

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Кафедра палеонтологии и стратиграфии

**В.В. СИЛАНТЬЕВ
Д.Н. МИФТАХУТДИНОВА**

**СТРАТИГРАФИЯ
И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**
(на примере пашийского горизонта терригенной толщи девона
Южно-Татарского свода)

Учебно-методическое пособие

КАЗАНЬ

2024

УДК 550.3

ББК 26.2

С36

*Принято на заседании Учебно-методической комиссии ИГиНГТ
(протокол № 10 от 22 мая 2024 г.)*

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор **З.А. Толоконникова**
(Кубанский государственный университет);
кандидат геолого-минералогических наук, доцент **Э.Р. Зиганшин**
(Казанский федеральный университет)

Силантьев В.В., Мифтахутдинова Д.Н.

С36 Стратиграфия и геологическое моделирование (на примере пашийского горизонта терригенной толщи девона Южно-Татарского свода): учебно-методическое пособие / В.В. Силантьев, Д.Н. Мифтахутдинова. – Казань: КФУ, 2024. – 48 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжский) федерального университета, изучающих дисциплины «Палеонтология и стратиграфия», «Историческая геология», «Методы стратиграфического анализа», проходящих полевые учебные и производственные практики на территории центральной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, выполняющих выпускные квалификационные работы. Материал пособия составлен на основе новых комплексных данных (литологических, седиментологических, ихнотекстурных, петрофизических и др.), анализа фондовых и опубликованных материалов. Пособие знакомит студентов с современными картами коэффициента песчаности, коэффициента расчлененности и мощностей терригенной толщи девона Южно-Татарского свода, построенные на основе анализа геофизических исследований по 25000 скважинам. Карты созданы с помощью метода пространственной интерполяции «Natural Neighbor» и программного продукта ArcGIS Pro.

УДК 550.3

ББК 26.2

© Силантьев В.В., Мифтахутдинова Д.Н., 2024
© Казанский университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Общие сведения об объекте исследования.....	5
2. Стратиграфический объем пашийского горизонта.....	8
3. Пашийский горизонт в терригенной толще девона.....	11
4. Методы построения модели осадконакопления и геологической модели.....	16
5. Результаты аналитических исследований.....	21
6. Геологическая модель: карты песчанистости, расчлененности и мощностей.....	27
7. Создание концептуальной модели осадконакопления.....	30
8. Модель осадконакопления пашийского горизонта.....	40
Выводы.....	42
Литература.....	44

Введение

Стратиграфия – геологическая дисциплина, которая изучает пространственные и временные соотношения пластующихся геологических тел Земной коры, представленных осадочными, вулканогенными и метаморфическими породами. Геологические тела могут содержать широкий спектр полезных ископаемых – россыпи алмаза и золота, залежи питьевой воды и углеводородного сырья, месторождения редких элементов и т.д.

Цель стратиграфии – установление возраста, продолжительности и условий формирования геологических тел, выявление закономерностей их пространственного расположения. Достижение поставленной цели необходимо для успешной разработки уже имеющихся и для поиска новых месторождений полезных ископаемых.

В современной геологии большое значение придается геологическому моделированию (компьютерному, нейросетевому) пространственного расположения геологических тел. Основа геологического моделирования – концептуальная модель осадконакопления, которая объясняет причины, факторы и закономерности расположения геологических тел различного состава (песчаных, глинистых, карбонатных и др.) в пространстве.

Учебно-методическое пособие представляет собой описание алгоритма создания концептуальной модели осадконакопления на примере пашийского горизонта терригенной толщи девона Южно-Татарского свода, от первого знакомства с объектом исследования до сравнения этого объекта с современными аналогами. Концептуальная модель осадконакопления объясняет геологическую модель (компьютерную), представленную в виде карт коэффициента песчаности, коэффициента расчлененности и мощностей, построенных на основе анализа геофизических исследований по 25000 скважинам с помощью метода пространственной интерполяции «Natural Neighbor» и программного продукта ArcGIS Pro (Силантьев и др., 2022). Материал, использованный в работе, включал в себя комплекс геофизических параметров, необходимых для оценки глинистых и песчаных компонентов в разрезе. Количественная оценка фильтрационно-емкостных свойств пород проведена по 27000 образцов. Литологический и ихнологический анализ проведены по керну 30 скважин, хранящихся в кернохранилище ПАО «Татнефть». Всего описано и опробовано 530 м пород, вскрывших пашийские отложения в интервале пластов ДІ-а, ДІ-б, ДІ-в. Отобрано и изучено 350 образцов керна, описано более 250 шлифов, проведен рентгеноструктурный анализ 124 образцов.

Предлагаемый алгоритм создания концептуальных моделей осадконакопления может быть использован студентами выпускных курсов при выполнении выпускных квалификационных работ, имеющих сходные задачи.

1. Общие сведения об объекте исследования

Южно-Татарский свод (ЮТС) – самое крупное (300x200 км) положительное тектоническое сооружение Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, расположенное в ее центральной части, отвечающей юго-восточной окраине Восточно-Европейской платформы (ВЕП) (рис. 1). Терригенные девонские отложения пашийского и тиманского горизонтов (рис. 2) Южно-Татарского свода являются основными многопластовыми (до 15-ти пластов) нефтеносными объектами, содержащими основную долю разведанных и потенциальных ресурсов (Муслимов, 2007).

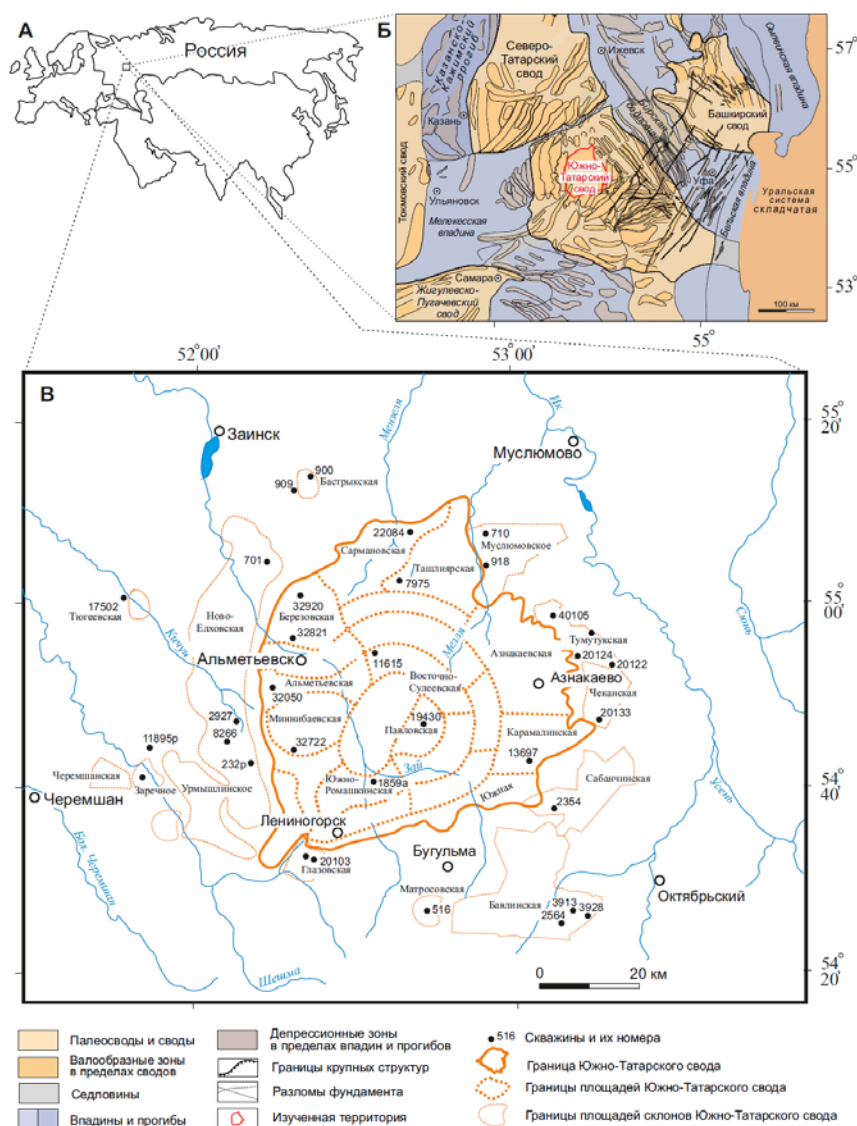


Рис. 1. Местоположение Южно-Татарского свода на обзорной (А) и тектонической (Б) картах; В – расположение изученных скважин; тектоническая карта дана по Шаргородский и др., 2004

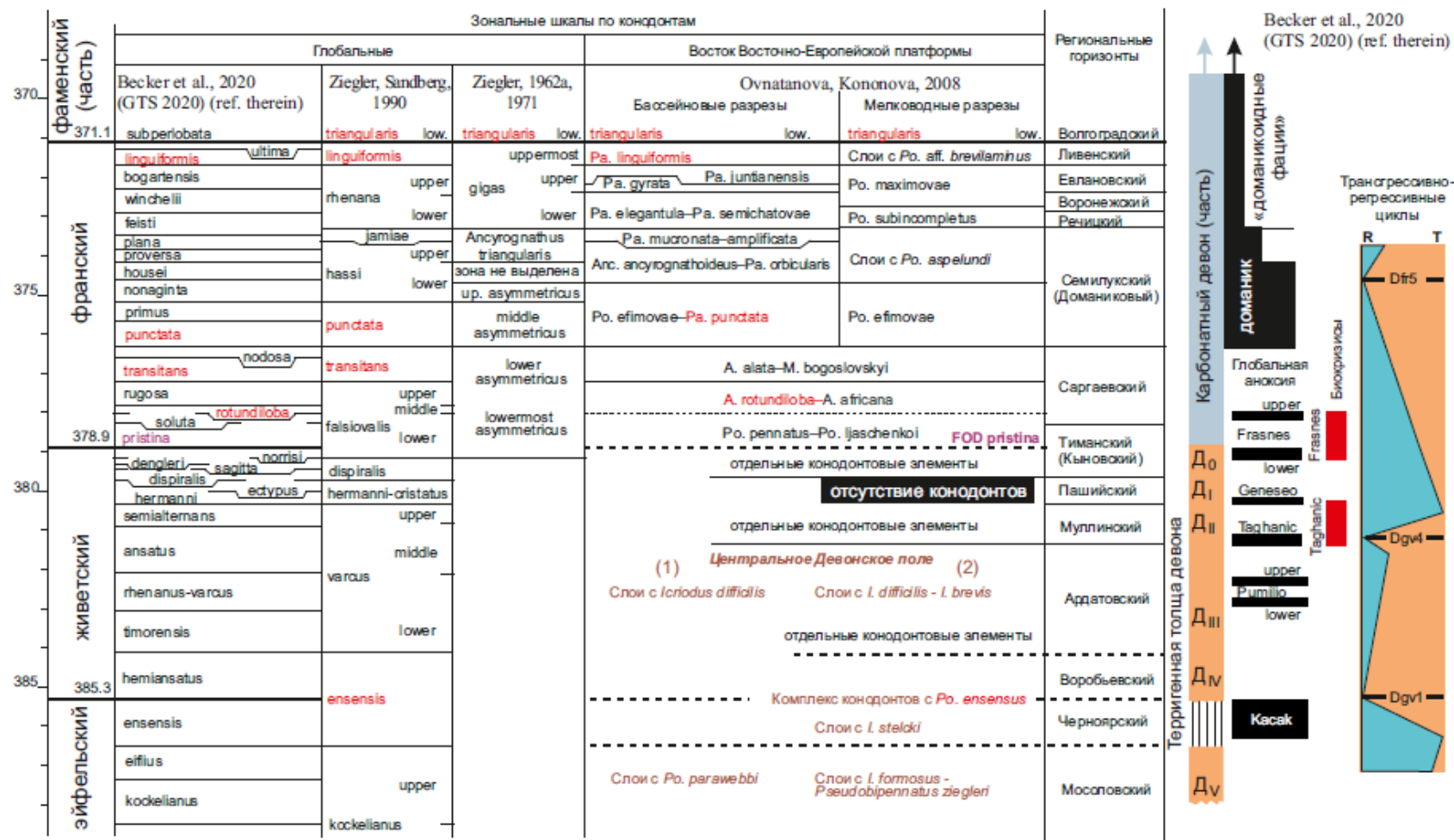


Рис. 2. Положение пашийского горизонта в Международной хроностратиграфической шкале. События глобальной аноксии морских бассейнов (доманиковые и доманикоидные фацции), глобальные биокризы и эвстатические трансгрессивно-регрессивные циклы даны по Becker et al., 2020; слои с фауной конодонтов Центрального Девонского поля даны по (1) Аристов, 1988; (2) Назарова, Кононова, 2016, 2020; красным цветом выделены конодонтовые зоны, прослеживаемые на Восточно-Европейской платформе; FOD pristina – первое местонахождение вида *Ancyrodella pristina* (Халымбаджа, Чернышева, 1970)

В результате почти вековой истории исследования ЮТС установлены основные продуктивные пласты Д0, Д1, ДII, ДIII, ДIV, соответствующие в стратиграфическом аспекте (сверху вниз) тиманскому, пашийскому, муллинскому, ардаговскому и воробьевскому горизонтам (рис. 2, 3) терригенной толщи девона (ТТД) франско-живетского возраста.

Пашийский горизонт является наиболее интересным объектом. Пласт Д1, приуроченный к пашийскому горизонту, включает пять основных (Д1-а, Д1-б, Д1-в, Д1-г, Д1-д) пропластков. Это высокопродуктивный, экономически эффективный, самый сложный в геологическом отношении, и поэтому, наиболее изученный объект (Муслимов, 2007; Данилова, 2008).

Нефтеносные песчаники и песчанистые алевролиты пашийского горизонта разделены аргиллитами и глинистыми алевролитами; часто замещаются ими, уменьшаясь в мощности, и иногда полностью выпадают из разреза. Пространственное изменение геологического разреза объясняется большим фациальным разнообразием ТТД и уже более полувека вызывает у исследователей стремление найти закономерности этого процесса.

