

КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ВНУТРИ ЗОН АНОМАЛЬНОГО РАЗРЕЗА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА ПРИМЕРАХ ПОТОЧНОЙ, СПОРЫШЕВСКОЙ, ВЫИНТОЙСКОЙ И ВАТИНСКОЙ ЗОН

Н. Н. Гатина¹*, М. Ф. Сариева¹, О. С. Мухутдинова¹,
А. Ю. Попков¹, и С. С. Гаврилов¹

¹ЗАО «Моделирование и мониторинг геологических объектов» им. В. А. Дзуреченского, Москва, Россия

Получено 13 апреля 2023 г.; принято 28 апреля 2023 г.; опубликовано 2 мая 2023 г.

Баженовский горизонт Западной Сибири традиционно является одним из наиболее изучаемых геологами и геофизиками объектов в последние десятилетия, однако, наряду с более привычным «классическим» строением, известны области, где между карбонатно-глинисто-кремнистых пород собственно баженовской свиты присутствуют сероцветные включения песчано-алевритово-глинистых отложений, такие разрезы получили название «аномальных». В работе обсуждается применение метода спектральной декомпозиции для детализации строения зон аномальных разрезов баженовской свиты (АР) Широкого Приобья. Комплексирование результатов динамической интерпретации сейсмических материалов 3D с данными ГИС по обширному фонду поисково-разведочных и эксплуатационных скважин позволило построить сейсмогеологическую модель зоны АР на Поточной площади, а затем апробировать подходы на существенно менее изученных бурением Спорышевской, Выинтойской и Ватинской зонах. Перечисленные зоны образованы в разное геологическое время, относятся к разным региональным клиноформам, но имеют общие закономерности строения, что отражено в объемной сейсмогеологической модели зон АР Широкого Приобья. В модели отражены дистальная и проксимальная части тела внедрения, образовавшегося в неокомское время, когда под действием сил гравитации потоки песчано-алевритового материала внедрились и распространились внутри высокобитуминозных баженовских пород, а в пределах проксимальной части сопровождалась пластическими оползаниями более глинистых пород. Показаны размеры этих потоков и оползневых тел, их расположение по площади, обсуждается их выделение в сейсмическом волновом поле. В данной работе удалось ближе подойти к решению вопроса прогнозирования развития преимущественно песчаных отложений, а соответственно и коллекторов, в отложениях зон АР Широкого Приобья, что является актуальной задачей в связи с открытыми, но недостаточно изученными залежами нефти в зонах АР.

Ключевые слова: баженовская свита, песчаные инжектиты, аномальный разрез, ХМАО, ЯНАО, спектральная декомпозиция, сейсмические материалы 3D, ачимовская толща, оползень, тело внедрения, клиноформный комплекс, АР, АРБ, крип, гравитационные процессы.

Цитирование: Гатина, Н. Н., М. Ф. Сариева, О. С. Мухутдинова, А. Ю. Попков, и С. С. Гаврилов (2023), Ключевые моменты интерпретации сейсмических данных внутри зон аномального разреза баженовской свиты на примерах Поточной, Спорышевской, Выинтойской и Ватинской зон, *Russ. J. Earth. Sci.*, т. 23, ES2003, doi: 10.2205/2023ES000851

ВВЕДЕНИЕ

Высокобитуминозные глинисто-кремнистые породы баженовской свиты выделяются са-

мыми низкими в разрезе осадочного чехла центральной части Западной Сибири значениями скоростей продольных и поперечных волн, а также низкими значениями плотности, при этом подстилающие (георгиевские, васюганские) и перекрывающие (клиноформные ачимовские) отложения характеризуются существенно более

Контакты:

*Н. Н. Гатина, nn.gatina@gmail.com

высокими значениями акустического импеданса. Соответственно, интенсивность отражающего горизонта (ОГ), формирующегося вблизи кровли баженовской свиты, ОГ Б делает его реперным, однозначно опознаваемым в волновом поле.

Локально встречаются изменения в уверенно прослеживаемом горизонте, которые были названы «аномальными», сокращенно АРБ или АР. Аномальный тип на временных сейсмических разрезах характеризуется отсутствием устойчивой формы записи, скачкообразным изменением ОГ Б без изменений в волновой картине ниже по разрезу – в юрском интервале, встречаются резкие изменения амплитуды вплоть до полного прекращения прослеживаемости ОГ Б. Сейсмическая корреляция в зонах АР сложна и неоднозначна из-за хаотичного (на первый взгляд) поведения фаз. В данной статье показан подход к картированию коллектора на качественном уровне, методы количественного прогноза распространения коллектора внутри зон АР еще только предстоит разработать.

Природа возникновения зон АР обсуждается исследователями уже более 50 лет, до сих пор вызывая споры и полярные мнения, хотя с каждым годом все больше ученых склоняется в сторону подводно-оползневой гипотезы.

Исследователи, кто наряду с изучением керн на большое внимание уделяет сейсмическим материалам, сходятся во мнении, что аномальные разрезы неразрывно связаны с условиями и процессами формирования ачимовских отложений клиноформного комплекса [Бородкин и др., 2021; Нежданов и др., 2017; Гришкевич и др., 2017b]. Подводно-оползневая гипотеза учитывает эту связь и подразумевает наличие тела внедрения более молодых ачимовских песчано-алевритно-глинистых включений неокомского возраста в более древние накопившиеся ранее баженовские карбонато-глинисто-кремнистые породы. Более молодой возраст включений подтверждается биостратиграфическими данными [Брадучан и др., 2005; Панченко и др., 2020].

Зоны АР Широкого Приобья распространены преимущественно на площади развития Салымского типа разреза баженовской свиты [Брадучан и др., 1986], и лишь две расположены на границе, переходя к Нижневартовскому типу, который отличается от Салымского меньшей мощностью при тех же закономерностях строения. Соответственно, можно сделать вывод о том, что породы именно этих типов разреза имеют благоприятное строение, состав для возникновения песчано-алевритовых нисходящих внедрений в них. Особенности баженовских силицитов в зонах АР остаются недостаточно изученной темой,

чтобы можно было бы утверждать, почему именно в определенных, вероятно, ослабленных областях, возникли такие условия, где вместо традиционных тел конусов выноса и фаций, с ними ассоциирующих, ачимовской толщи, имели место внедрения. По этому поводу продолжаются научные дискуссии.

Развитие аномальных разрезов по площади Широкого Приобья носит локальный характер – ширина зон колеблется в среднем от 2 до 20 км, длина – от 14 до 84 км при вертикальных мощностях от 0 до 150 м, считая от верхнего до нижнего пропластка силицита с заключенными внутри них песчано-алевритно-глинистыми разностями. Площади одной зоны АР варьируют от 4 км² (Ватинская зона, о которой речь пойдет дальше), 78 км² на Спорышевском месторождении, до 285 км² на Поточном, или даже достигают более 1 000 км² в Имилорской зоне на границе ХМАО и ЯНАО. Кроме Широкого Приобья «аномальная» сейсмическая картина ОГ Б встречается на севере ЯНАО [Нежданов и др., 2017], на самом юге ХМАО, там площади распространения имеют другие закономерности, они существенно больше, и в данной статье рассматриваться не будут.

Расположение зон АР в Широтном Приобье показано на тектонической карте центральной части Западно-Сибирской плиты под редакцией В. И. Шпильмана на рис. 1. Контуров зон, которые будут рассмотрены в статье, обозначены розовым цветом. Контуров зон, выделенных другими специалистами на зональном и региональном уровне [Буторин и др., 2017; Олейник, 2018] обозначены серым цветом для общего понимания распространения этих объектов. Приуроченности зон АР к определенному тектоническому элементу не наблюдается – рассмотренные ниже зоны расположены как в пределах крупных положительных структур (Нижневартовский свод), так и в пределах мегапрогибов (Пякупурский) и мегагеррас (Северо-Вартовская).

Рассматривая общие контуров зон АР, можно отметить закономерности их размещения субпараллельно границам примыкания реперных глинистых пачек региональных клиноформ к кровле баженовской свиты (западная граница выклинивания клиноформ (рис. 1), номенклатура и расположение показаны по данным «НАЦ РН ХМАО» под руководством А. В. Шпильмана), что собственно является одним из признаков наличия связи между АР и ачимовской толщей. При этом, переходя к деталям, – на сейсмических разрезах практически всегда четко виден ачимовский отражающий горизонт, который вплотную подходит к аномальной зоне и, по-видимому, отвечает пласту, ответственному за начало процесса внед-

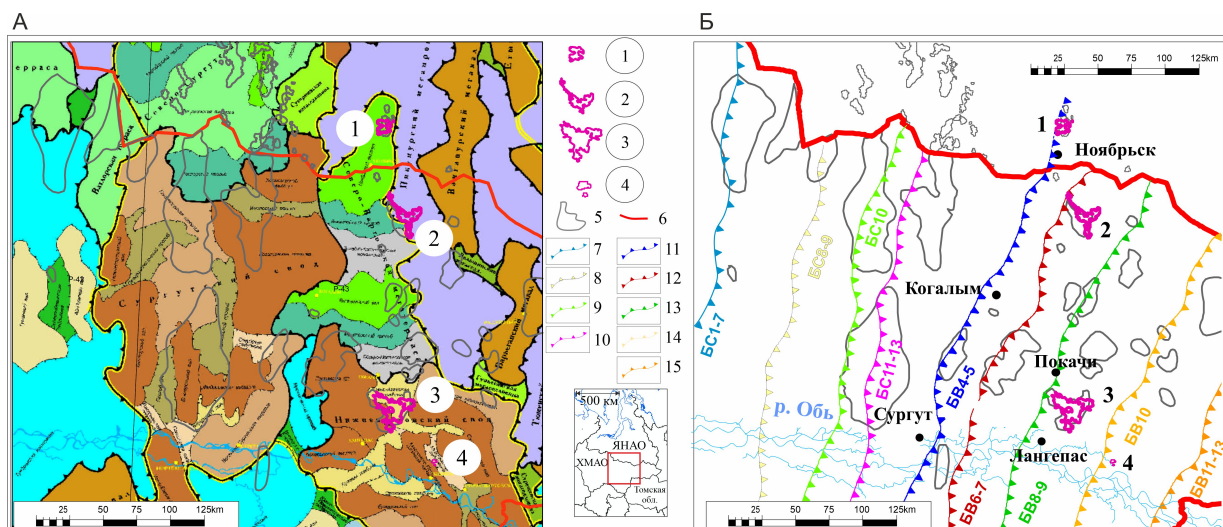


Рис. 1: Расположение зон АР на тектонической карте центральной части Западно-Сибирской плиты под редакцией В. И. Шпильмана и др. 1998 г. (А) и на карте распространения региональных клиноформ ХМАО по данным «НАЦ РН ХМАО» под руководством А. В. Шпильмана (Б).
 Условные обозначения: детальная контура зон АР, обсуждаемых в статье: 1 – Спорышевская, 2 – Выинтойская, 3 – Поточная, 4 – Ватинская; 5 – область распространения зон АР по данным: ООО «Газпромнефть НТЦ» в пределах ЯНАО [Буторин и др., 2017]; НАЦ РН в пределах ХМАО [Олейник, 2018], 6 – административная граница между ХМАО и ЯНАО; Граница примыкания покрывки региональной клиноформы к кровле баженовской свиты (западная граница выклинивания клиноформы) данные «НАЦ РН ХМАО» под руководством А. В. Шпильмана: 7 – БС₁₋₇, 8 – БС₈₋₉, 9 – БС₁₀, 10 – БС₁₁₋₁₃, 11 – БВ₄₋₅, 12 – БВ₆₋₇, 13 – БВ₈₋₉, 14 – БВ₁₀, 15 – БВ₁₁₋₁₃.

