned structures in a shear thickening attractive colloidal system. *Soft Matter*. Advance Articles DOI: 10.1039/b716324j
- Panchenko I.V., Nemova V.D. (2015) Bazhenov horizon detail reconstruction by lithological-paleontological marker's definition. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Puti realizatsii neftegazovogo i rudnogo potentsi-ala Hanty-Mansiiskogo Avtonomnogo Okruga-Yugry"*. Vyp. XVIII, t. 1 [Ways of realization of oil and gas and ore potential of Khanty-Mansiisk Autonomous Okrug-Ugra. Proc. XVIII, vol. 1], 87-92. (In Russian)
- Panchenko I.V., Nemova V.D., Smirnova M.E., Il'ina M.V., Baraboshkin E.JU., Il'in V.S. (2016) Stratigraphy and detail correlation of Bazhenov horizon in Western Siberia central part based on lithological and paleontological core studies. *Geologiya nefii i gaza*, (6), 22-34. (In Russian)
- Wagner N.J., Brady J.F. (2009) Shear thickening in colloidal dispersions. *Physics Today*, American Institute of Physics, S-0031-9228-0910-010-8, 27-32.