Строение, свойства и изменчивость пашийского горизонта и пласта Д1 рассмотрены во многих публикациях (например, Михайлова, 1973, 1977; Данилова, 2008). В этих работах реконструкция условий осадконакопления и выделение фаций основаны на комплексном литологическом анализе, включающем макроописание керн, изучение шлифов, гранулометрию и т. д., на данных геофизических исследований скважин (ГИС) и иных методах.

Учебно-методическое пособие представляет собой пример разработки и обоснования модели осадконакопления пашийского горизонта, объясняющей причины фациальной пестроты пашийских отложений. Разработка и обоснование модели включало решение следующих задач:

- комплексный анализ ГИС-данных по 25040 скважинам;
- построение карт коэффициентов песчанистости, расчлененности и мощностей для нижней и верхней части пашийского горизонта математическим методом пространственной интерполяции «Natural Neighbor», визуализированного с помощью продукта ArcGIS Pro;
- детальное изучение керн более 40 скважин ПАО «Татнефть», пробуренных как на самом ЮТС, так и на его склонах (рис. 1);
- сравнительный анализ обстановок осадконакопления пашийского горизонта с обстановками современных и древних бассейнов.

2. Стратиграфический объем пашийского горизонта

Детальная литологическая, палеонтологическая, петрофизическая, фациальная, характеристика пашийского горизонта приведена в многочисленных публикациях (Алиев и др., 1978; Губарева, 2003; Шакиров, 2003; Муслимов и др., 2007а, б; Данилова, 2008; Ларочкина, 2008; Фортунатова и др., 2013; Лощева и др., 2017 и др.). Информация, содержащаяся в этих работах, различается шириной охвата территории, методологией, количеством анализируемого материала.

Пашийские отложения залегают в верхней части ТТД, начиная завершающий (пашийско-тиманский) этап ее накопления. История их формирования неотделима от истории формирования всей ТТД и поэтому рассматривается как часть единого геологического процесса. Термин «*пашийский горизонт*» (слои, свита) стал использоваться в геологии ВЕП с 1951 г. С этого времени и до 2018 г. включительно, его стратиграфическое положение неоднократно уточнялось, а объем постепенно уменьшался.

История изменения объема пашийского горизонта. В пределах ЮТС отложения ТТД впервые были вскрыты в 1940 г. на Туймазинской структуре Западной Башкирии, а чуть позже, в 1945–1946 гг., на смежной территории юго-востока Татарии в районе сс. Шугурово и Бавлы.

Первоначальная технологическая схема ТТД ЮТС, включающая песчаные пласты Д_{IV}–Д_{III}–Д_{II}–Д_I, была разработана А.А. Трофимуком (1947) на разрезах Туймазинской структуры. Биостратиграфический вид ей придали М.Ф. Микрюков и К.Р. Тимергазин (1948), доработав на основе принципа цикличности, лито- и биостратиграфических данных. Первоначальная схема ТТД оказалась очень удобной для всех видов геологических работ и стала основой всех последующих стратиграфических схем.

В первоначальной схеме, ТТД (90–120 м) была выделена в *туймазинскую свиту*, которая состояла из трех «горизонтов» (снизу вверх): *ардатовского*, *нарышевского*, *михайловского*, названных по разрезам скважин, расположенным у сс. Ардатовка, Нарышево и Михайловка Западной Башкирии (Микрюков, Тимергазин, 1948).

Ардатовский горизонт включал (снизу вверх): песчаный пласт Д_{IV}, глинистую пачку, песчаный пласт Д_{III}, репер «средний известняк».

Нарышевский горизонт включал (снизу вверх): нижнюю глинистую пачку, песчаный пласт Д_{III}, среднюю глинистую пачку, песчаный пласт Д_I, верхнюю глинистую пачку, репер «верхний известняк».

Михайловский горизонт включал карбонатно-терригенные отложения, залегающие между «верхним известняком» и *доманиковой* свитой.

Всесоюзное совещание по девонским отложениям Русской платформы и Западного склона Урала, состоявшееся в 1951 г., утвердило первую *Унифицированную стратиграфическую схему девонской системы Волго-Уральской области*, упразднив все стратиграфические подразделения ТТД, выделенные по разрезам Башкирии (Решения..., 1951). Вместо них, предлагалось использовать либо общие стратиграфические подразделения (например, *верхнеживетский подъярус* как аналог *ардатовского горизонта*), либо местные свиты Западного Урала (*пашийская, кыновская, саргаевская*), которым (административным методом) был придан ранг *региональных слоев*, прослеживаемых от Урала на всю территорию ВЕП.

Так, *пашийские слои*, обозначенные как нижнее подразделение франского яруса, впервые были введены в практику работ геологов Башкирии и Татарии. По схеме 1951 г. *пашийские слои* включали: пласт Д_п, среднюю глинистую пачку, пласт Д_г и верхнюю глинистую пачку. «Верхний известняк» был выделен как базальная часть вышележащих *кыновских слоев*.

Унифицированная стратиграфическая схема девона Волго-Уральской нефтегазоносной провинции 1960 г., повысила ранг западноуральских подразделений до *горизонтов* (*пашийский, кыновский*) и, наряду с ними, стала использовать горизонты Воронежской антеклизы – *воробьевский* и *старооскольский* (Решения по уточнению..., 1962). Объем *пашийского горизонта* был уменьшен: теперь он включал только пласт Д_г и верхнюю глинистую пачку первоначальной схемы (Микрюков, Тимергазин, 1948). Нижняя часть *пашийских слоев* Схемы 1951 г., т.е. пласт Д_п и средняя аргиллитовая пачка с репером «черный известняк», была выделена в *муллинский горизонт* со стратотипом в Западной Башкирии (скважина 17 Муллинская, Туймазы).

Таким образом, схемы 1951 и 1960 гг. предлагали расчленять разрезы ТТД ЮТС на подразделения, установленные либо на Западном Урале (в 1000 км восточнее), либо на Воронежской антеклизе (в 1000 км западнее). Стратотипические разрезы этих горизонтов существенно отличаются от разрезов ТТД ЮТС. Проблема решалась выделением для одного и того же горизонта нескольких типов разрезов (например, Алиев и др., 1978).

Унифицированная схема девонской системы Русской платформы 1965 г. оставила без изменений объем и возраст *пашийского горизонта* (Решения..., 1965). Изменения затронули нижележащие отложения ТТД: они были выделены в *старооскольский горизонт*, включающий *воробьевские, ардатовские* (подразделение было восстановлено) и *муллинские* слои.

В 1970-1980-х гг. глобальная стратиграфия девонской системы была существенно уточнена, благодаря использованию фауны конодонтов, позволяющих проводить широкие межрегиональные корреляции. К сожалению, конодонты распространены преимущественно в карбонатных и кремнистых отложениях. В терригенных породах они встречаются редко. Из-за

этого, стратиграфия ТТД ВЕП к 1990-м гг. осталась на прежнем уровне и, как и прежде, базировалась на «цикличности разреза» и фациально зависимых группах ископаемых остатков: остракодах, брахиоподах и миоспорах.

Межведомственное стратиграфическое совещание по девону Русской платформы 1988 г. внесло в схему ТТД лишь формальные изменения, повысив ранг подразделений предыдущей схемы. *Старооскольский надгоризонт*, отвечающий всему объему живетского яруса, стал включать в себя три горизонта: *воробьевский*, *ардаатовский* и *муллинский* (Решение..., 1990).

Положение пашийского горизонта в современной стратиграфической шкале является неопределенным. Это происходит из-за отсутствия в нем руководящих морских ископаемых и прежде всего конодонтов, которые лежат в основе зональной стратиграфии девона. Данные по конодонтам из смежных стратиграфических интервалов (*воробьевский*, *ардаатовский*, *тиманский*) позволяют (Халымбаджа, Чернышева, 1970; Аристов, 1988; Ovnatanova, Kononova, 2008; Назарова, Кононова, 2016, 2020) определяют место *пашийского* горизонта в верхней части живетского яруса (Alekseev et al., 1996; Фортунатова и др., 2013; Унифицированная..., 2018) (рис. 2).

В 2018 г. Межведомственный стратиграфический комитет России утвердил новую Унифицированную стратиграфическую схему верхнего девона отложений Волго-Уральского субрегиона, в которой, пашийский горизонт перенесен из франского яруса в живетский, а граница между средним и верхним девонem (живетским и франским ярусами) совмещена с подошвой тиманского горизонта (Унифицированная..., 2018). При этом объем пашийского горизонта снова сокращен: теперь в нем осталась только алевритово-песчаная толща пласта Д₁ с низкими значениями ГК. Верхняя глинистая пачка первоначальной схемы (Микрюков, Тимергазин, 1948), подстилающая репер «верхний известняк», отчленена от пашийского горизонта и присоединена к вышележащему тиманскому горизонту франского яруса. Предполагается, что эта пачка фиксирует трансгрессию, произошедшую в начале тиманского времени (Фортунатова и др., 2013).

В данной статье принята схема расчленения ТТД, используемая ПАО «Татнефть» (Муслимов и др., 2007 а, б; Смелков, Тухватуллин ..., 2007) и основанная на Схеме 1990 г. (Решение ..., 1990). Соответственно, используются следующие объемы подразделений: *эйфельский ярус* включает (здесь и далее, снизу вверх) гравийно-песчаный пласт Д_v и карбонатно-аргиллитовую пачку (репер «нижний известняк»); *воробьевский* горизонт включает пласт Д_{iv} и аргиллитово-алевролитовую пачку (Микрюков, Тимергазин, 1948); *ардаатовский* – пласт Д_ш, «средний известняк» и аргиллитово-алевролитовую пачку; *муллинский* – пласт Д_п и аргиллитовую пачку с репером «черный известняк»; *пашийский*

горизонт – пласт Д_I и верхнюю аргиллитовую пачку. Граница между живетским и франским ярусами и спорное стратиграфическое положение пашийского горизонта не имеют принципиального значения для тематики данной статьи и здесь специально не обсуждаются.

Изменение объема пашийского горизонта, его не вполне определенное стратиграфическое положение свидетельствуют с одной стороны об условности расчленения всей ТТД ЮТС, а с другой – о внутреннем единстве ТТД и генетической близости всех входящих в нее подразделений.

3. Пашийский горизонт в терригенной толще девона

Характеристика полных разрезов ТТД ЮТС, включающая послойные описания фрагментов скважин и/или их литологические колонки, содержится в фондовых отчетах и ряде публикаций (Антропов, Батанова, 1960; Саркисян, Михайлова, 1961; Алиев и др., 1978 и др.). Обобщенные сведения приведены в сводных работах (Михайлова, 1977; Губарева, 2003; Смелков, Тухватуллин, 2007). Подробная информация о породах-коллекторах пашийского и тиманского горизонта дана Т.Е. Даниловой (2008). Краткие сведения о ТТД, изложенные ниже, основаны на фондовых, опубликованных и собственных материалах, и сфокусированы главным образом на литотипах, их особенностях (сортировка, зрелость), их нотекстурах, биотурбации, ископаемых остатках, т.е. на признаках, позволяющих реконструировать условия осадкообразования.

Эйфельский ярус начинает стратиграфическую последовательность ТТД, трансгрессивно перекрывая кристаллический фундамент и/или верхнепротерозойские образования платформы. Наиболее полные разрезы расположены на северо-восточном и юго-восточном склонах ЮТС.

На Бавлинской площади разрез эйфельского яруса (18 м) включает две пачки: нижнюю – гравийно-песчаную (пласт Д_V) и верхнюю – карбонатно-аргиллитовую. Нижняя пачка (9 м) представлена неотсортированными разнозернистыми песчаниками, прослоями гравийными, с большим количеством обугленных растительных остатков и стяжениями пирита; отмечаются прослойки сидерит-шамозитовых железных руд. Верхняя пачка (9 м) сложена известняками и доломитами глинистыми битуминозными, участками органогенными (криноидными), включающими прослойки пород доманикоидного облика (репер «нижний известняк»).

На юге ЮТС (Южно-Ромашкинская площадь) эйфельские отложения (32,5 м) залегают на элювии кристаллического фундамента и представлены только терригенными породами с отсутствием сортировки (аналоги пласта Д_V): аргиллитами песчано-алевритовыми с углистым

детритом и песчаниками кварцевыми средне- и крупнозернистыми с примесью гравийного материала.

Палеонтологические данные позволяют сопоставлять эйфельские отложения ЮТС с *мосоловским* горизонтом эйфельского яруса центральных областей ВЕП (Антропов, Батанова, 1960). Соответственно длительность перерыва между отложениями эйфеля и живета на ЮТС оценивается в объеме *черноярского* горизонта (рис. 2) (Alekseev et al., 1996; Губарева, 2003).

Воробьевский горизонт прослеживается не во всех разрезах и часто бывает не отделим от вышележащего *ардатовского* горизонта. В тех разрезах, где горизонт (5–30 м) выделяется, он обычно сложен в основании крупно- и мелкозернистыми песчаниками пласта Д_{IV}, выше сменяющимися полосчатыми алевролитами и аргиллитами. В верхней части горизонта иногда прослеживается тонкий прослой известняка (репер «фонарик»), представленного разнообразными биокластовыми, остракодовыми и микробиально-водорослевыми типами. Породы горизонта часто сильно биотурбированы, в т.ч. многоуровневыми структурами *Zoophycos* и *Spirophyton*.

В ряде разрезов (рис. 3) горизонту соответствует пачка пород с полным отсутствием сортировки: песчаники и гравелиты кварцевые (иногда с примесью полевых шпатов и обломков пород) и высоким содержанием каолинита.

Ардатовский горизонт (10–35 м) включает две пачки: нижнюю, алевроито-песчаниковую (пласт Д_{III}) и верхнюю, глинисто-карбонатную (репер «средний известняк»).