рений. Сравнивая разные зоны АР друг с другом, исследователи приходили к нескольким вариантам типизации скважин – в большинстве случаев, ориентируясь на облик кривых ГИС, иногда с учетом облика сейсмических данных, стараясь увидеть и объяснить различия строения.

В работе [Бородкин и др., 2021] авторы отмечают, что «на временных разрезах наблюдаются различия рисунка сейсмической записи «аномальных» разрезов, формируемых различными клиноформами». А. В. Осыка в диссертационной работе [Осыка, 2006] выделяет по скважинным данным типы разреза, в основном опираясь на степень раздробленности, переслаивания, отделяя более раздробленные типы от содержащих относительно крупные монолитные интервалы песчано-алевритовых пород преимущественно в низах баженовской свиты [Осыка, 2006]. М. А. Бордюг, В. С. Славкин и С. С. Гаврилов отмечают схожие типы на детально изученной Северо-Конитлорской площади, показывая, что в пределах одной площади могут быть развиты разные типы разрезов в скважинах, при этом сильно деформированные и переслаивающиеся разрезы в соседних скважинах практически не коррелируют друг с другом, что связывается с оползневыми отложениями в зоне АР

[Бордюг и др., 2010]. Они же указывают на вклад турбидитных потоков в формирование зон АР, вариациями сочетаний оползневых и турбидитных потоков объясняется различие АР на площадях Западно-Сибирского бассейна [Бордюг и др., 2010].

В плане практической значимости стоит отметить, что большая часть зон АР находится на месторождениях с развитой инфраструктурой. Необходимость детализации строения зон АР обусловлена наличием доказанных залежей нефти, лишь малая часть из которых была введена в эксплуатацию, дальнейшие работы по корректному учету запасов, заключенных в песчано-алевритовых коллекторах зон внедрения, помогут определиться с их потенциалом. Последовательность и опыт построения схемы нефтеносности в зоне АР рассмотрены в работе [Гатина и Гарифуллин, 2023]. В данной статье будет идти речь о том, как масштабировать опыт, начиная от интерпретации сейсмических данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Активно внедряемый в последние годы в рамках динамической интерпретации сейсмических данных МОГТ 3D метод спектральной деком-

позиции достаточно универсален и применяется к разным типам отложений. В иностранной литературе подробно описаны преимущества применения спектральной декомпозиции для различных обстановок осадконакопления [Henderson *u др.*, 2007; Partyka *u др.*, 1999; Sinha *u др.*, 2005], в русскоязычной литературе особенности изучения клиноформных объектов методом спектральной декомпозиции в своей диссертационной работе описал А. В. Буторин [Буторин, 2006]. В рамках диссертации им обоснована возможность использования спектральной декомпозиции волнового поля с целью увеличения достоверности сейсмогеологических моделей, в том числе для достаточно тонких, преимущественно песчано-алевритовых, русловых тел. Спектральный подход к анализу волнового поля в условиях ачимовских коллекторов в значительной степени превосходит по информативности стандартные методики анализа волнового поля. В основе метода лежит разложение волнового поля на частотные составляющие. Результаты спектральной декомпозиции наглядно визуализируются в виде RGB-суммирования (комбинация R – красного, G – зеленого и B – синего цвета), где каждому цвету присваивается своя частота. Частоты выбираются, исходя из особенностей конкретного сейсмического массива, его амплитудно-частотных характеристик и отражены в условных обозначениях к картам. Интенсивность цвета зависит от значения амплитуды, максимальное значение амплитуды при этом характеризуется максимальной насыщенностью цвета. Для составления сейсмогеологических моделей проведен полноценный динамический анализ в сопоставлении с данными скважин (данные керн, ГИС).

В качестве примеров в статье приведены съемки разных лет и различной кратности. Полевые данные МОГТ 3D на Поточной площади получены в 2000–2001 гг., кратность 24; на Спорышевской площади полевые работы были поставлены в 2009–2010 гг., номинальная кратность 49. Захватывающие Выингойскую зону AP полевые сейсморазведочные работы методом МОГТ-3D были проведены в 2016–2017 гг., кратность наблюдений 64. Во всех съемках использовались взрывные источники. Самая современная съемка охватывает Ватинскую зону AP 2018–2019 гг., номинальная кратность 121.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Клиноформный комплекс Западной Сибири представляет собой толщу осадков, которая при определенном чередовании периодов трансгрессии и регрессии накапливалась, заполняя собой

с каждым циклом всё дальше глубоководную часть бассейна – каждый циклит перекрывает следующий, субпараллельно смещаются бровки изохронных палеошельфов, каждый раз немного ближе к оси палеобассейна. В плане четко картируются эти субпараллельные элементы клиноформ.

При этом каждая последующая клиноформа в общих закономерностях продолжает предыдущую, образуясь под воздействием глобально одного и того же источника сноса, но в разное время.

Соответственно, логично предположить, что закономерности и методики работы, доказанные на одной клиноформе, могут быть применены к следующей. В данной статье рассмотрены примеры детальной интерпретации сейсмических данных для четырех зон AP, приуроченных к различным региональным клиноформам.

Детализация Поточной зоны AP по сейсмическим данным

Поточная зона относится к региональной клиноформе БВ₈₋₉. Для работы использован массив МОГТ 3D и 175 поисково-разведочных и эксплуатационных скважин. Высокая степень разбуренности зоны AP эксплуатационным фондом – это редкость, недропользователи в своей практике стараются избегать недостаточно изученных мест для постановки скважин, так что для создания модели Поточная площадь явилась уникальным объектом, на основе изучения которого можно решать проблемы менее изученных скважинным фондом зон AP.

Оптимальным выбором после тестирования оказалось проведение спектральной декомпозиции не непосредственно по ОГ Б, а по одному из срезов серии пропорциональной нарезки, построенной в интервале между уверенным горизонтом ниже ОГ Б и перекрывающим ачимовским горизонтом площадного распространения. По сейсмической картине в пределах зоны AP видно разделение на две части с принципиально разным рисунком сейсмической записи. Исходя из явной связи отложений зон AP и ачимовской толщи, части названы проксимальной – ближе к источнику сноса, и дистальной – соответственно, дальше.

На срезах, характеризующих проксимальную часть зоны AP, заметен расходящийся волнообразный рисунок, похожий на складки (рис. 2), а на сейсмических разрезах виден полупрозрачный, хаотичный, прерывистый, на отдельных участках низкоамплитудный характер сейсмической записи. В керне даже ближайших скважин в пределах этой части вскрывается резко меня-

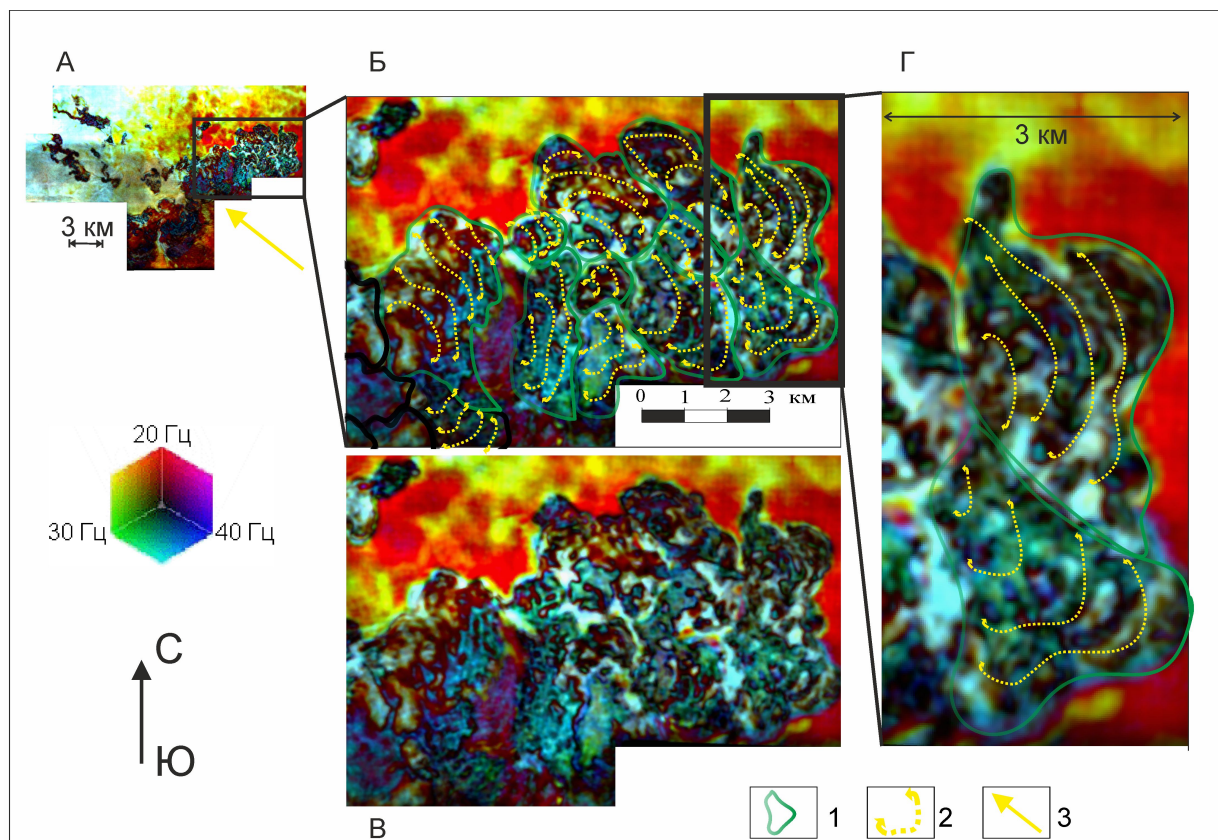


Рис. 2: Отображение характерных для оползневых тел элементов на сейсмических данных проксимальной части зоны АР: А, Б, В, Г – карты результата спектральной декомпозиции с интерпретацией и без в разном масштабе. Условные обозначения: 1 – отдельное оползневое тело, 2 – характерный волнообразный расходящийся рисунок, 3 – направление привноса материала.

ющийся разрез со множеством деформационных текстур, непунических даек песчаников, с различными следами оползаний, взмучивания осадка, характерно частое переслаивание более и менее радиоактивных пород.

В пределах дистальной части отмечаются более светлые оттенки вытянутых «руслоподобных» аномалий на карте RGB-суммирования различной шириной порядка 250 м (рис. 3). На интерпретированной модели они выделены желтым и вытянуты в направлении на северо-запад.

Элементы, на которые необходимо обращать внимание при сейсмической интерпретации, отмечены черными стрелками на рис. 3 Б, В. В скважинах фиксируется достаточно выдержанный разрез с массивными песчано-алевритовыми интервалами в низах баженовской свиты, в том числе иногда затрагивающими отложения георгиевской свиты [Панченко и др., 2020].

С учетом всех геолого-геофизических особенностей, на основании детального анализа строения внутри зоны АР построена сейсмогеологи-

ческая модель Поточной зоны, показанная на рис. 4.

При комплексном изучении в зонах АР отмечаются результаты воздействия двух основных из непрерывной последовательности гравитационных процессов на седиментационном склоне (рис. 5).

В первую очередь отмечаются объекты, явно вызванные пластическими оползнями. Оползневые тела по определению представляют собой связную массу осадка, которая движется по плоскости скольжения и совершает вращательные движения, вызывая внутреннюю деформацию, смятие, деформированные складки находятся внутри недеформированных слоев [Обстановка осадконакопления и фацции, 1990; Жемчугова, 2014]. Именно такие деформации заметны в проксимальной части зоны АР с выделенными сериями оползневых тел (см. рис. 4).

Отложения турбидитов, как одного из слагаемых образования ачимовской толщи, по видимому, также могли присутствовать при изначальных внедрениях [Бордюг и др., 2010], од-

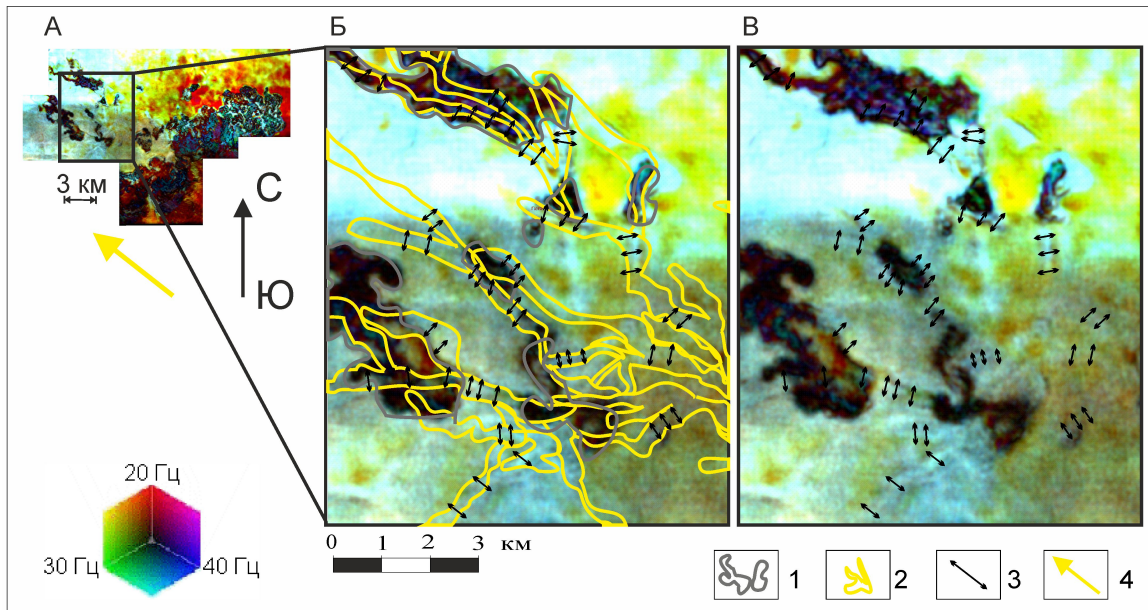


Рис. 3: Отображение характерных для дистальной части зоны AP элементов на сейсмических данных: А, Б, В – карты результата спектральной декомпозиции с интерпретацией и без в разном масштабе. Условные обозначения: 1 – перемещенные пластины, 2 – центральные видимые части потоков в теле внедрения, 3 – видимая толщина потоков, 4 – направление привноса материала.

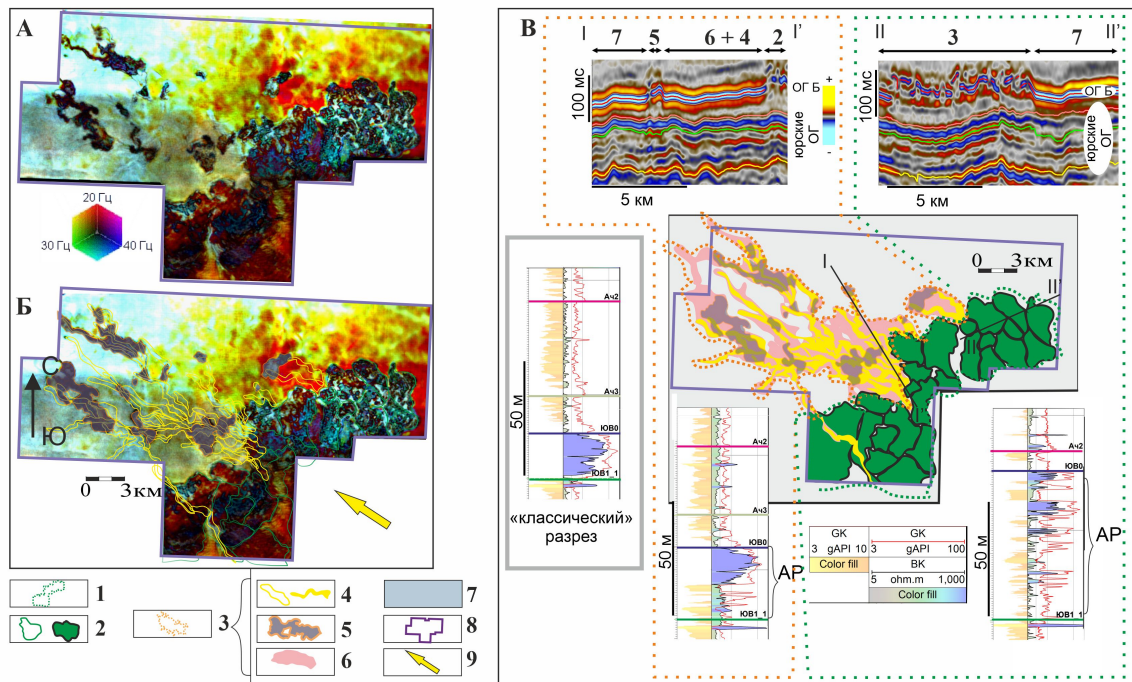


Рис. 4: Карты результата спектральной декомпозиции в интервале ачимовско-баженовских отложений Поточной площади без интерпретации (А) и с интерпретацией (Б), которые послужили основой для сейсмогеологической модели (В). Для сейсмогеологической модели показаны типичные сейсмические разрезы и обобщенный вид каротажных кривых ГИС, характерный для классического разреза, дистальной и проксимальной части зоны AP. Условные обозначения: 1 – проксимальная часть зоны AP, 2 – оползневые тела в ее пределах, 3 – дистальная часть зоны AP, 4 – осевые части потоков, формировавших песчаные инъекции внутри нее, 5 – перемещенные пластины, 6 – латеральный инъекционный участок, 7 – «классический» разрез баженовской свиты, 8 – сейсмические данные 3D, 9 – направление привноса осадочного материала.