Нижняя пачка (14–20 м), в тех разрезах, где выделяется пласт Д_{III}, сложена отсортированными песчаниками крупно- и разномзернистыми, алевролитами глинистыми крупнозернистыми слоистыми, включающими прослой оолитовых шамозитовых и лептохлорит-сидеритовых руд. В некоторых разрезах песчаники отсутствуют и замещены алевролитами и/или плотными аргиллитами. В этом случае пласт Д_{III} не выделяется.

Верхняя пачка представлена алевролитами глинистыми мелкозернистыми слоистыми, переходящими вверх по разрезу в аргиллиты бурые плитчатые с растительным детритом и/или, при повышенной известковости, с фосфоритовыми конкрециями и обломками раковин головоногих моллюсков (*Agoniatites*), лингулид, конхострак, обломками панцирей рыб. Алевролиты часто сильно биотурбированы (до 100 % переработки осадка организмами), ихнофоссилии представлены *Zoophycos*, *Spirophyton* и *Planolites*.

Репер «средний известняк» залегает в нижней части верхней пачки и представлен как правило скрытокристаллическими биокластовыми известняками, часто с примесью алевроито-песчаного материала (до 20–30 %).

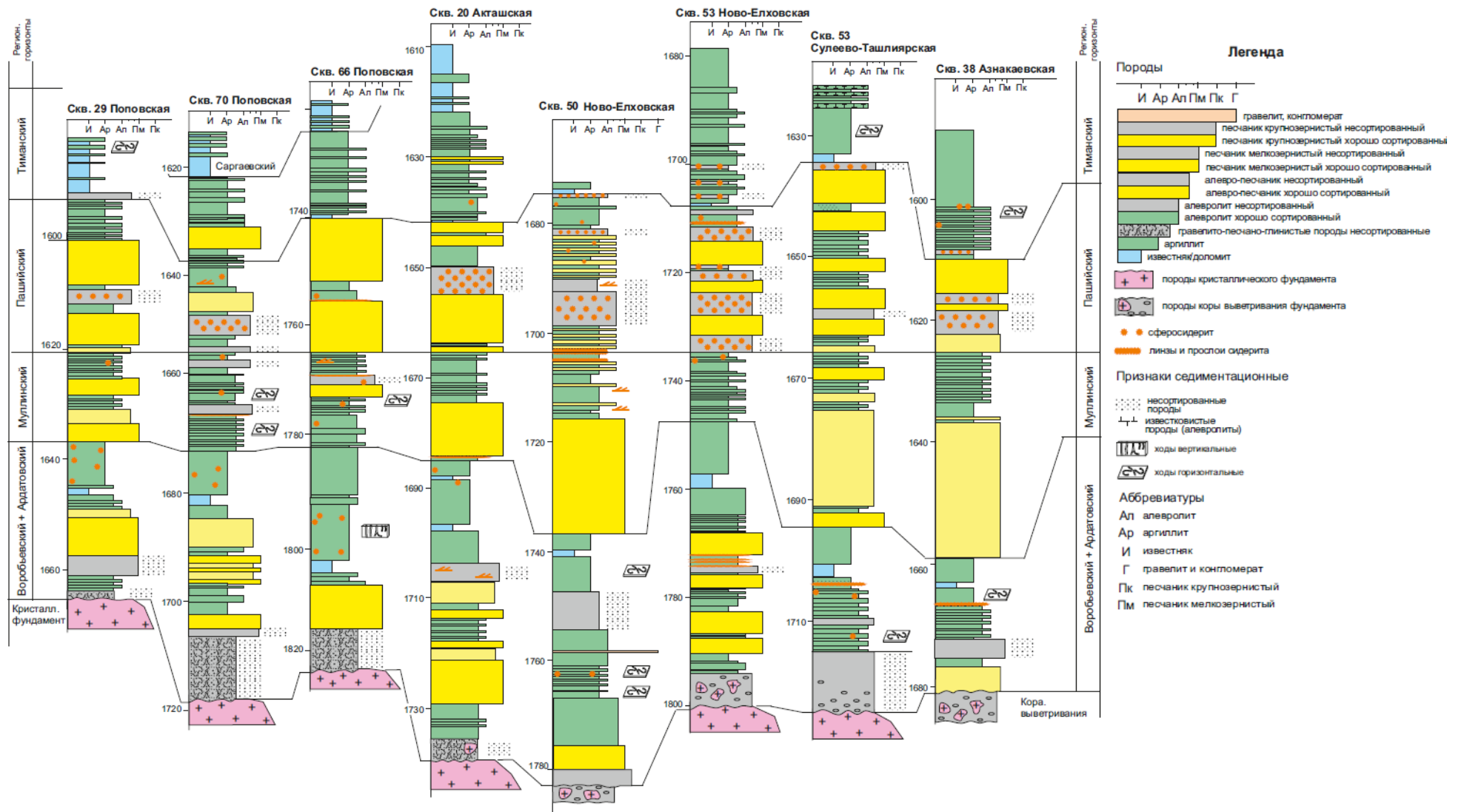


Рис. 3. Некоторые разрезы ТТД ЮТС, иллюстрирующие фаціальную изменчивость стратиграфических подразделений и чередование в разрезе сортированных и несортированных пород (по Саркисян, Михайлова, 1961 с изменением)

Муллинский горизонт (8–30 м) содержит две пачки: нижнюю, алевроито-песчаниковую (пласт Д_{II}) и верхнюю, глинисто-карбонатную (репер «черный известняк»).

Нижняя пачка (7–25 м), в тех разрезах, в которых выделяется пласт Д_{II}, сложена отсортированными песчаниками мелкозернистыми; песчаники представлены либо одним (15–20 м) пластом, либо разделены полосчатыми алевролитами на несколько прослоев (по 2–7 м). В некоторых разрезах песчаники полностью отсутствуют и замещены интенсивно биотурбированными или «червивыми» (Михайлова, 1977, стр. 12) алевролитами, иногда включающими прослой (2–3 м) алевро-песчаников.

Ихноразнообразие в горизонте увеличивается: ихнокомплекс *Zoophycos*, *Spirophyton* и *Planolites* дополняется ходами *Teichichnus*. Степень биотурбации слабеет, в среднем, породы переработаны на 60 %.

Верхняя пачка (5–10 м) сложена преимущественно алевролитами и аргиллитами. Алевролиты песчанистые мелкозернистые биотурбированные, включают линзы сидерита и лептохлорит-сидерита. Аргиллиты бурые, почти черные, пиритизированные, иногда битуминозные, с растительным и раковинным детритом, со стяжениями сидерита, конкрециями фосфоритов и остатками головоногих моллюсков (*Orthoceras*), кораллов, замковых брахиопод, лингулид, конхострак. В середине пачки – репер «черный известняк» – известняк биокластовый, в основании песчано-алевритовый, включающий прослой почти черной доманикоидной породы.

Пашийский горизонт (10–60 м) сложен типичными для него хорошо отсортированными мелкозернистыми песчаниками и крупнозернистыми алевролитами (пласт Д_I), биотурбированными алевролитами и аргиллитами, несортированными глинисто-алевритовыми породами со сферосидеритом. В некоторых разрезах песчаники составляют 80–90 % от мощности горизонта, в некоторых – полностью отсутствуют (рис. 3).

На ЮТС пласт Д_I технологически разделяется на пять основных и пять дополнительных технологических пропластков, имеющих свою собственную буквенно-численную номенклатуру (рис. 4). Репер «аргиллит», отделяет два нижних пропластка от трех верхних. Его кровля служит поверхностью условного деления горизонта на нижнюю и верхнюю части (Данилова, 2008).

Тиманский горизонт (5–40 м); стратотип – *тиманская свита*, р. Ухта, Южный Тиман; был введен в Стратиграфическую схему девона ВЕП (Решение ..., 1990) взамен *кыновского*, нижняя часть которого в стратотипе на Западном Урале имеет живетский возраст (Artyushkova et al., 2011).

Нижняя граница горизонта совпадает с подошвой репера «верхний известняк». Выше следует пачка шоколадно-бурых и зеленых аргиллитов, постепенно сменяющаяся «ритмитами» – тонким переслаиванием (5–12 мм) аргиллитов и крупнозернистых алевролитов, осложненным многочисленными ходами илоедов. На этом уровне в разрезах северного и западного склонов ЮТС распространены прослои (от 1 до 5) хорошо отсортированных песчаников и алевролитов пласта Д₀. Верхняя половина горизонта слагается «среднекыновским известняком» (репер «аякс») и перекрывающей его пачкой глинисто-алевролитовых пород.

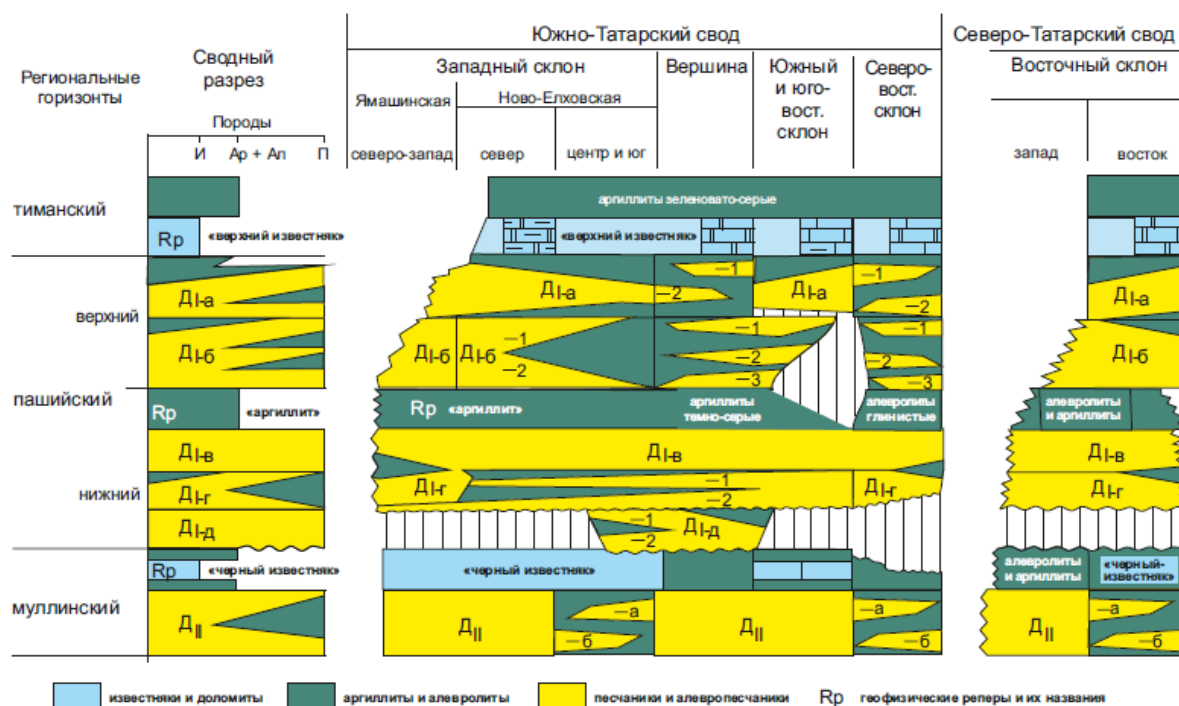


Рис. 4. Схема пласта Д₁ пашийского горизонта (вне масштаба); обращает внимание, что во многих разрезах соотношение коллектор/неколлектор составляет примерно равное (50/50) соотношение (по Данилова, 2008 с изменением)

Тиманский горизонт ихнологически разнообразен: к тонкослоистым аргиллитам приурочены ходы *Lingulichnus*, в алевролитах преобладают *Skolithos* и *Planolites* с редкими *Scolicia*. Степень биотурбации увеличивается от 0–10 % в аргиллитах до 100 % в алевролитах.

«Среднекыновский известняк» является типовым стратиграфическим интервалом конодонтов *Ancyrodella pristina* Khalymbadzha et Chernysheva, 1970, служащего маркером нижней границы франского яруса Евразии (Liao and Valenzuela-Ríos, 2008; Becker et al., 2020) (рис. 2).

На этом мы заканчиваем рассмотрение интересующего нас стратиграфического интервала и переходим к промежуточным выводам. Приведенные материалы дают возможность отметить следующие особенности ТТД ЮТС: 1) начиная с воробьевского горизонта, каждый стратиграфический интервал характеризуется как песчаным, так и глинисто-алевритовым типами разреза; 2) мощность интервалов (горизонтов) выдержана независимо от типа разреза; 3) на всех интервалах наблюдается чередование сортированных и несортированных пород; 4) вверх по разрезу сортировка и зрелость песчаников увеличивается; 5) различие пород по степени сортировки материала наблюдается в пределах «литотипов»; 6) вверх по разрезу, начиная с воробьевского горизонта, увеличивается биотурбация (особенно заметная в алевролитах) и начинают встречаться ихнотаксоны-индикаторы морских условий; 7) на многих уровнях разреза встречаются тонкие прослои фосфоритовых конкреций, доманикоидных пород, сидеритовых и шамозитовых железных руд; 8) количество песчаных тел в пределах стратиграфических интервалов (горизонтов) достаточно выдержано; 9) грубообломочные породы (гравелиты) имеют подчиненное значение и приурочены к нижней части ТТД.

4. Методы построения модели осадконакопления и геологической модели

Литологическое расчленение разреза скважин на основе комплекса признаков на каротажных кривых является одним из основных результатов интерпретации скважинных данных. Глинистые породы характеризуются повышенными показаниями на кривой естественной радиоактивности (ГК) и положительными значениями на кривой самопроизвольной поляризации (ПС), а пласты песчаника, напротив, характеризуются пониженными значениями на кривой ГК и отрицательной амплитудой на кривых ПС. Глинистые песчаники и алевролиты занимают промежуточную нишу значений.