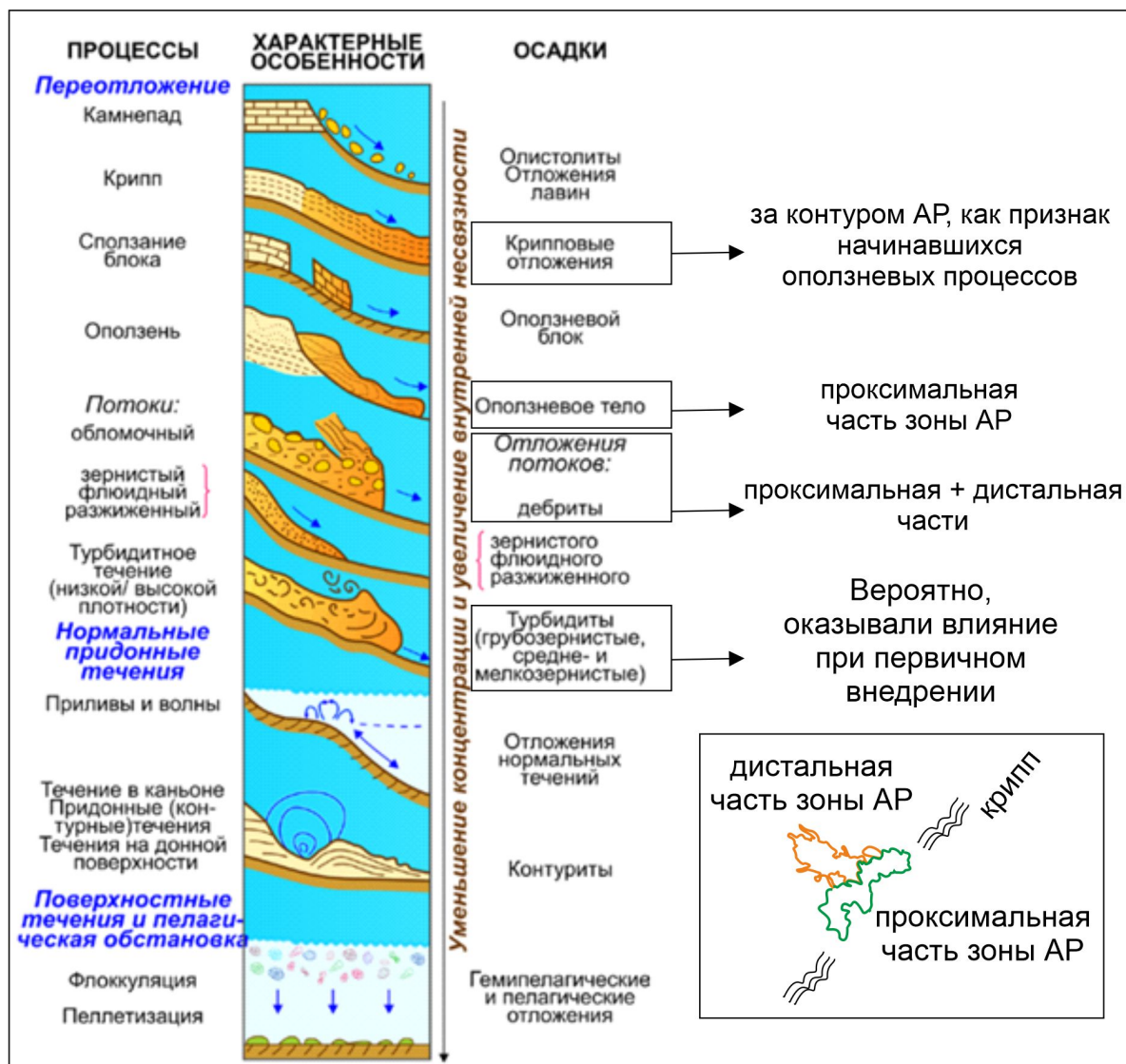


Рис. 5: Непрерывная последовательность основных процессов переноса и накопления осадков в глубоком море [Обстановки осадконакопления и фацции, 1990] с дополнениями [Жемчугова, 2014] с выделенными элементами, характерными для зон АР.

нако уже внутри тела внедрения стоит говорить о ламинарном движении частиц, то есть об обломочных потоках, продавливающих и внедряющихся внутрь силицитов.

Обломочные потоки представляют собой высококонцентрированную вязкую осадочную систему, для которой характерно ламинарное течение, могут быть сформированы различными по гранулометрии осадками – от глинистых до грубообломочных [Обстановки осадконакопления и фацции, 1990; Жемчугова, 2014]. Среди признаков алевро-песчаных обломочных потоков в зонах АР стоит назвать отсутствие градационной слоистости, практически полное отсутствие биотурбаций, резкие границы без переходов с други-

ми разностями, в подошвенной части встречаются темноцветные угловатые литокласты высокоуглеродистых кремнисто-глинистых пород, неяснослоистые текстуры и реликты наклонно-косо-горизонтальной слоистости.

Обоснование взаимодействия двух основных процессов, участвовавших в образовании зон аномального разреза баженовско-ачимовской толщи для сложно устроенной Имилорской зоны АР (региональная клиноформа БС₁₁₋₁₃), приведены в работе [Гришкевич и др., 2017а], что говорит об общности механизмов для всего Широкого Приобья.

Вне зон АР, но явно связано с ними, отмечается воздействие крипа, как предвестника мас-

штабных оползневых явлений, что до настоящего момента не было описано при исследовании зон аномального разреза баженовско-ачимовских отложений, пример будет показан ниже для Ватинской площади.

Таким образом, новые данные позволяют продвинуться в исследовании зон АР, детализировав еще дальше механизмы внедрений песчано-алеврито-глинистых отложений в баженовские силициты. На основании модели Поточной площади в сопоставлении с параметрами других зон построена объемная визуализация концептуальной сейсмогеологической модели (рис. 6), кото-

рая развивает представления в рамках подводно-оползневой гипотезы образования АР, дополняя ее площадным распространением участков.

В пределах дистальной части зоны АР фиолетовым полупрозрачным оттенком на рисунках отмечены приподнятые зоны различных размеров, которые явно тяготеют/облекаются с двух сторон/пронизываются «руслоподобными» телами потоков. Такие приподнятые в сейсмическом поле тела названы перемещенными пластинами – это отдельные блоки, приподнявшиеся над основной массой пород в процессе внедрений. В публикации на тему детального обоснования физиче-

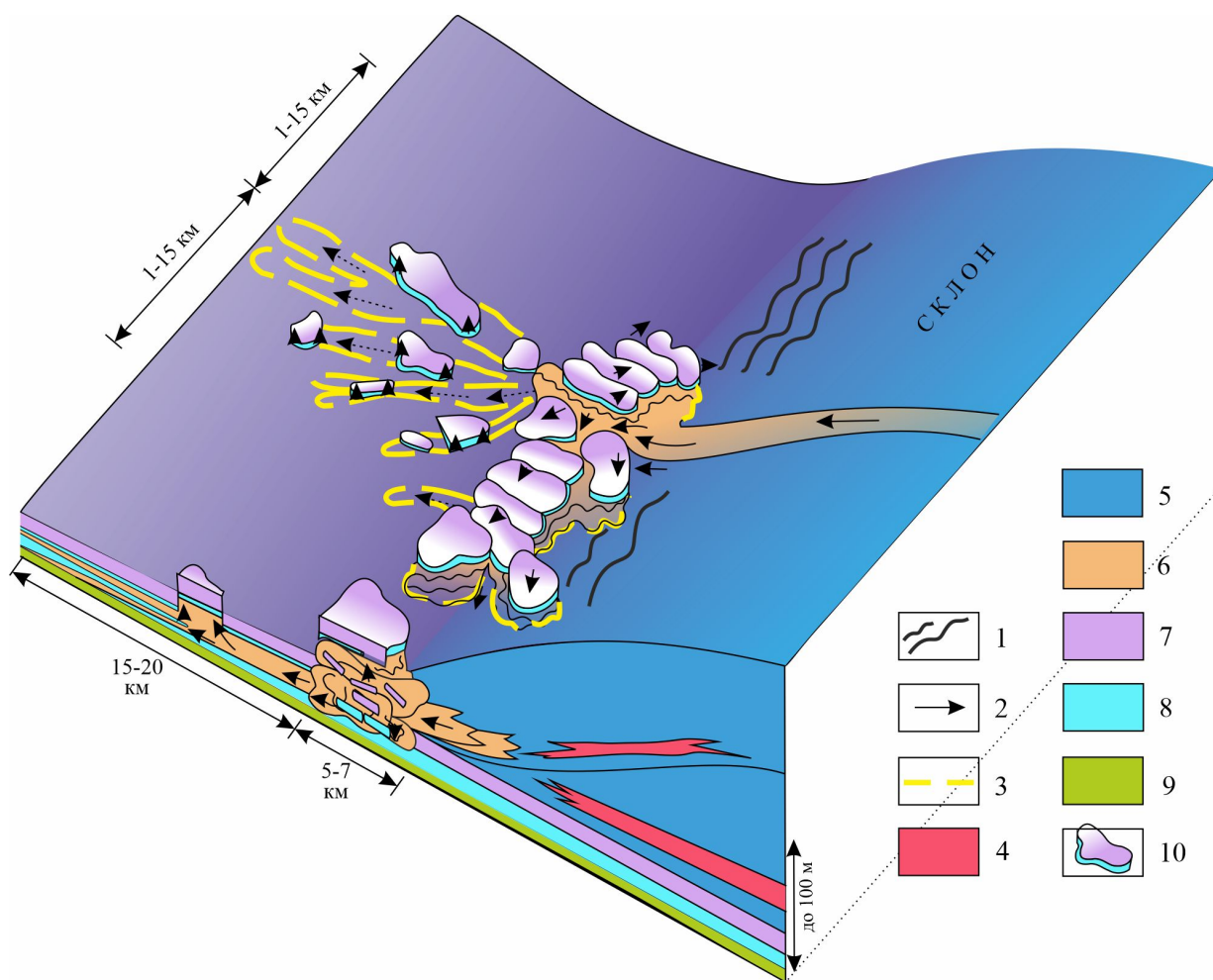


Рис. 6: Концептуальная сейсмогеологическая модель строения зоны аномального разреза (АР) баженовско-ачимовских отложений Широтного Приобья. Условные обозначения: 1 – расположение склоновых к оползанию глинистых пород ортоформы (крип), 2 – направление привноса, перемещения песчано-алеврито-глинистого материала и отдельных оползневых тел баженовско-ачимовских отложений, 3 – контур внедрений внутри баженовских пород, 4 – песчано-алевритовые отложения ачимовской толщи, 5 – глинистые отложения склона, 6 – песчано-алеврито-глинистые отложения ачимовской толщи, внедрение и оползание которых привело к образованию зоны аномального строения баженовско-ачимовского разреза, 7 – верхняя толща баженовской свиты, 8 – нижняя толща баженовской свиты, 9 – георгиевская свита, 10 – перемещенные пластины.

ской возможности расщепления баженитов в процессе внедрений, их расслаивания, такие пластины названы художественно «всплывающими островами» [Гришкевич и др., 2017a].

Контуры Поточной зоны АР менялись с течением времени и с увеличением степени изученности (рис. 7), что отмечается и по ряду других месторождений [Олейник, 2018]. На первой стадии изучения контур зоны АР проводился по скважинным данным (рис. 7Б), на второй – детальный контур проводился на основании сейсмических данных (рис. 7А, черный контур) по видимой картине аномального ОГ Б на временных разрезах, при этом существенно сократилась площадь, стала выглядеть как множество отдельных фрагментов, не связанных друг с другом системой (рис. 7А, черный контур).

На третьей стадии – после плотного покрытия территории эксплуатационным бурением и создания сейсмогеологической модели – в дистальной части зоны АР площадь разрастается по сравнению с чисто сейсмическими границами (зеленый фон при сравнении с черным контуром на рисунке), контур оказывается более детальным, но

при этом вся площадь АР является связанной, не в пример выделению по сейсмическим данным отдельных участков. На сейсмических данных в дистальной части зоны АР не отчетливо видны инородные тела из-за небольших мощностей песчано-алевритовых внедрений, картирование их возможно на основании интерпретации результатов спектральной декомпозиции. Таким образом, проводя интерпретацию сейсмических данных в менее разбуренных зонах АР, стоит обращать внимание именно на связанность тела внедрения.

Методически последовательность интерпретации сейсмических данных в зоне АР состояла из следующих стадий: корреляция ОГ Б, ОГ Ю1 и ОГ Ач покровного ачимовского пласта, нивелировавшего палеорельеф, построение серии пропорциональных палеосрезов между ОГ Ю1 и ОГ Ач, проведение атрибутивного анализа по пропорциональным срезам, а не вдоль ОГ Б, увязка с данными керна и ГИС, картирование приподнятых тел, видимых на вертикальных срезах сейсмического куба, картирование по результату спектральной декомпозиции тонких тел, ви-

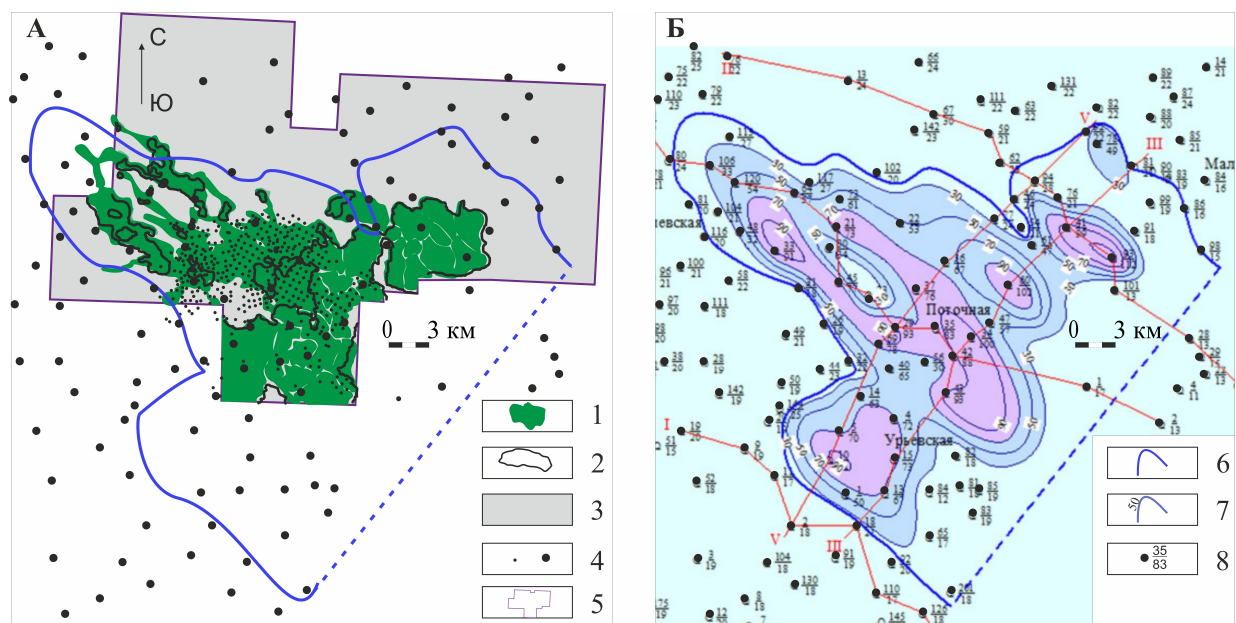


Рис. 7: Сопоставление контуров Поточной зоны АР, последовательно изменяемых на протяжении истории геолого-геофизического изучения зоны: с учетом сейсмических данных 3D (А) и (Б) и на основании интерпретации только скважинного фонда по [Олейник и Плавник, 2007]. Условные обозначения: 1 – граница зоны АР согласно сейсмогеологической модели, 2 – граница зоны АР, ранее выделяемая при сейсмической интерпретации до начала широкого разбуривания территории и без использования сейсмогеологической модели, 3 – «классический» разрез баженовской свиты в пределах куба сейсмических данных МОГТ 3D, 4 – точки скважин, 5 – использованный массив сейсмических данных 3D; для (Б) по [Олейник и Плавник, 2007]: 6 – граница оползневой тела, 7 – изолинии равных мощностей, 8 – номер скважины и мощность от кровли верхнего битуминозного пропластка до кровли георгиевской свиты.

димых только по атрибутам, определение общих границ всего тела внедрения. Такой подход позволил учесть участки различного строения внутри одной зоны АР, логично связать их в единое тело внедрения.

Детализация Спорышевской зоны АР по сейсмическим данным

Спорышевская зона АР расположена на юге ЯНАО, относится к региональной клиноформе БВ₄₋₅ (рис. 1) и представляет собой яркий пример возможности апробации подходов, выработанных при построении сейсмогеологической модели на основе интерпретации сейсмических данных и почти 200 скважин, для детального анализа строения зоны АР, вскрытой единственной поисковой скважиной. Используемый Спорышевский массив данных МОГТ 3D характеризуется номинальной кратностью 49, преобладающая частота 30 Гц, массив на Поточной площади характеризуется кратностью 24, так что для детализации таких параметров съемок достаточно.

Мощность баженовской свиты «классического» разреза в пределах Спорышевской зоны АР составляет порядка 10–15 метров. В скважине, вскрывающей аномальный разрез, мощность верхней толщи сохраняется неизменной, в нижней толще по ГИС отмечены песчаные пропластки в баженовских породах, однако керн не

был отобран, и каротаж фрагментарен, поэтому более детальных выводов по скважинам в данной зоне АР сделать нельзя, зато можно проследить развитие комплекса внедрений по сейсмическим данным.

Восточная граница зоны по сейсмическим данным (рис. 8) резкая, приподнятая, западная – плавная, постепенная. На Спорышевской площади выделяются проксимальная и дистальная части (рис. 9).

Размеры отдельных оползневых тел проксимальной части варьируют в пределах первых километров, в среднем составляют 1 × 2 км. Характерные текстуры пластических оползней заметны на карте RGB суммирования (см. рис. 9), однако не так отчетливо, что могли бы быть проинтерпретированы без использования ранее построенной концептуальной модели.

На востоке от зоны АР на склоне клиноформы слабо различимы подводящие каналы потоков, перемещение материала под действием сил гравитации по которым, предположительно, могло послужить началом образования песчано-алевритовых инъекций.

Отдельно важно отметить особенности корреляции горизонта Ю1–1 в зоне АР, что является нетривиальной задачей. На рис. 8 представлен выровненный на ОГ Ю4 срез временного сейсмического куба и куба продольного импеданса, где отмечена пунктиром область под аномальным

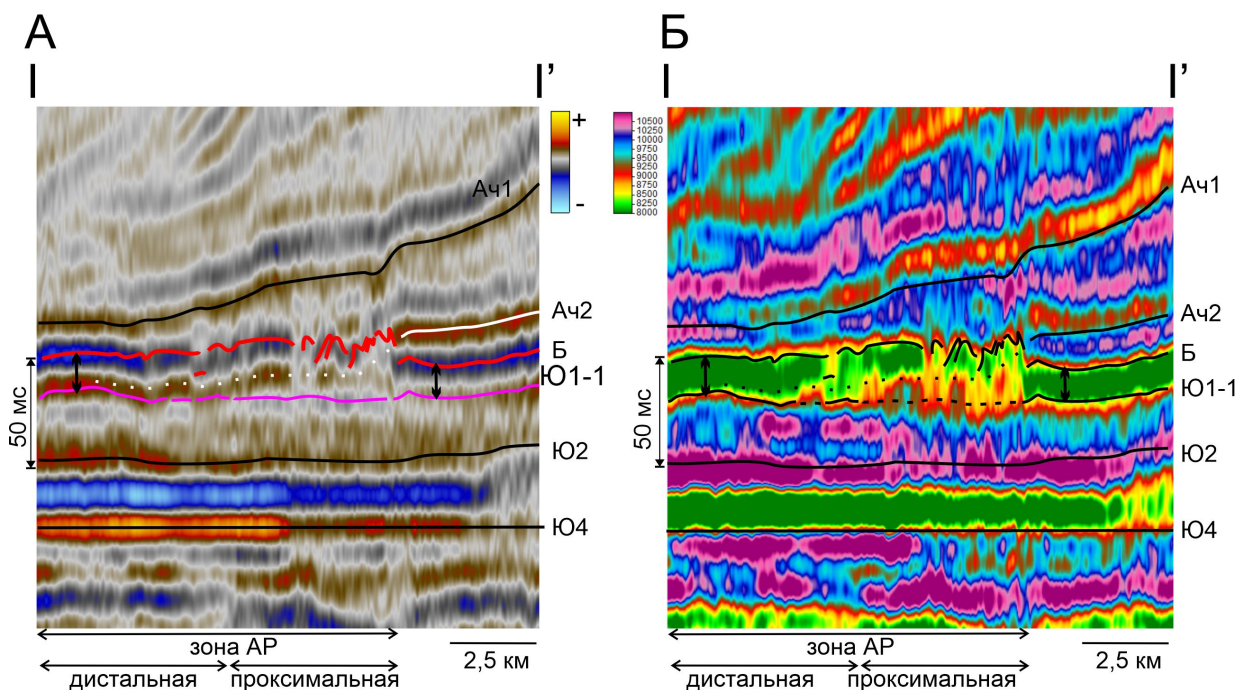


Рис. 8: Отображение Спорышевской зоны АР на вертикальных срезах сейсмического временного куба (А) и куба продольного импеданса (Б), выравнивание на ОГ Ю4.