Стратиграфическая разбивка проводилась согласно схеме, принятой в ПАО «Татнефть». В основу отнесения отдельных выделенных пластов к определенному литотипу было положено уточненное макроскопическое описание. В дальнейшем для каждого выделенного пласта производилось снятие отсчетов с кривых каротажа. При этом применялись традиционные подходы оценки среднего в мощных пластах или экстремальных значений кривой в тонких пластах. В качестве критерия соответствия пласта категории «тонкого» была принята мощность 0,4 м.

Разделение на литотипы по гранулометрическому составу проведено с учетом макроописания кернa и ГИС-данных по 1500 скважинам на основании процентного содержания псаммитовой фракции. Литотип «песчаник» определялся в случае, если доля псаммитовой фракции составляет более 70 %, в противном случае – литотип считался «алевролитом».

Данное разделение подтверждается кросс-плотами распределения грансостава по $\alpha_{\text{пс}} = f(\text{Агк})$ (рис. 5, 6). Так, пластам, характеризующимся минимальными значениями Агк соответствует литотип «песчаник». Пласты, имеющие повышенные показания Агк по сравнению с песчаниками могут именоваться «алевролитами» или «песчаниками глинистыми» с различными вариациями. Максимальные показания кривой Агк соответствуют пластам «аргиллитов». В ходе выполнения работы было решено остановиться на выделении по различным признакам на каротажных кривых трех литотипов: «песчаник», «алевролит», «аргиллит». При этом, литотип «алевролит» может быть назван в более широком понимании «алевролиты и заглинизированные песчаники».

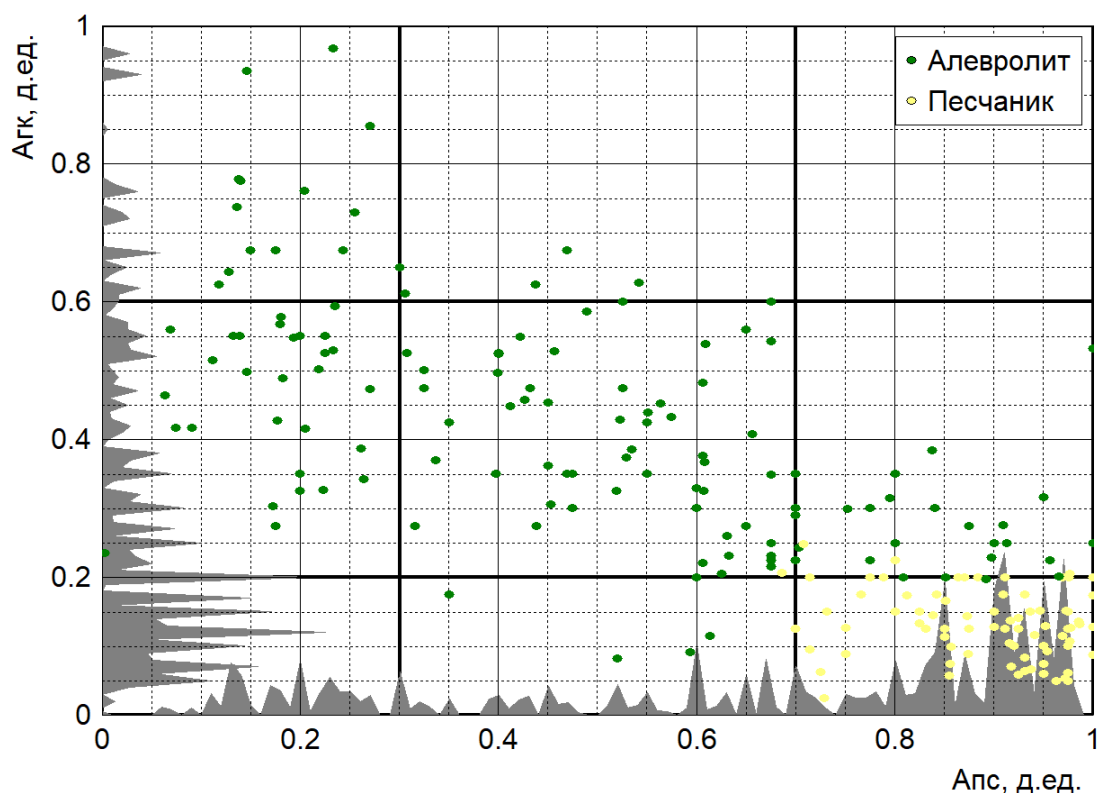


Рис. 5. Кросс-плот разделения на литотипы по грансоставу для западного склона ЮТС

Построение карт проводилось с помощью детерминированного метода пространственной интерполяции «Natural Neighbor» (Sibson, 1981) с размером ячейки 50 м. Выбор данного метода обусловлен тем, что он способен обрабатывать до 15 млн. входных точек и интерполировать значения с определением веса каждой точки, основываясь на пропорциональных областях («естественных соседях»). Еще одно достоинство метода заключается в том, что он не выводит тренды и не создает пики, ямы или точки минимума, которые не представлены входными данными. Это позволяет получать более гладкую результирующую поверхность.

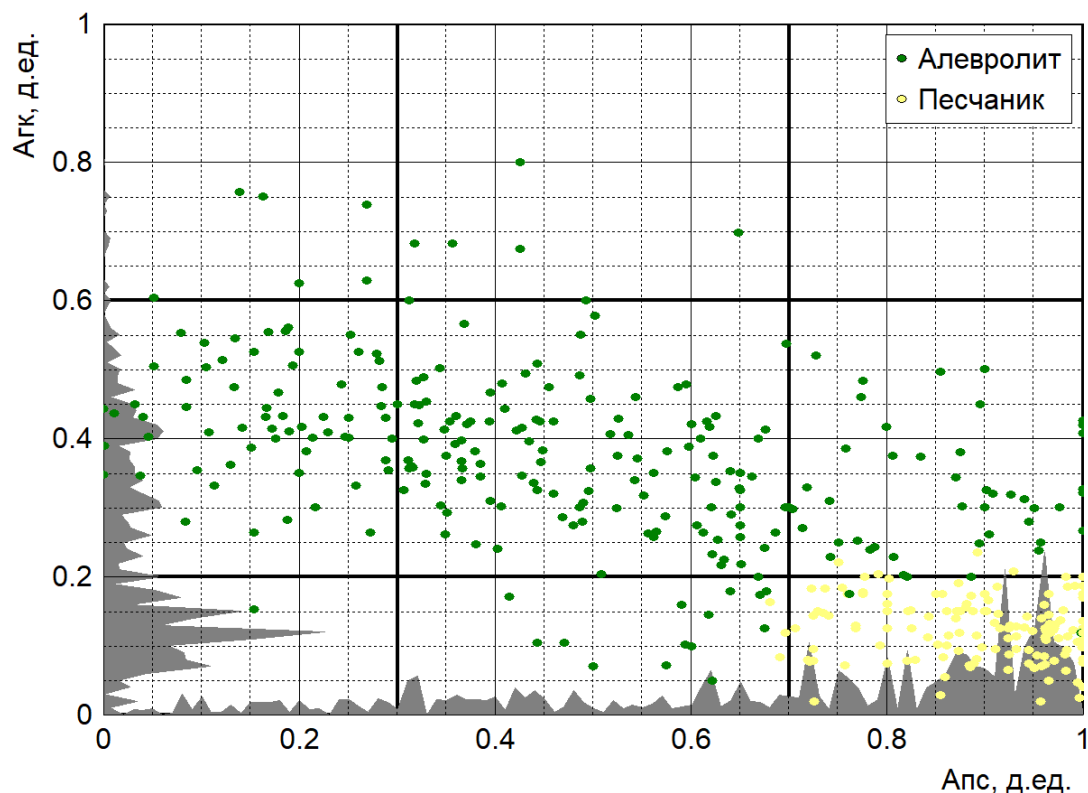


Рис. 6. Кросс-плот разделения на литотипы по грансоставу для сводовой части ЮТС

Коэффициент песчаности. Для выявления пластов песчаных тел по данным ГИС были использованы нормированные кривые Агк для нижней и верхней части пашийского горизонта. Значения Агк меньше 0,2 принимались за граничный уровень песчаников, а значения Агк более 0,6 – за граничный уровень аргиллитов. Таким образом, область всех значений кривой делилась на три части. Принималось, что песчаникам соответствует значение $Агк < 0,2$, аргиллитам: $0,2 < Агк \leq 0,6$, алевролитам: $Агк > 0,6$.

Значения глубин, отвечающие точкам пересечения Агк с линиями $Агк = 0,2$ и $Агк = 0,6$, считались границами интервала, в пределах которого область кривой нужно отнести к песчаникам, алевролитам или аргиллитам.

Минимальная мощность анализируемого интервала принята равной 0,4 м. Интервалы, мощностью менее 0,4 м не анализировались и объединялись с соседними, более мощными интервалами.

Последовательность интервалов (мощностью 0,4 м и более), определенных в каждой скважине, анализировалась следующим образом: осуществлялся подсчет количества интервалов, отнесенных к песчаникам; рассчитывалось процентное содержание песчаников, т.е.

отношение суммарной мощности интервалов с песчаником к общей мощности исследуемого разреза.

Распределение коэффициента песчаности было ранжировано на пять расчетных классов, для каждого из которых в пределах пашийского горизонта было определено среднее количество пластов и мощность (табл. 1).

Таблица 1

Ранжирование отложений пашийского горизонта по коэффициенту песчаности

Класс	Песчаность, %	Количество пластов	Мощность, м
1	0–10	0–2	10–20
2	10–30	1–3	10–20, реже до 30
3	30–40	2–3	20–30
4	40–60	3–4, реже 1 или 5	30–40, реже 10
5	60–100	3–4, реже 2 или 5	10–20, реже до 30

Каждый из пяти классов отвечает определенному типу разреза пашийского горизонта: *глинистому* (класс 1; коэфф. песч. 0–10 %), *алеврито-глинистому* (класс 2; коэфф. песч. 10–30 %); *переходному* или *песчано-алеврито-глинистому* (класс 3; коэфф. песч. 30–40 %), *алеврито-песчаному* (класс 4; коэфф. песч. 40–60 %) и *песчаному* (класс 5; коэфф. песч. 60–100 %).

Изолинии количества пластов песка учитывали каждый пласт песчаника мощностью 0,4 м. Изопахиты мощности стратиграфических интервалов проводились через 10 м. Визуализация расчетных данных проведена программным продуктом ArcGIS Pro.

Литологические исследования керн включали: макроскопическое описание, изучение петрографических шлифов и рентгенографический анализ.

Описание керн проводилось поинтервально снизу-вверх с определением основных характеристик пород: цвет, структура, текстура, минеральный состав, взаимоотношение слоев, состав органических остатков и прочих особенностей. Границы интервалов определялись по литологическим признакам с учетом нефтенасыщения пород. Обращалось внимание на последовательность напластования, литологический состав, структуру и текстуру пород, характер нефтенасыщенности и др. Описание шлифов проводилось с помощью оптического поляризационного микроскопа «Axio Imager A2». Анализ шлифов включал определение минерального состава, выявление микротекстуры и структуры пород. По шлифам также оценивался

гранулометрический состав терригенного материала (песок/алеврит/пелит), а для песчаников и алевролитов – сортированность обломочного материала.

Количественный минеральный состав пород определялся с помощью рентгенографического анализа на дифрактометре D2 Phaser. Данные этого анализ использовались для оценки степени минералогической зрелости терригенного материала различных литотипов, т.е. отношения содержания кварца к сумме содержаний кварца и других обломков (полевые шпаты, слюды, глинистые минералы).

Задачами литологического изучения кернового служили: выявление основных литотипов и их последовательностей, минералого-петрографическая характеристика литотипов, определение их диагностических признаков.

Ихнологические исследования – ихнофациальный и ихнотекстурный анализы проводились одновременно с послойным описанием керна как непосредственно в кернохранилище, так и в лабораторных условиях. Детальность изучения составила 0,1 м. Одновременно с ихнологическими исследованиями отмечались и определялись остатки скелетной фауны.

Изучение керна и анализ условий осадкообразования проведены по методике, предложенной Е.Ю. Барабошкиным (2007) и В.П. Алексеевым (2014). Определения ихнофоссилий и биотурбации в керне проведено по методике Д. Кнауста (Knaust, 2017).

Ихнофациальный анализ включал определение ихнофоссилий и их группировку в комплексы. *Ихнотекстурный анализ* включал: 1) определение размещения ихнофоссилий в осадочной толще, 2) определение степени биотурбации (перемешивания осадка жившими в нем организмами) и ее стадийности.

5. Результаты аналитических исследований

Результаты литологических исследований терригенных отложений пашийского горизонта позволили разработать их классификацию (табл. 2) и обосновать основные характеристики, полученные при макро- и микроскопическом изучении керн и шлифов (рис. 7).

Таблица 2.
Классификация терригенных пород пашийского горизонта

Литотипы		Сортировка терригенного материала (песок/алеврит/пелит)	Минералогическая зрелость пород	Окатанность обломков
Литотипы I уровня	Литотипы II уровня			
Песчаники	Песчаники пористые	95–75/5–25/до 1–2 преимущественно хорошая	>0,97	хорошая и средняя
	Песчаники плотные карбонатные	95–75/5–25/до 1–2 преимущественно хорошая		
Алевролиты	Алевролиты пористые	10–25/75–85/5–10 преимущественно хорошая	0,90–0,99	хорошая и средняя
	Алевролиты плотные глинистые	5–25/40–85/10–35 средняя и плохая	0,60–0,95	средняя и плохая
	Алевролиты плотные карбонатные	25/75/0 преимущественно хорошая	0,75–0,95	хорошая и средняя
Аргиллиты	Аргиллиты, в т.ч. алевритистые и карбонатные	0–10/10–30/70–90 хорошая, средняя или плохая в зависимости от содержания алевритовой компоненты	0,25–0,70	алевритовый материал плохой окатанности

Минералого-литологический анализ подтверждает присутствие среди терригенных отложений различных литотипов, основными из которых являются песчаники, алевролиты и аргиллиты. Каждый из них в изученных разрезах образует пласты различной мощности.