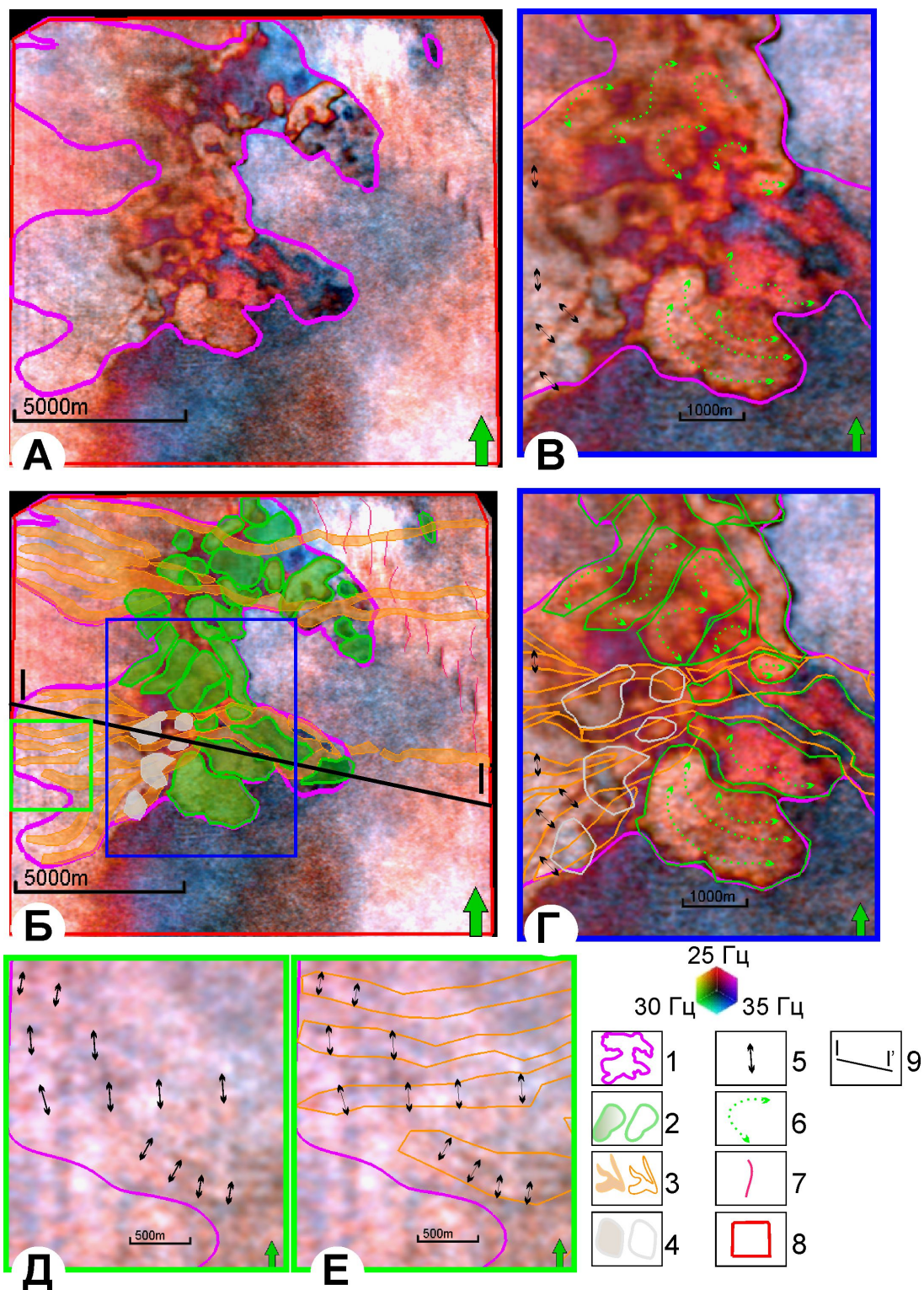


Рис. 9: Отображение Спорышевской зоны АР на сейсмических данных. Условные обозначения: А, Б – результат спектрального разложения по срезу, характеризующему зону АР, без интерпретации и с авторской интерпретацией; В, Г, Д, Е – фрагменты; 1 – контур Спорышевской зоны АР, 2 – отдельные тела пластического оползня, 3 – осевые части обломочных потоков, 4 – локально перемещенные пластины, 5 – видимая ширина потока, 6 – характерные оползневые текстуры, 7 – разломы, 8 – контур использованных сейсмических данных 3D, 9 – линия разреза на рис. 8.

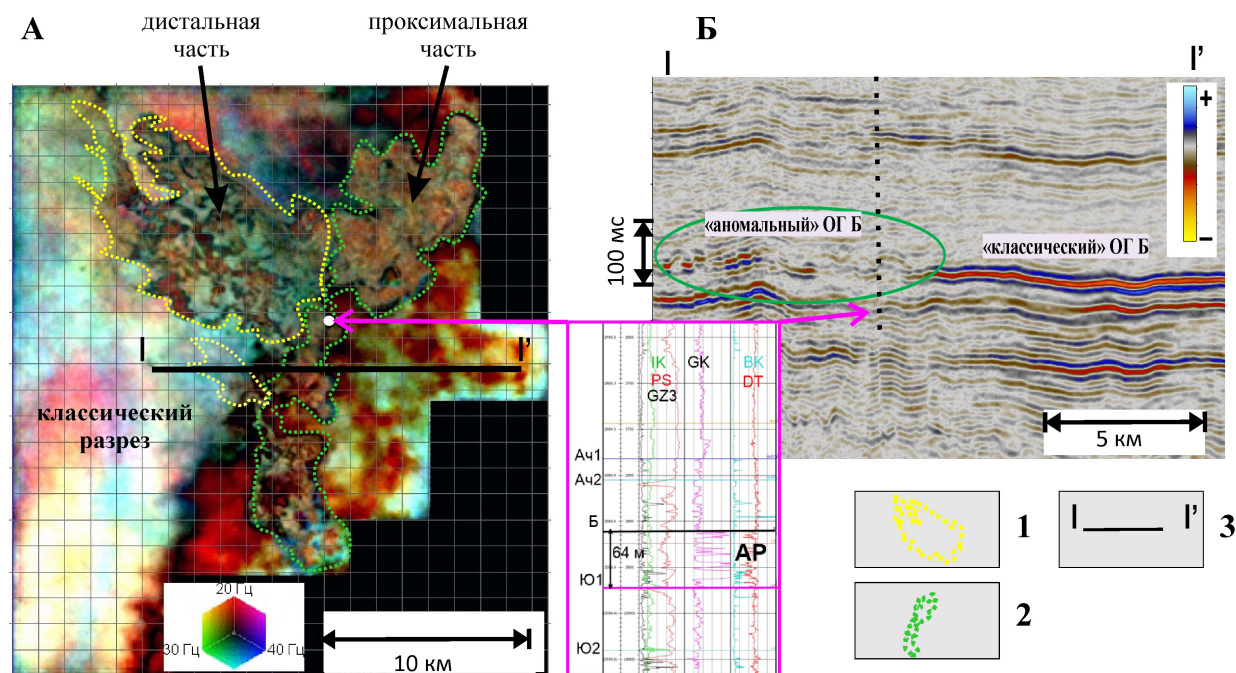


Рис. 10: Отображение Выинтойской зоны AP на карте результата спектральной декомпозиции (А) и на сейсмическом разрезе (Б). Условные обозначения: 1 – дистальная часть зоны AP, 2 – проксимальная часть зоны AP, 3 – положение временного разреза, представленного на (Б).

ОГ Б, где важно провести корреляцию не напрямую по положительной фазе, так как в данном случае она отвечает не изменению в Ю1, а изменению в вышележащем интервале, а мощность комплекса Ю1 существенно не изменяется.

Детализация Выинтойской зоны AP по сейсмическим данным

Выинтойская зона относится к региональному клиноциклиту БВ₆₋₇ согласно принятой номенклатуре (см. рис. 1). На рис. 10 показано отображение Выинтойской зоны AP на карте результата спектральной декомпозиции и приведен вертикальный срез сейсмического временного куба. Несмотря на то, что на срезе временного сейсмического куба разрез менее амплитудный, волновая картина отличается от наблюдаемой на Поточной площади, ОГ Б совсем не четкий, слабо амплитудный, но на карте RGB-суммирования заметны те же проксимальный и дистальный участки с отмечаемыми особенностями, соответствующими концептуальной сейсмогеологической модели. Заметны вытянутые на северо-запад «руслоподобные» тела в дистальной части зоны AP и изометричные, с волнообразным расходящимся рисунком, оползневые тела в проксимальной части, при этом сам проксимальный участок вытянут субпараллельно бровке палеошельфа соответствующего клиноциклита

(см. рис. 1). Зона вскрыта рядом скважин, в которых в керне отмечены признаки оползневых явлений.

Таким образом, применение концептуальной сейсмогеологической модели для детализации строения Выинтойской зоны оправдано и поможет выделить внутри зоны перспективы.

Детализация Ватинской зоны AP по сейсмическим данным

Ватинская зона относится к региональному клиноциклиту БВ₁₀ согласно принятой номенклатуре (см. рис. 1). Соответственно, по сравнению с рассмотренными, это более древние отложения, расположенные юго-восточнее.

На наиболее полных зональных картах А. А. Нежданова, Е. В. Олейник по Широтному Приобью [Нежданов и др., 2000; Олейник, 2018] в клиноформе БВ₁₀ не отмечены зоны AP. Закартировать небольшую Ватинскую зону AP удалось только по материалам современной 3D сейсморазведки (рис. 11). Зона вскрыта эксплуатационными скважинами, которые подтвердили строение разреза по выделенному типу оползневого тела, керн отобран не был.

На примере Ватинской зоны интересно рассмотреть детали окружающей области, где обнаруживаются черты еще одного процесса из последовательности основных гравитационных яв-

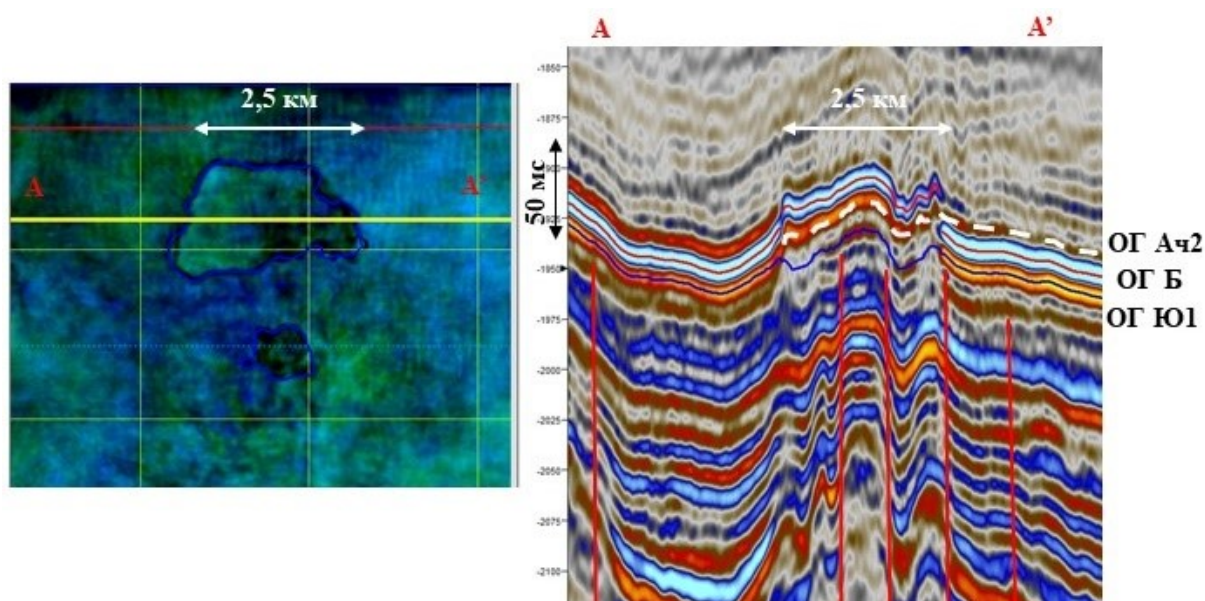


Рис. 11: Тип сейсмической записи AP на Ватинской площади (слева представлен фрагмент карты результата спектрального разложения в интервале ОГ Б, справа – фрагмент среза сейсмического временного куба 3D данных).

лений на склоне – отложения, образованные в результате крипа (рис. 12).

В интервале залегающих выше баженовской свиты отложений неокома вблизи ОГ Ач₂ заметна форма сейсмической записи, имеющая вид мелкой субпараллельной деформации, которая указывает на оползневые процессы, начальные процессы гравитационного переноса осадка во время накопления этого ачимовского пласта. Полоса, подверженная оползанию, составляет порядка 2–2,5 км в ширину (то есть поперек склона) и порядка 20 км в длину (вдоль палеосклона) видимыми размерами, хоть и расположена относительно «неудачно» – близко к краю сейсмического массива 3D. При этом одним концом полоса криповых отложений примыкает к зоне AP, четко ориентируясь вдоль направления палеосклона, что говорит о том, что процесс оползания начался на достаточно большой площади, однако катастрофическое событие в виде образования зоны AP имело место в данном случае только на небольшой площади в 4 км².

Поскольку зона исключительно небольших размеров, заметна только проксимальная часть по терминологии, введенной для общей концептуальной модели Широкого Приобья. Можно предположить отсутствие мощных тел внедрения в дистальной части в связи с не таким большим объемом поступающего материала в момент сейсмического события, вызвавшего гравитационное перемещение масс на склоне.

Такое явление как крип вне самой зоны AP, но на границе с ней вдоль палеосклона, встречается и в ряде других зон, логично начиная общую последовательность гравитационных процессов на склоне, как было показано на рис. 2.

Выводы

Таким образом, детальное зонирование сложно устроенного баженовско-ачимовского комплекса аномального строения возможно по сейсмическим материалам 3D. Метод спектральной декомпозиции, широко используемый для разных уровней разреза, показал свою универсальность и применимость.

Для зон AP показаны ключевые элементы, выделяемые в сейсмическом волновом поле, характерные для различных гравитационных процессов на седиментационном склоне, при этом отмечается связь зон аномальных разрезов с выше залегающей ачимовской толщей. Приведены примеры сейсмических данных четырех зон разного возраста и расположения друг относительно друга и относительно тектонического плана, отмечены объединяющие их черты, включенные в общую концептуальную сейсмогеологическую модель строения зон AP Широкого Приобья. Модель может применяться как основа для детализации других зон AP Широкого Приобья при отмеченных в разрезе баженовских пород не характерных сероцветных песчано-алеврито-

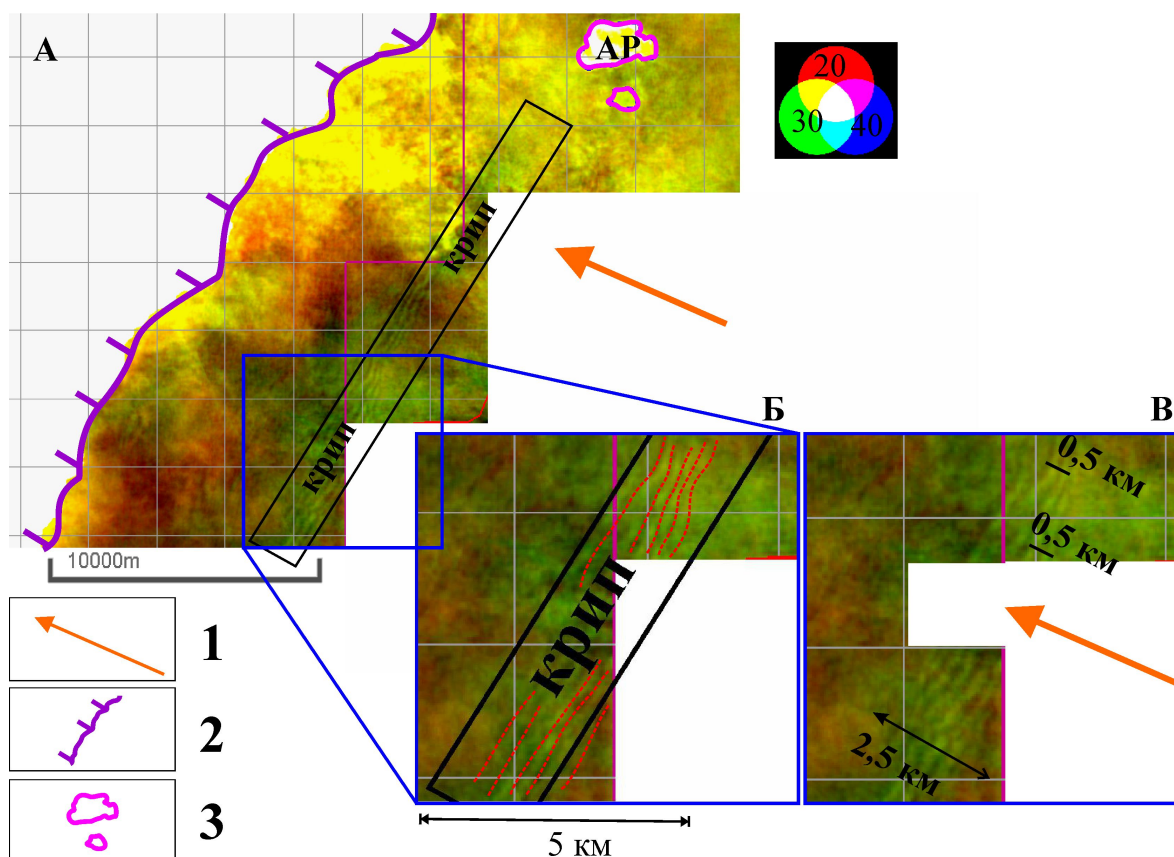


Рис. 12: Карта результата спектрального разложения в интервале ОГ Ач₂ – оползневые процессы во время накопления этого ачимовского пласта привели к образованию AP (А), фрагмент с интерпретацией (Б) и без (В). Черной рамкой отмечена полоса склона, подверженная оползанию. Условные обозначения: 1 – направление привноса терригенного материала, 2 – граница прекращения прослеживания ОГ Ач₂, 3 – Ватинская зона AP.

глинистых разностях, сопровождаемых скачкообразным изменением ОГ Б на границе юрских и меловых пород, не затрагивая более молодую и более древнюю части разреза.

Несомненно, в интерпретации сейсмических данных внутри зоны AP остается множество неопределенностей, однако применяемые подходы позволяют продвинуться в этом вопросе значительно дальше. На данном этапе обоснован подход к динамической интерпретации сейсмических данных в зоне AP на качественном уровне, следующим этапом должна стать детальная количественная интерпретация и прогноз по сейсмическим данным эффективных толщин коллекторов тел внедрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бордюг М. А., Славкин В. С., Гаврилов С. С. Особенности строения и формирования аномального разреза баженовской свиты на при-

мере Северо-Конитлорского месторождения // Геология нефти и газа. — 2010. — Т. 1. — С. 32–40.

Бородкин В. Н., Смирнов О. А., Лукашов А. В. и др. Характеристика аномального строения баженовско-ачимовского комплекса Тагринского мегавала Западной Сибири по данным бурения и сейсморазведки 3D // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2021. — Т. 11, вып. 359. — С. 5–13. — DOI: 10.33285/2413-5011-2021-11(359)-5-13.

Брадучан Ю. В., Глушко Н. К., Комиссаренко В. К. и др. О возрасте отложений аномальных разрезов пограничных слоев юры и мела по скважинам Северо-Конитлорского месторождения (предварительное сообщение) // Вестник недропользователя ХМАО. — Тюмень, 2005. — Т. 16. — С. 28–30.

Брадучан Ю. В., Гурари Ф. Г., Захаров В. А. Баженовский горизонт Западной Сибири. — Новосибирск : Наука, 1986. — С. 216.

- Буторин А. В., Жигульский С. В., Асмандияров Р. Н. и др. Ресурсный потенциал «аномально-го» разреза баженовской свиты в ноябрьском регионе // Журнал «ПРОнефть». Профессионально о нефти. — 2017. — Т. 2, № 4. — С. 12—18.
- Буторин А. В. Изучение детального строения ачимовского нефтегазонасного комплекса на основе спектральной декомпозиции сейсмического волнового поля : дис. . . . канд. геолого-минералогических наук : 25.00.10 / Буторин Александр Васильевич. — Санкт-Петербург, 2006. — С. 141.
- Гатина Н. Н., Гарифуллин И. И. Опыт построения детальной схемы нефтеносности зоны аномального разреза баженовско-ачимовских отложений на основе сейсмогеологической модели // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2023. — Т. 18, № 1. — С. 1—17. — DOI: [10.17353/2070-5379/12_2023](https://doi.org/10.17353/2070-5379/12_2023).
- Гришкевич В. Ф., Гатина Н. Н., Долматова С. С. и др. О следах раскола островов прото-баженита на седиментационном палеосклоне // Литосфера. — Екатеринбург, 2017а. — Т. 4. — С. 48—61. — DOI: [10.24930/1681-9004-2017-4-048-061](https://doi.org/10.24930/1681-9004-2017-4-048-061).
- Гришкевич В. Ф., Лагутина С. В., Панина Е. В. и др. Геомеханическая модель формирования аномальных разрезов баженовской свиты: физическое моделирование и практическое применение // Геология, геофизика и разработка месторождений нефти и газа. — 2017б. — Т. 3. — С. 33—47.
- Жемчугова В. А. Практическое применение резервуарной седиментологии при моделировании углеводородных систем: Учебное пособие для вузов, Москва. — РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2014. — С. 341.
- Нежданов А. А., Кулагина С. Ф., Корнев В. А. и др. Аномальные разрезы баженовской свиты: взгляд через полвека после обнаружения. Известия высших учебных заведений // Нефть и газ. — 2017. — Т. 6. — С. 34—42. — DOI: [10.31660/0445-0108-2017-6-34-42](https://doi.org/10.31660/0445-0108-2017-6-34-42).
- Нежданов А. А., Пономарев В. А., Туренков Н. А. и др. Геология и нефтегазонасность ачимовской толщи Западной Сибири. — Москва : Изд-во Академии горных наук, 2000. — С. 247.
- Обстановки осадконакопления и фации : в 2 т. Т. 2 / под ред. Х. Рединга. — Москва : Мир, 1990. — С. 352.
- Олейник Е. В. Зоны аномального строения баженовской свиты в связи с нефтегазонасностью неокомских отложений на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Oil and Gas Studies. — 2018. — № 3. — С. 29—37. — DOI: [10.31660/0445-0108-2018-3-29-37](https://doi.org/10.31660/0445-0108-2018-3-29-37).
- Олейник Е. В., Плавник Г. И. Неокомские оползневые явления на Урьевской и Поточной площадях Среднего Приобья // Вестник недропользователя ХМАО. — 2007. — Т. 17. — С. 18—23.
- Осыка А. В. Геологические модели строения титон-берриасс-валанжинских отложений («аномальных» разрезов баженовской свиты) в связи с подготовкой нетрадиционных объектов для поиска залежей нефти на территории деятельности предприятия «Когалымнефтегаз» : дис. . . . канд. геолого-минералогических наук : 25.00.10 / Осыка Александр Владимирович. — Тюмень, 2006. — С. 221.
- Панченко И. В., Гатина Н. Н., Вишневская В. С. и др. О постседиментационной природе аномальных разрезов баженовской и георгиевской свит (Западная Сибирь) по результатам литологии, биостратиграфии и корреляции новых керновых данных, Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии / под ред. Е. Ю. Барабошкина, А. Ю. Гужикова. — Магадан, 2020. — С. 201—205.
- Henderson J., Purves S., Leppard C. Automated delineation of geological elements from 3D seismic data through analysis of multi-channel, volumetric spectral decomposition data // First Break. — 2007. — Mar. — Vol. 25. — P. 87–93. — DOI: [10.3997/1365-2397.25.1105.27383](https://doi.org/10.3997/1365-2397.25.1105.27383).
- Partyka G., Gridley J., Lopez J. Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization // The Leading Edge. — 1999. — Vol. 18, no. 3. — P. 353–360.
- Sinha S., Routh P. S., Anno P. D., et al. Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform // Geophysics. — 2005. — Vol. 70, no. 6. — P. 19–25. — DOI: [10.1190/1.2127113](https://doi.org/10.1190/1.2127113).