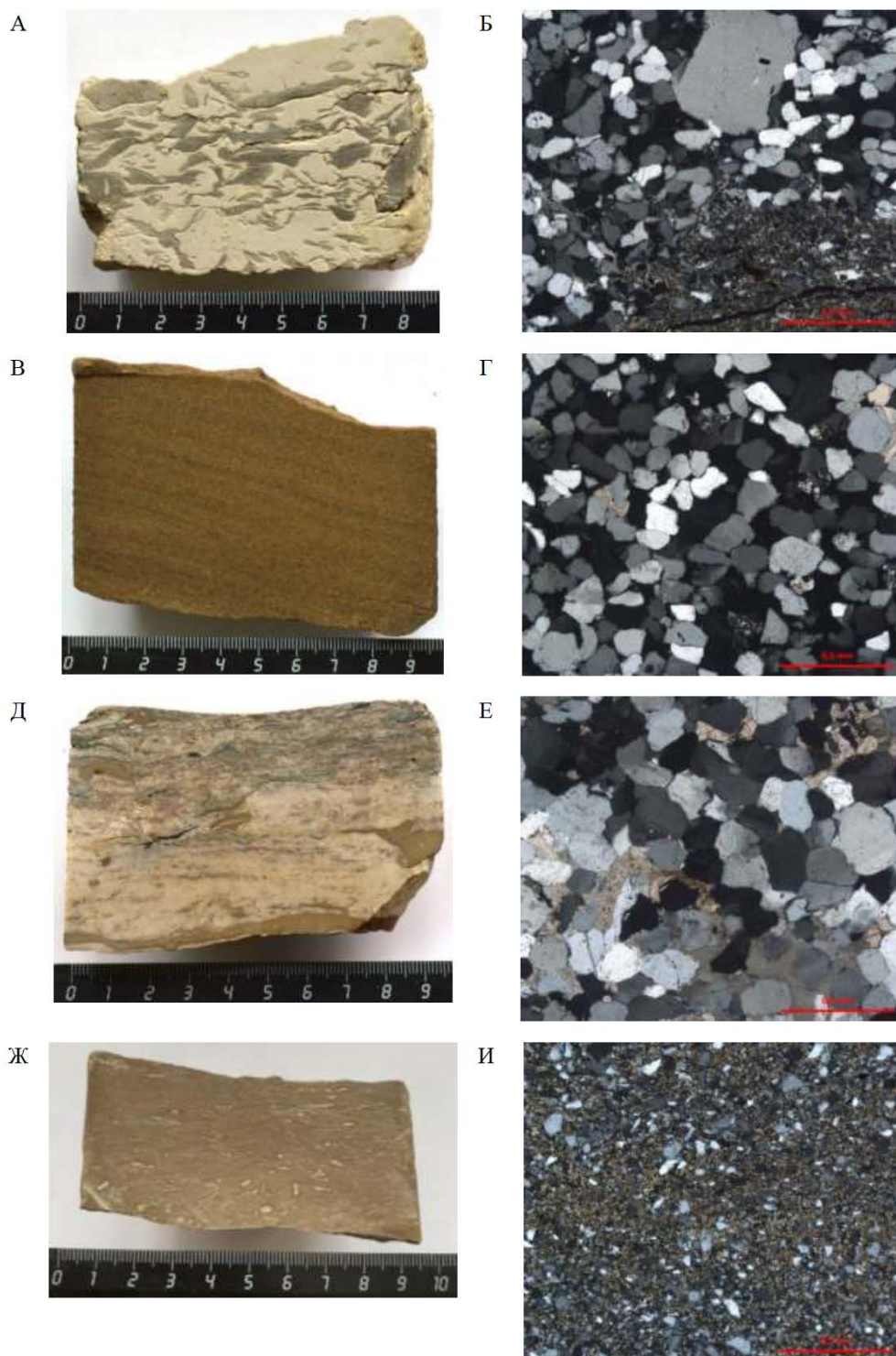


Рис. 7. Основные литотипы терригенных пород пашийского горизонта. Слева – образец, справа – шлиф; **А, Б** – песчаник пористый нефтенасыщенный. Черемшанская площадь. Скв. 11895, гл. 1767,6 м; **В, Г** – алевролит пористый слабо нефтенасыщенный. Куакбашская площадь. Скв. 38273, гл. 1792,9 м; **Д, Е** – алевролит плотный карбонатный. Ново-Елховское месторождение. Скв. 701, гл. 1819,1 м; **Ж, И** – аргиллит алевритистый. Восточно-Сулеевская площадь. Скв. 11615, гл. 1741,2 м

Результаты ихнологических исследований. Ихнофоссилии (следы жизнедеятельности фауны, в том числе и бесскелетной) сохранились в большом количестве и разнообразии, что позволило определить их состав, выявить распределение по типам разреза (классы 1–5, см. табл. 1), увязать типы разреза с активностью водной среды и фаціальными обстановками (рис. 8). Остатки скелетной фауны, напротив, сохранились в малом количестве, часто плохо определимы, что может указывать на неблагоприятные условия фоссилизации.

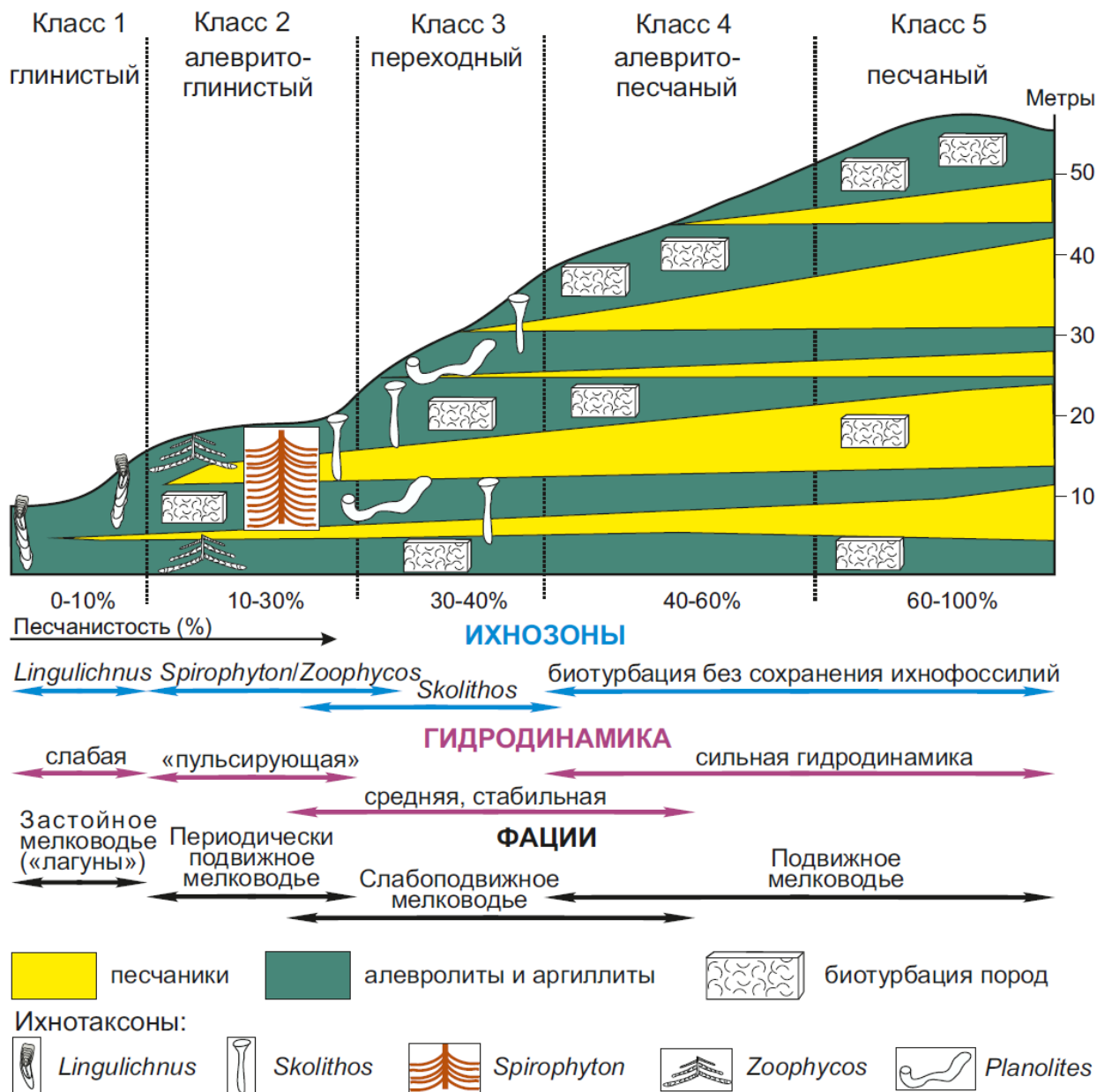


Рис. 8. Распределение ихнофоссилий и биотурбации по пяти литологическим типам (классам) разреза пашийского горизонта (см. табл. 1)

Аргиллиты количественно наиболее насыщены окаменелостями. Лингулы и двустворчатые моллюски с сохранившимся раковинным веществом зафиксированы на поверхностях напластования аргиллитов, редко встречаются конхостраки и тентакулиты. Ихнофоссилии в аргиллитах представлены ходами *Lingulichnus* и *Arenicolites*. Биотурбация слабая: поверхности напластования гладкие, тонкая слоистость сохранена. Возможно, результаты биотурбации скрыты в результате уплотнения глинистого осадка при литификации породы.

Алевролиты при максимальном разнообразии и количестве ихнофоссилий, сильной биотурбации, слабо насыщены скелетными остатками. Тонкодисперсный растительный детрит часто покрывает поверхности напластования алевролитов и подчеркивает их слоистость. Глинистые алевролиты включают остатки чешуйки панцирных рыб (очень редко), раковины конхострак и двустворок. Комплекс ихнофоссилий пашийских алевролитов наиболее богат и разнообразен. Ихнофоссилии представлены вертикальными ходами *Arenicolites*, *Skolithos*, *Spirrophyton*, *Thalassinoides* и *Zoophycos*, горизонтальными *Palaeophycos* и *Planolites* (рис. 9, 10). Степень биотурбации варьирует от 0–10% в глинистых алевролитах до полной 100 % переработки пористых алевролитов с вторичными, наложенными ходами.

Песчаники слабо охарактеризованы палеонтологическими остатками. Очень редко встречаются чешуйки рыб, чаще тонкий и фрагментарный растительный детрит. Детрит, как и нефтеносность, подчеркивает параллельную слоистость в песчаниках: косую или горизонтальную. Ихнофоссилии встречаются очень редко и представлены хорошо укрепленными вертикальными ходами *Skolithos*.

Карбонатные породы включают большое количество слоевищ известковых водорослей, а также замковых брахиопод, в том числе захороненных в прижизненном состоянии.

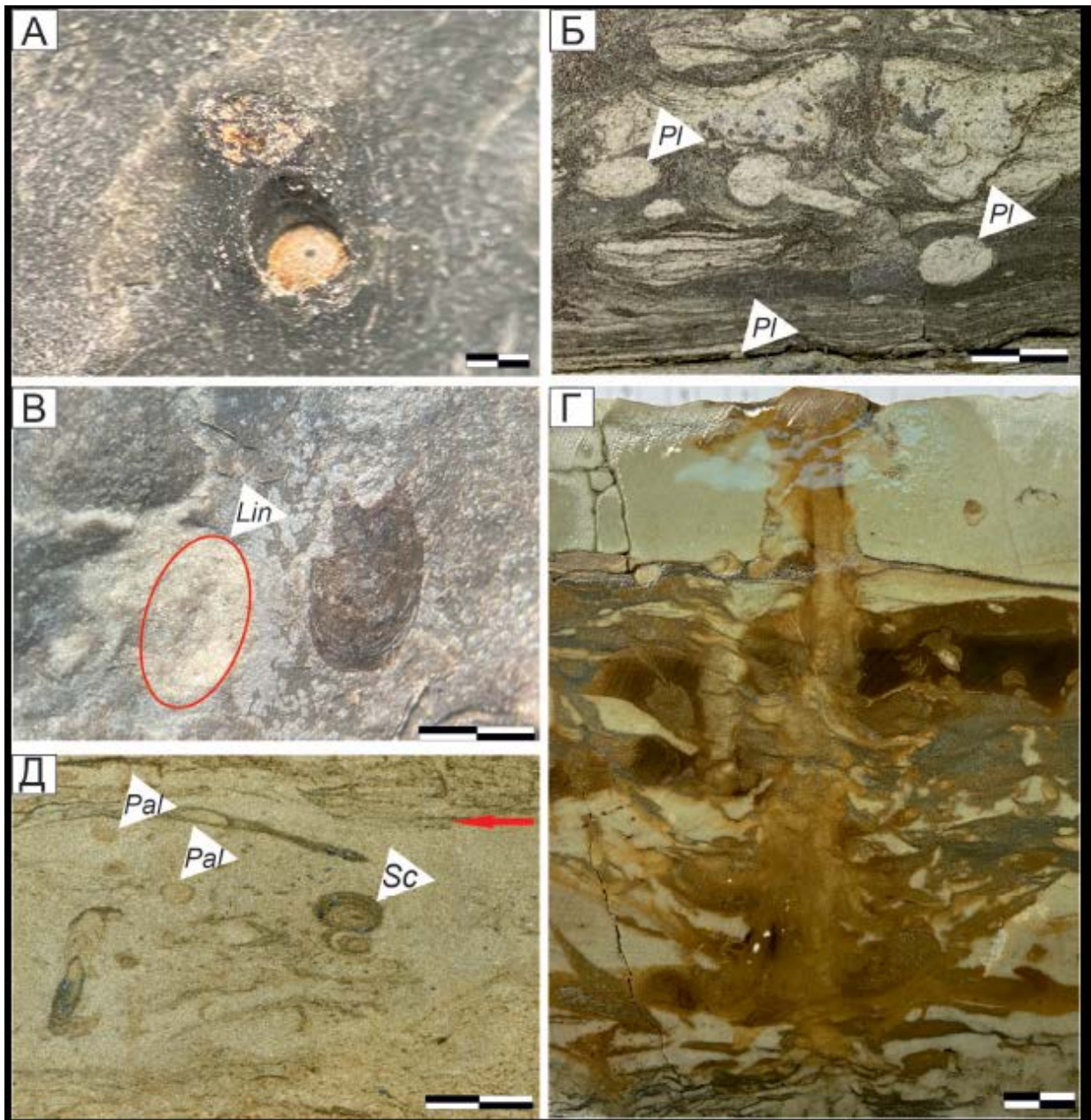


Рис. 9. Ихнофоссилии пашийского горизонта Южно-Татарского свода. А) Ходы *Arenicolites* на нижней поверхности напластования аргиллита. Сечение ходов пиритизировано. Скв. 20109, Глазовская, гл. 1707 м; масштабная линейка 1 мм. Б) Ходы *Planolites* (Pl) в поперечном сечении алевролита. В нижней части – тонкая волнистая слоистость со слабой (30 %) биотурбацией. Вверху степень биотурбации резко увеличивается (до 100 %). Скв. 918, Муслимовская, гл. 1683,4 м; масштабная линейка 1 см. В) Ходы *Lingulichnus* (красный овал), заполненные алевролитистым материалом, на верхней поверхности напластования аргиллита с лингулами. Скв. 20109, Глазовская, гл. 1704,5 м; масштабная линейка 1 мм. Г) Ходы *Spirorhynchus* в поперечном сечении биотурбированного алевролита. Ход подчеркивается вторичной сидеритизацией. Скв. 20109, Глазовская, гл. 1717,4 м; масштабная линейка 1 см. Д) Ходы *Scolicia* (Sc) и *Palaeorhycos* (Pal) в полностью биотурбированном и гомогенизированном алевролите (100 % переработки). Красная стрелка указывает на поверхность внутриформационного перерыва – диастему. Выше – степень биотурбации снижается. Скв. 22084, Сармановская, гл. 1669,1 м; масштабная линейка 1 см.

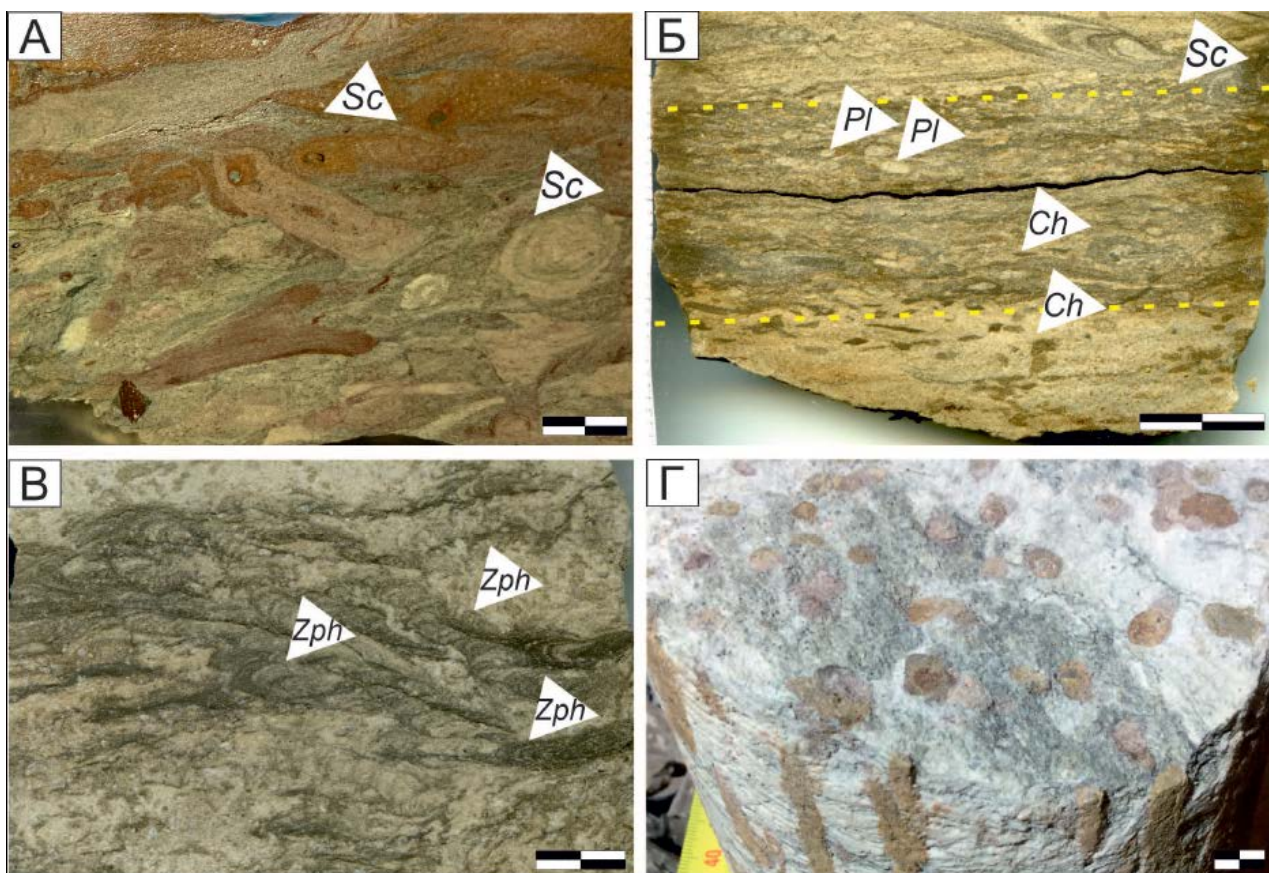


Рис. 10. Основные ихнотаксоны терригенной толщи девона Южно-Татарского свода. А) Ходы *Scolicia* (Sc) в поперечном сечении биотурбированного алевrolита (100% переработки). Биотурбация подчеркнута вторичной сидеритизацией. Ардатовский горизонт, скв. 2354, Сабанчинская, гл. 1814,8 м. Б) Этажная биотурбация в поперечном сечении алевrolита (желтые пунктирные линии). Нижний этаж полностью гомогенизирован (100 % переработки) с вторичной биотурбацией и ходами *Chondrites* (Ch). Средний этаж сильно биотурбирован (100% переработки) с сечениями ходов, похожих на *Planolites* (Pl) и *Chondrites* (Ch). Верхний этаж со средней биотурбацией (50 % переработки) и продольным сечениями ходов *Scolicia* (Sc) с заполнением в форме вытянутых контрастных менисков. Ардатовский горизонт, скв. 11615, Восточно-Сулеевская, гл. 1745,1 м. В) Ламинь ходов *Zoophycos* (Zph) в поперечном сечении биотурбированного алевrolита (100 % переработки). Воробьевский горизонт, скв. 19430, Павловская, гл. 1792,5 м. Г) Ходы *Skolithos* в алевrolите с волнистой слоистостью. Ходы подчеркнуты вторичной сидеритизацией. Тиманский горизонт, скв. 900, Бастрыкская, гл. 1759,5 м. Масштабная линейка на всех фотографиях – 1 см.

6. Геологическая модель: карты песчаности, расчлененности и мощностей

Карта песчаности нижней части нашейского горизонта (пласты Д₁-г, Д₁-д) отражает пространственное взаимоотношение песчаников и глинистых пород. В целом характерно мозаичное распределение без конкретной закономерности (рис. 11).

Песчаные тела *разрезов песчаного типа* (класс 5; коэфф. песч. 60–100 %; см. табл. 1, рис. 8) условно формируют две неоднородных группы. Одна группа песчаных тел располагается на северо-западе и западе ЮТС, другая – на юго-востоке и юге. Отдельные тела в пределах групп характеризуются изометричной формой от 2,5 до 10,0 км по длинной оси (например, Ново-Елховское месторождение, Карамалинская, Восточно-Лениногорская и Южная площади Ромашкинского месторождения). Большинство тел образует линейно-вытянутые скопления общей протяженностью от 10,4 до 25,2 км. Примечательно, что ориентировка тел различная: на западе они прерывисто протягивают в субмеридиональном направлении, на юго-востоке они постепенно выклиниваются в северо-западном направлении. Песчаные тела располагаются в среднем на расстоянии от 1,5 до 3 км друг от друга. Местами они разделены небольшими участками (1,0–1,5х0,8–2,5 км) песчано-глинистых отложений, типичных для *разрезов алеврито-глинистого типа* (класс 2; коэфф. песч. 10–30 %) (например, Холмовская и Зеленогорская площади). На периферии ЮТС песчаные тела *разрезов песчаного типа* приобретают линейно-вытянутую форму, протягиваясь на 9,0–15,5 км (Ерсубайкинское месторождение на западном склоне и юго-восточный склон ЮТС).

Разрезы переходного типа (класс 3; коэфф. песч. 30–40 %) и *разрезы алеврито-песчаного типа* (класс 4; коэфф. песч. 40–60 %) имеют пятнистый, мозаичный характер распределения песчаных тел. Тела различной формы: округлые (диаметр 0,7–1,5 км) (например, Ташлиярская площадь), вытянутые в одном направлении (3,0–12,0 км) (например, Чишминская площадь), сложные (8,0–16,5х5,5–7,5 км) (например, Миннибаевская площадь). Ориентировка тел хаотичная. В центральной части ЮТС песчаные тела располагаются на расстоянии 0,6–3,0 км друг от друга, на периферии удаленность возрастает до 3,0–9,0 км. Песчаные тела этих типов разделяются участками, представленными в сводовой части ЮТС *разрезами глинистого типа* (класс 1; коэфф. песч. 0–10 %), а на юге ЮТС – *разрезами алеврито-глинистого типа* (класс 2; коэфф. песч. 10–30 %). На южной, северной и северо-восточной частях карты преобладают глинистые отложения *разрезов глинистого* (класс 1) и *алеврито-глинистого типа* (класс 2). Глинистые тела имеют разнообразную форму с доминированием сложной. Расстояние между ними меняется от 1,5 до 7,5 км.

Тела ориентированы в диагональном направлении (северо-западное–юго-восточное простирание длинных осей).

Карта верхней части пашийского горизонта (пласты Д₁-а, Д₁-б, Д₁-в) сохраняет мозаичный рисунок распределения песчаников и глинистых пород; одновременно меняется характер распределения геологических тел (рис. 12). Песчаные тела *разрезов песчаного типа* (класс 5) в незначительном количестве остаются на северо-западе и западе. Они представлены двумя линейно-вытянутыми скоплениями размером 1,5–3,2х37,5 км (на северо-западе) и 7,8х18,7 км (в западной части). В пределах этих скоплений тела располагаются в среднем на расстоянии от 1,5 до 4,5 км друг от друга. Местами песчаные тела разделены отложениями *разрезов алеврито-глинистого типа* (класс 2) размером 1,0–1,5х0,8–2,5 км и *разрезов глинистого типа* (класс 1) – размером в среднем 0,9х2,2 км.

Характер распределения песчаных тел *разрезов переходного типа* (класс 3) и *разрезов алеврито-песчаного типа* (класс 4) крайне неравномерный. Повышенная концентрация песчаных тел свойственна западной, северной и восточной частям карты. Разнообразие форм по сравнению с началом пашийского времени сохраняется. Представлены округлые тела диаметром 0,6–1,5 км, вытянутые в одном направлении и протяженностью 7,0–9,3 км (напр., Абдрахмановская площадь), сложные тела – размером 4,6–14,0х3,5–7,5 км (напр., Чишминская площадь). Ориентировка тел либо субмеридиональная (в центральной и западной частях ЮТС), либо дугообразная (в восточной и северной частях). Песчаные тела располагаются на расстоянии 2,1–7,8 км друг от друга. Глинистые отложения, разделяющие песчаные тела, в центре ЮТС преимущественно представлены *разрезами алеврито-глинистого типа* (класс 2); по периферии ЮТС – *разрезами глинистого типа* (класс 1).

Доля глинистых отложений в верхней части пашийского горизонта возрастает. Они образуют *разрезы глинистого* (класс 1) и *алевро-глинистого* (класс 2) *типа*. Глинистые тела разнообразной формы с доминированием сложной. Расстояние между ними варьирует от 1,5 до 6,2 км. Тела располагаются по своеобразным концентрическим линиям с выраженным понижением значений коэффициента песчаности к периферии.