CLUES TO SEISMIC DATA INTERPRETATION WITHIN THE ZONES OF THE SAND INJECTIONS IN SO CALLED “ANOMALOUS SECTION” OF THE BAZHENOVO BLACK SHALES FORMATION ON THE EXAMPLES OF THE POTOCHNAYA, SPORYSHEVSKAYA, VYINTOISKAYA AND VATINSKAYA ZONES

N. N. Gatina¹, M. F. Sarieva¹, O. S. Mukhutdinova¹, A. Yu. Popkov¹,
and S. S. Gavrillov¹

¹Closed Joint-Stock Company Modeling and monitoring of geological objects named after V. A. Dvurechensky (CJSC MiMGO), Moscow, Russia

*Correspondence to: N. N. Gatina, nn.gatina@gmail.com,

Received 13 April 2023; accepted 28 April 2023; published 2 May 2023

The Bazhenovo horizon of Western Siberia has traditionally been one of the objects most studied by geologists and geophysicists in recent decades in Russia. However, along with the more familiar “classical” structure, there are areas where gray-colored inclusions of sandy-silty-clayey deposits are present between the carbonate-clayey-siliceous rocks of the Bazhenovo Black Shales Formation. Such sections geologists call “anomalous”. The paper describes the application of the spectral decomposition method for detailing the structure of anomalous sections zones of the Bazhenovo Formation or in another words Giant Sand injection Complex (GSIC) of the Ob river region. Combining the results of dynamic interpretation of 3D seismic data with well logging data for a vast fund of exploration and production wells made it possible to build a seismogeological model of the of the Ob river region GSIC in the Potochnaya area. The clue approach was tested on the Sporyshevskaya and Vyintoyskaya, Vatinskaya areas, which were much less explored by drilling. The listed zones were formed at different geological times, belong to different regional clinofolds, but have common patterns of structure, which is reflected in the seismogeological model of the Ob river region GSIC. The model describes the distal and proximal parts of the intrusion, which were formed in the Neocomian time, when gravity-driven flows of sandy-silty material injected and spread inside high-bituminous Jurassic Bazhenovo formation Black Shales. Within the proximal part gravity-driven flows were accompanied by slumps of more clayey rocks. The dimensions of these flows and slumps, their location over the area are shown, their mapping in the 3D seismic data is discussed. In this work, we managed to get closer to solving the problem of predicting the development of sandy downward intrusions. There are oil reservoirs in the Ob river region GSIC, but they are insufficiently studied.

Keywords: Bazhenovo Black Shales formation, sand injections, anomalous section, Western Siberia , spectral decomposition, 3D seismic data, Achimov formation, landslide, intrusion body, clinofold complex, GSIC, creep, gravity-flow deposits.

Citation: Gatina, N. N., M. F. Sarieva, O. S. Mukhutdinova, A. Yu. Popkov, and S. S. Gavrillov, (2023), Clues to seismic data interpretation within the zones of the sand injections in so called “anomalous section” of the Bazhenovo Black Shales formation on the examples of the Potochnaya, Sporyshevskaya, Vyintoyskaya and Vatinskaya zones, *Russ. J. Earth. Sci.*, v. 23, ES2003, doi: 10.2205/2023ES000851

REFERENCES

Bordyug M. A., Slavkin V. S., Gavrillov S. S.

Features of the structure and formation of the anomalous section of the Bazhenov formation on the example of the Severo-Konitlor field // *Geology of oil and gas*. — 2010. — Vol. 1. — P. 32–40.

Borodkin V. N., Smirnov O. A., Lukashov A. V., et al. Characterization of the anomalous structure of the Bazhenov-Achimov complex of the Tagra megaswell in Western Siberia according to drilling and 3D seismic data // *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. — 2021. — Vol. 11, issue 359. —

- P. 5–13. — DOI: [10.33285/2413-5011-2021-11\(359\)-5-13](https://doi.org/10.33285/2413-5011-2021-11(359)-5-13).
- Braduchan Y. V., Glushko N. K., Komissarenko V. K., et al.* About the age of deposits of anomalous sections of the Jurassic and Cretaceous boundary layers in the wells of the Severo-Konitlorskoye field (preliminary report) // Bulletin of the subsoil user of KhMAO. — Tyumen, 2005. — Vol. 16. — P. 28–30.
- Braduchan Y. V., Gurari F. G., Zakharov V. A.* Bazhenov horizon of Western Siberia. — Novosibirsk : Science, 1986. — P. 216.
- Butorin A. V., Zhigulsky S. V., Asmandiyarov R. N., et al.* Prospects of anomalous section of bazhenov formation in the Noyabrskiy region of Western Siberia // Journal «PROneft». Professionally about Oil. — 2017. — Vol. 2, no. 4. — P. 12–18.
- Butorin A. V.* Study of the detailed structure of the Achimov oil and gas complex based on the spectral decomposition of the seismic wave field : PhD thesis geological and mineralogical sciences / *Butorin Alexander Vasilyevich.* — St. Petersburg, 2006. — P. 141.
- Gatina N. N., Garifullin I. I.* Experience in constructing a detailed oil-bearing scheme for the zone of the anomalous section of the Bazhenov-Achimov deposits based on the seismological model // Petroleum geology. Theory and practice. — 2023. — Vol. 18, no. 1. — P. 1–17. — DOI: [10.17353/2070-5379/12_2023](https://doi.org/10.17353/2070-5379/12_2023).
- Grishkevich V. F., Gatina N. N., Dolmatova S. S., et al.* About traces of splitting of Proto-Bazhenite islands on the sedimentary paleoslope // lithosphere. — Yekaterinburg, 2017a. — Vol. 4. — P. 48–61. — DOI: [10.24930/1681-9004-2017-4-048-061](https://doi.org/10.24930/1681-9004-2017-4-048-061).
- Grishkevich V. F., Lagutina S. V., Panina E. V., et al.* Geomechanical model for the formation of anomalous sections of the Bazhenov formation: physical modeling and practical application // Geology, geophysics and oil and gas development. — 2017b. — Vol. 3. — P. 33–47.
- Henderson J., Purves S., Leppard C.* Automated delineation of geological elements from 3D seismic data through analysis of multi-channel, volumetric spectral decomposition data // First Break. — 2007. — Mar. — Vol. 25. — P. 87–93. — DOI: [10.3997/1365-2397.25.1105.27383](https://doi.org/10.3997/1365-2397.25.1105.27383).
- Nezhdanov A. A., Kulagina S. F., Kornev V. A., et al.* Anomalous sections of the Bazhenov formation: a view half a century after discovery. News of higher educational institutions // Oil and gas. — 2017. — Vol. 6. — P. 34–42. — DOI: [10.31660/0445-0108-2017-6-34-42](https://doi.org/10.31660/0445-0108-2017-6-34-42).
- Nezhdanov A. A., Ponomarev V. A., Turenkov N. A., et al.* Geology and oil and gas potential of the Achimov formation in Western Siberia. — Moscow : Publishing House of the Academy of Mining Sciences, 2000. — P. 247.
- Oleinik E. V.* Zones of the anomalous structure of the Bazhenov formation due to the oil and gas potential of the Neocomian deposits on the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Yugra // Oil and gas. — 2018. — No. 3. — P. 29–37. — DOI: [10.31660/0445-0108-2018-3-29-37](https://doi.org/10.31660/0445-0108-2018-3-29-37).
- Oleinik E. V., Plavnik G. I.* Neocomian landslides in the Uryevskaya and Potochnaya areas of the Middle Ob // Bulletin of the subsoil user of Khanty-Mansi Autonomous Okrug. — 2007. — Vol. 17. — P. 18–23.
- Osyka A. V.* Geological models of the structure of the Tithonian-Berriassian-Valanginian deposits («anomalous» sections of the Bazhenov formation) in connection with the preparation of unconventional objects for the search for oil deposits in the territory of the enterprise «Kogalymneftegaz» : PhD thesis geological and mineralogical sciences / *Osyka Alexander Vladimirovich.* — Tyumen, 2006. — P. 221.
- Panchenko I. V., Gatina N. N., Vishnevskaya V. S., et al.* On the post-sedimentary nature of the anomalous sections of the Bazhenov and Georgiev formations (Western Siberia) based on the results of lithology, biostratigraphy and correlation of new core data, Cretaceous system of Russia and neighboring countries: problems of stratigraphy and paleogeography / ed. by *E. Y. Baraboshkina, A. Y. Guzhikova.* — Magadan, 2020. — P. 201–205.
- Partyka G., Gridley J., Lopez J.* Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization // The Leading Edge. — 1999. — Vol. 18, no. 3. — P. 353–360.
- Settling environments and facies : in 2 vols. Vol. 2 / ed. by *H. Redinga.* — Moscow : World, 1990. — P. 352.
- Sinha S., Routh P. S., Anno P. D., et al.* Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform // geophysics. — 2005. — Vol. 70, no. 6. — P. 19–25. — DOI: [10.1190/1.2127113](https://doi.org/10.1190/1.2127113).
- Zhemchugova V. A.* Practical Application of Reservoir Sedimentology in Modeling Hydrocarbon Systems: Textbook for Universities, Moscow. — Gubkin Russian State University of Oil, Gas, 2014. — P. 341.