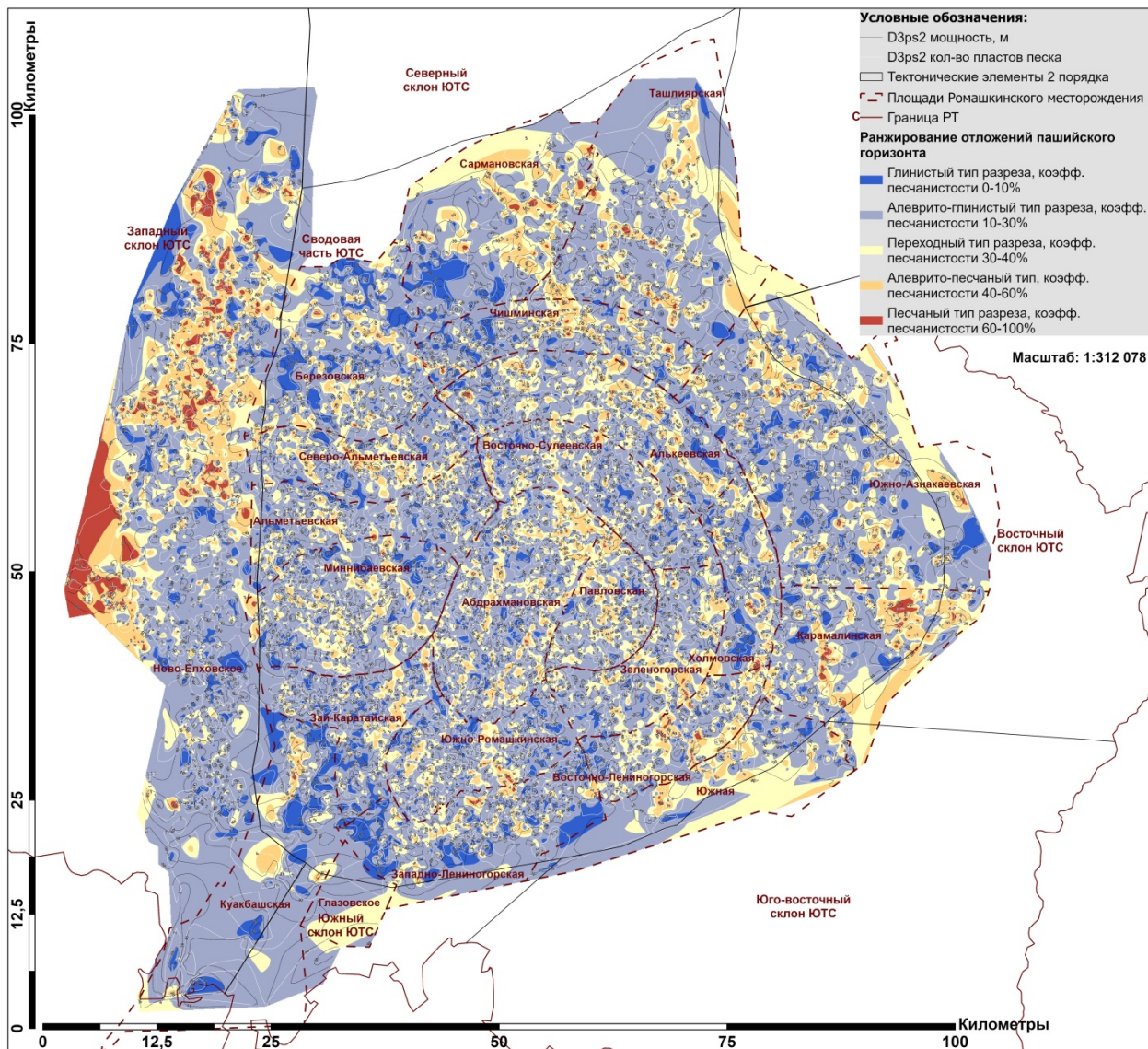


Рис. 12. Карта коэффициента песчаности, коэффициента расчлененности и мощностей для верхней части пашийского горизонта (D3ps2; пласты Д1-а, Д1-б, Д1-в)

7. Создание концептуальной модели осадконакопления

Палеогеографическое положение ЮТС в среднем девоне. Среднедевонская зона сочленения Уральского палеоокеана и Восточно-Европейской платформы, согласно тектонической классификации (Kingston et al., 1983; Mitchell and Reading, 1986), соответствует крупному сложно построенному (субдукционному) океаническому бассейну, включающему широкую континентальную окраину (Einsele, 2000). В целом, здесь прослеживается нормальный фациальный ряд, протягивающийся от области сноса (суши) и континентально-дельтовых обстановок через мелководный морской бассейн различной солёности к континентальному склону и далее – к океаническим обстановкам: преддуговому прогибу, островным дугам и задуговому бассейну Уральского палеоокеана (Пучков, 2010) (рис. 13).

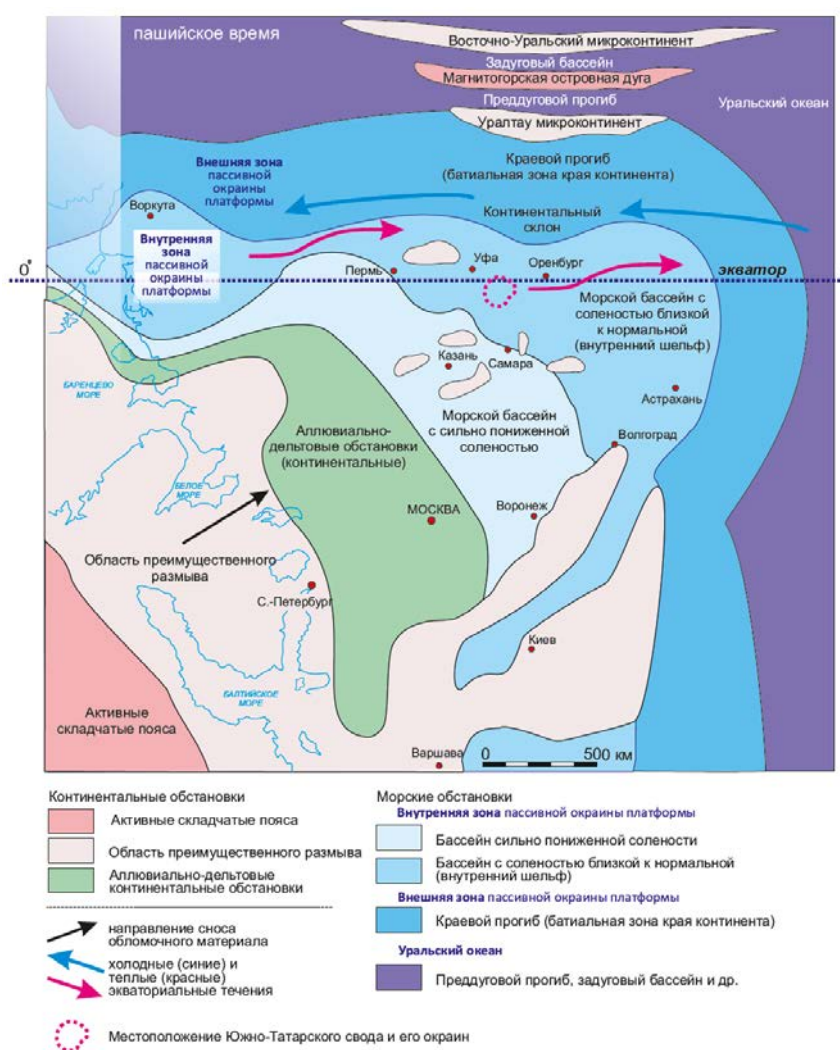


Рис. 13. Палеогеографическая схема пермийского времени Восточно-Европейской платформы и Уральского палеоокеана; составлена по данным: Афанасьева, Амон, 2012; Тихомиров, 1995; Тихий, 1956, 1975; Родионова и др., 1995; Nikishin et al., 1996; Мизенс, Свяжжина, 2007; Пучков, 2010; Шеин и др., 2020

Пассивная континентальная окраина ВЕП представляла собой широкий (500–1000 км в поперечнике) континентальный шельф, полого погружающийся к перегибу континентального склона и обменивающийся водой с открытым океанским бассейном.

Территория ЮТС, которая ниже обозначена термином *бассейн ЮТС*, представляла в среднем девоне небольшую, относительно приподнятую и мелководную часть континентального шельфа, обозначенную на рис. 13 как морской бассейн с соленостью, близкой к нормальной. Бассейн ЮТС располагался на значительном удалении (около 500–1000 км) как от предполагаемой основной береговой линии суши, так и от границы (бровки) континентального склона (активной окраины). Удаленность ЮТС от основной береговой линии суши должна была повышать значимость локальных областей сноса – Северо-Татарского, Башкирского, Жигулевско-Оренбургского сводов (Тихий, 1975; Peterson, Clarke, 1983), и возможность неоднократной переработки ранее накопившихся внутрибассейновых осадков. Удаленность ЮТС от границы континентального склона и относительно большое количество локальных областей сноса («островов») могли являться факторами, снижающими интенсивность волновой деятельности (Долотов, 1989; Einsele, 2000), а также опосредованно влияющими на соленость бассейна: при обильном поступлении пресных вод с суши бассейн мог становиться, хотя бы на недолгое время, солоноватоводным. Большая ширина (1000–2000 км) континентального шельфа предполагает наличие интенсивных приливно-отливных течений (Reynaud and Dalrymple, 2012), которые дополнительно усиливались в пределах бассейна ЮТС его расположением в экваториальной зоне. Приливно-отливные течения приводят как правило к активным морским течениям, направленным вдоль береговой линии.

Основные особенности терригенной толщи девона – геологические, литологические и ихнологические признаки – в т.ч. рассмотренные отдельно для пашийского горизонта, приведены в табл. 3. Пространственное распределение основных типов разрезов (*классов*, см. табл. 1) пашийского горизонта по площади ЮТС показано выше на рис. 11, 12.

Используя эти данные, можно попытаться сравнить среднедевонский бассейн ЮТС с современными и древними бассейнами, имеющими сходные черты, и после этого попробовать реконструировать условия осадконакопления.

Отметим, что современная Земля содержит далеко не все обстановки, существовавшие в геологическом прошлом. В частности, это связано с тем, что континентальные шельфы современной Земли еще не пришли в равновесие с водным режимом и источниками сноса (Emeru, 1952; Мурдмаа, 1979; Johnson, Baldwin, 1986; Galloway, Hobday, 1996). В большинстве случаев современные шельфы отражают низкое стояние моря, связанное с четвертичными оледенениями. То есть соответствуют условиям, во время которых уровень океана был ниже

современного более чем на 100 м (Einsele, 2000). Это ограничивает возможности актуалистического метода.

Таблица 3

Основные признаки терригенных отложений девона Южно-Татарского свода

		Воробьевско-муллинский интервал	Пашийский горизонт
Мощность всей толщи, м		30–50	40–60
Песчано-алевролитовые тела	Мощность, м	От 0,5 до 10 (средняя: 4–8)	
	Состав	кварцевый	
	Сортировка (зрелость)	плохая (низкая)/хорошая (высокая)	хорошая (высокая)
	Размер зерен	разный	мелкий
	Слюда, %	до 3-4	< 1
	Детрит растений	редко	редко, дисперсный
Размеры песчаных тел, км			ширина 0,7–5; длина 2–20; системы тел длиной до 40
Размеры глинистых тел			ширина 0,7–5; длина 2–20
Алевролиты	Мощность, м	5–10	1–5
	Состав	кварцевый	
	Сортировка (зрелость)	Средняя, реже плохая	Хорошая и средняя
	Размер зерен	Разная	крупный
	Слюда, %	До 4–5	До 2
	Детрит растений	редко	редко
Биотурбация	аргиллиты	Слабая. Фиксируется на поверхностях напластования с остатками фауны	
	алевролиты	Сильная. Интервал интенсивно переработан. Слоистость сохранилась в ритмах	От средней до сильной, в среднем 40–60 %, до 100 % в верхней части интервала
	песчаники	Преимущественно отсутствует. Редкие прослои с 100 % биотурбацией	
Ихно-таксоны	аргиллиты	<i>Lingulichnus</i>	<i>Lingulichnus</i>
	алевролиты	<i>Chondrites, Planolites, Skolithos, Spirophyton, Zoophycos</i>	<i>Arenicolites, Palaeophycos, Planolites, Scolicia, Skolithos, Spirophyton</i>
	песчаники	нет	? <i>Spongeliomorpha</i>
Ихнофации	аргиллиты	Cruziana	
	алевролиты	Zoophycos	От Skolithos до Cruziana
	песчаники	Skolithos (?)	Skolithos
Карбонатные прослои		Есть	
Доманикоидные фации		Есть, тонкие	–
Фауна (body fossils)		Лингулы в аргиллитах, конхостраки, двустворки, тентакулиты, офиуры	Лингулы в аргиллитах, брахиоподы, рыбы, конхостраки
Флора листовая		в отдельных прослоях	редко
Дополнительные признаки		Фосфориты В аргиллитах и алевролитах – сидеритизация и пиритизация	Пиритизация, в т.ч. в песчаниках Сидеритизация

Поиск аналогов ТТД ЮТС в современных обстановках логично начать с анализа различных зон прибрежной области современных морей и океанов: размеров, формы и состава песчаных тел (рис. 14), особенностей рельефа, гидродинамики и осадков (табл. 4). Сравнение этих данных с признаками ТТД ЮТС (рис. 11, 12, табл. 3), позволяют сделать предположение о наибольшем сходстве среднедевонского бассейна ЮТС со средним шельфом или так

называемой зоной открытого (offshore¹) моря (ориентировочные глубины 50–100 м). В этой зоне доминируют течения разной природы (волновые, приливные, постоянные) и образуются связанные с этими течениями формы подводного рельефа. Признаки песчаных тел пашийского горизонта ЮТС имеют сходство с признаками подводных валов (баров) (longshore bars), формирующимися как в зоне открытого моря, так и в смежной прибрежной зоне внутреннего шельфа (табл. 4).

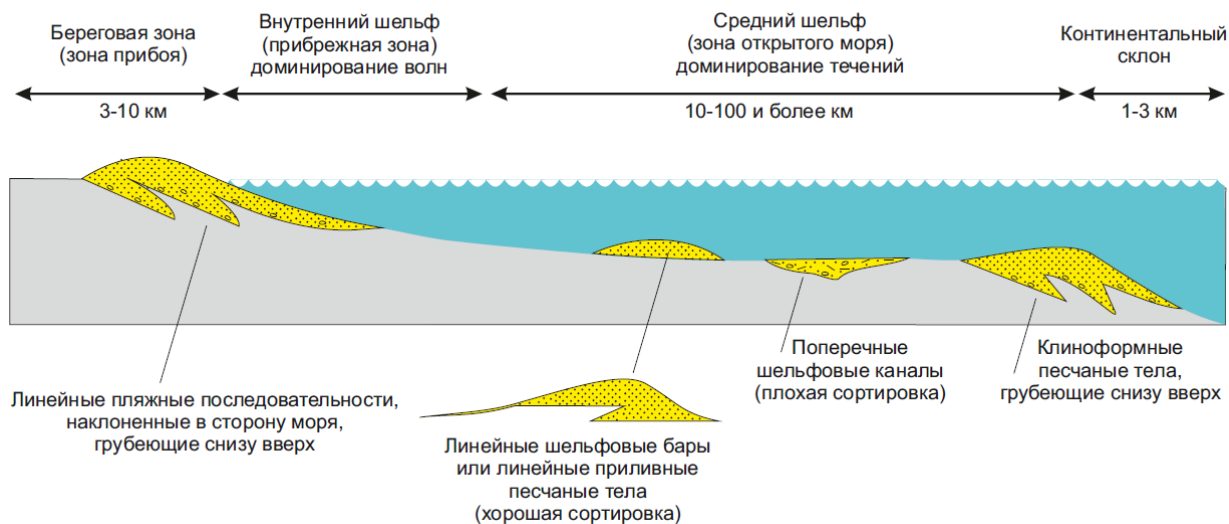


Рис. 14. Схема поперечного разреза от берега до континентального склона, иллюстрирующая профиль, размер и форму песчаных тел (по Pettijohn et al., 1987; Долотов, 1989 с дополнением)

«Мозаичное» распределение в пространстве глинистых и песчаных осадков является, вероятно, наиболее характерным и необычным признаком пашийского горизонта ЮТС (рис. 11 и 12). Интересно, что мозаичное или пестрое латеральное чередование терригенных – илистых, алевритовых и песчаных осадков обычно для современных шельфов.

Шельф современного океана – пример мозаичного распределения осадков. Примерно до середины 1930-х гг. считалось, что осадки континентального шельфа закономерно и постепенно изменяются от крупнозернистых у берега до мелкозернистых на глубине. Океанологические исследования середины XX века показали, что распределение разных по зернистости типов осадков на поверхности шельфа представляет собой сложную мозаику. Мозаика состоит

¹ Эта зона (offshore) часто понимается либо как нижняя, наиболее удаленная от береговой линии часть прибрежной области, находящаяся в сфере деятельности трансформирующихся волн; либо как часть шельфа, находящаяся уже за пределами прибрежной области, ниже нормальной волновой базы, т.е. ниже глубины воздействия на дно максимальных из регулярно повторяющихся волнений (Долотов, 1989).

из участков, сложенных различными по составу (в т.ч. зернистости) и возрасту, современными и реликтовыми осадками, в разной степени переработанными современными процессами переноса, отмучивания и аккумуляции (Emery, 1952; Мурдмаа, 1979).

Таблица 4

Особенности рельефа, гидродинамики и осадков различных зон прибрежной области шельфа морей и океанов

<p>Береговая зона (coastal) – зона прибоя <i>Син.:</i> зона пляжа; зона заплеска волн (swash zone); зона прибойного потока; тыльная часть берега (backshore)</p>	<p>Прибрежная зона (nearshore) – зона волн (внутренний шельф, до глубины 50 м) <i>Син.:</i> зона подводных валов и ложбин; зона разрушения волн (breaker zone); прибрежные мелководья</p>	<p>Зона открытого моря (offshore) – зона течений (средний шельф, 50–100 м) <i>Син.:</i> внешняя зона подводного берегового склона; зона волн мелководья (zone of shoaling waves)</p>
1	2	3
<p>Формы рельефа: песчаный пляж с надводной (субаэральной) и подводной (субаквальной) частями</p>	<p>Формы рельефа: Один-два или целая система подводных валов и ложбин (bars and troughs, ridges and runnels); каналы разрывных течений, направленные в сторону открытого моря и являющиеся путями оттока нагонных вод от берега</p>	<p>Формы рельефа: плащеобразные тела; изолированные удлиненные песчаные тела, перпендикулярные или субпараллельные береговой линии; вблизи каналов разрывных течений – песчаные дюны;</p>
<p>Водная толща: сложная структура – часть потоков направлена в сторону суши, между ними часть – в сторону моря; большая скорость и малая глубина потока; имеются зоны спокойной воды</p>	<p>Водная толща: разрушение волн – высокая турбулентность, возникновению сильных разнонаправленных волновых течений: у валов – в сторону берега и в сторону моря; в ложбинах – вдольбереговых течений</p>	<p>Водная толща: доминирование течений – волновых (в верхней части зоны) или постоянных (в нижней части зоны)</p>
<p>Скорость течений: очень высокая</p>	<p>Скорость течений: валы – до 1–1,5 м/с; ложбины – до 0,5–0,75 м/с</p>	<p>Скорость течений: 0,4 м/с (достаточная для переноса песчаного материала)</p>
<p>Форма переноса осадков: доминирование волочения и сальтации; во взвеси</p>	<p>Форма переноса осадков: волочение, сальтация (скачками), во взвеси</p>	<p>Форма переноса осадков: во взвеси</p>
<p>Осадочный материал: в нижней части пляжа – грубый материал (крупный песок, гравий и галька); в средней части – средне- и мелкозернистый хорошо отсортированный песок, в верхней части – мелкий песчаный материал со следами эоловой переработки и максимальным содержанием фракции тяжелых минералов</p>	<p>Осадочный материал: валы – мелкий, хорошо сортированный материал; ложбины – плохая сортировка осадков; смесь тонкого и грубозернистого, гравийного и галечного материала; разрывные каналы – крупный и грубозернистый материал</p>	<p>Осадочный материал: песчаный, алевритовый, глинистый; однородный и мелкий; сортировка хорошая</p> <p>С глубиной уменьшается содержание крупного песчаного материала и возрастает содержание илистого материала</p>

1	2	3
Биотурбация: нет	Биотурбация: нет или не сохраняется	Биотурбация интенсивная; возрастает с глубиной; уменьшается при усилении гидродинамики
Штормовые волнения: в верхней части – полосы гальки и остатки штормовых валов;	Штормовые волнения: не сохраняется	Штормовые волнения: эпизодические; линзы грубозернистого материала среди тонкозернистого
Слоистость: в нижней части – круто- и пологонаклонная (в сторону моря); в средней части – тонкая параллельная; пологонаклонная (в сторону суши); в верхней части – чередование тонких, извилистых слоев, отличающихся содержанием тяжелой фракции	Слоистость: валы – чередование пакетов с горизонтальной и разнонаправленной наклонной слоистостью; ложбины – мелкая слоистость ряби (small-scale ripple lamination); беспорядочная и градационная (при резком и медленном ослаблении динамики среды); каналы – типичная косая слоистость	Слоистость: горизонтальная или пологонаклонная (parallel laminated sheet); градационная слоистость штормовых событий
Знаки ряби: нет	Знаки ряби: валы – симметричные, или слабо ассиметричные	Знаки ряби: ассиметричные
Мобильность форм рельефа: высокая	Мобильность форм рельефа: высокая; латеральное перемещение до 50 м/год, скорость накопления осадка – до 1 м/год	
Смежные обстановки: эоловые дюны, болота, солончаки (в зависимости от климата), речные и приливные каналы, дамбы и озера	Смежные обстановки: пляжи, приливные отмели и дельты, намывные валы, эстуарии, бухты и заливы, морские острова во время разрушения дельты	Смежные обстановки: каналы разрывных течений, подводные валы и ложбины прибрежной (nearshore) зоны
Составлено по данным: Мурдмаа, 1979; Pettijohn et al., 1987; Долотов, 1989;		

В настоящее время мозаичное распределение осадков (а также высокая мобильность осадочных тел и быстрая фациальная перестройка дна бассейна) подтверждено детальными картами океанического дна: тектонически стабильного среднего шельфа южного моря Кореи (Park et al., 2003), гидродинамически активного внутреннего и среднего шельфа Ирландского моря (Van Landeghem et al., 2009; Ward et al., 2015, 2020) и Новой Зеландии (Bostock et al., 2019), широкого шельфа северо-восточной Австралии (Lewis et al., 2014); узкого шельфа Иберийского моря (Jouanneau et al., 2002), внутреннего илистого шельфа Атлантического океана у северо-восточного побережья между устьями Амазонки и Ориноко (Anthony et al., 2010, 2014) и у восточного побережья Бразилии (Vieira et al., 2019).

Мозаичное распределение осадков на шельфе зависит главным образом от интенсивности поступления терригенного материала и динамики вод.

Вынос терригенного материала с континентов в океан имеет отчетливый «очаговый» характер (Лисицын, 1974, 1978 и др.): подавляющая часть материала выносится небольшим количеством гигантских рек (Амазонка, Ориноко и др.), тогда как все остальные денудационные процессы (малые реки, абразия берегов, эоловый вынос и т.д.) имеют подчиненное значение. Очаговый характер выноса терригенного материала определяет разнообразие поперечных (по отношению к береговой линии) фациальных рядов, протягивающихся вдоль побережий континентов. То есть, поперечные ряды фаций у устьев крупных рек коренным образом отличаются от рядов фаций тех областей, где вынос терригенного материала ограничен или отсутствует (Мурдмаа, 1979). Обращает на себя внимание закономерность, что большинство крупных рек дренирует гумидные зоны континентов, отражая климатическую зональность планеты.

Таким образом, шельф современных морей (особенно широкий) характеризуется одновременным «пятнистым» сосуществованием в одном и том же диапазоне глубин глинистых, алевроитовых, песчаных (и иногда карбонатных) фаций (Emery, 1952; Vieira et al., 2019 и др.). *Это означает, что переход от терригенных отложений к глинистым, и далее к карбонатным, не всегда свидетельствует об изменении глубины шельфа. Зона мозаичных «лоскутных» смешанных фаций может занимать обширный интервал глубин.*

Локализация накопления осадков пашийского горизонта ЮТС в пределах среднего шельфа подтверждается следующими соображениями. На современном шельфе аккумулируется и захороняется лишь незначительная часть поступающего в него с суши терригенного материала. Большая часть – проносится через шельф (благодаря высокой подвижности вод) и либо выносится на континентальный склон, либо поступает в общий баланс океана. Таким образом, современные шельфы это главным образом зона переноса терригенного материала, на которой недолговечные (эфемерные, транзитные) обстановки чередуются либо с участками устойчивого осадконакопления, либо с участками размыва осадков (Мурдмаа, 1979).

Поступление терригенного материала с суши, размыв, перенос и повторная аккумуляция уже существующих осадков позволяет выделять *автохтонные* и *аллохтонные* осадки. *Автохтонные* осадки образуются в результате эрозии осадков, слагающих дно шельфа, эрозии береговой поверхности во время трансгрессии, а также биогенного или химического осаждения *in situ*. Как правило, автохтонные песчаные тела вытянуты параллельно береговой линии. *Аллохтонные* осадки поступают на шельф в результате штормовых потоков (песок), приливных потоков (ил и песок), выноса фронта дельты (очень мелкий песок и ил) и шлейфов берегового сноса (мелкий песок и ил). Аллохтонные песчаные тела демонстрируют ярко выраженные фациальные закономерности вдоль линии движения, формирующего их потока (Galloway, Hobday, 1996).

Устойчивое осадконакопление (часто с большими скоростями) характерно главным образом для *средней части шельфа* (50–100 м), в осадках которого резко возрастает содержание тонких фракций – ила и алеврита (Anthony et al., 2010, 2014 и др.), уменьшается количество слоистых текстур и увеличивается биотурбация (Galloway, Hobday, 1996) Увеличение биотурбации связано с существенными изменениями в составе донной фауны – фильтраторы, доминирующие в прибрежной зоне, сменяются илоедами: извлекать пищу из грунта, обогащенного органикой, становится эволюционно выгоднее (Нейман и др., 1977; Seilacher, 1967, 2007).

Пески и песчаники среднего шельфа (зоны открытого моря) являются, как правило, в высокой или средней степени зрелыми, хорошо отсортированными; могут содержать окаменелости и глауконит (Pettijohn et al., 1987).

Внешний шельф (100–200 м), в отличие от среднего шельфа, характеризуется пониженными и даже часто нулевыми скоростями осадконакопления из-за сильных придонных течений и активного воздействия длинных волн (приливных, гравитационных, цунами).

Внутренний шельф (прибрежное мелководье) – зона активного волнового воздействия – основная зона механической дифференциации (отмучивания и разделения) грубообломочных, песчаных, алевритовых и илистых частиц. Илистый, алевритовый и песчаный материал частично выносится из внутреннего шельфа на средний шельф и в более глубокие зоны океана, частично накапливается в виде подвижных (в направлении вдоль берега), хорошо сортированных песчаных тел, алевритовых и илистых банок (Мурдмаа, 1979; Anthony et al., 2010, 2014; Vieira et al., 2019 и др.). Подвижность осадков внутреннего шельфа затрудняет процесс их захоронения и фиксации в геологической летописи.

Устойчивое осадконакопление пашийского горизонта, сформировавшее хорошо отсортированные и зрелые песчаные тела, отвечает условиям современного среднего шельфа и смежных с ним обстановок.

Геометрия, расположение и размеры песчаных тел пашийского горизонта ЮТС (рис. 11, 12, табл. 3) сопоставимы с песчаными телами современных шельфов.

На современном среднем шельфе песчаные тела образуют как продольные (параллельные береговой линии), так и поперечные (перпендикулярные береговой линии) формы донного рельефа (песчаные бары, гряды, ленты, каналы и борозды). Продольные песчаные тела обычно имеют мощность в несколько метров и протяженность от метров до километров. Поперечные песчаные тела как правило крупнее.

Например, на стабильном среднем шельфе южного моря Кореи поперечные песчаные тела обычно имеют мощность до 20 м, ширину до 10 км и протяженность от сотен метров до

60 км (Park et al., 2003). Седиментационные текстуры включают косую слоистость, знаки ряби и биотурбацию.

На активном приливно-отливном внутреннем и среднем шельфе (tidal shelf) современных морей, омывающих Британские острова, где сильные приливные течения существуют на большом расстоянии от берега и переносят, перемалывают и откладывают песчаный материал, распространены группы хорошо выраженных удлиненных песчаных тел мощностью до 15 м, шириной до 2 км и длиной от 10 до 15 км. Длинные оси этих тел располагаются субпараллельно береговой линии (Van Landeghem et al., 2009; Ward et al., 2015, 2020); другие примеры см. (Reynaud and Dalrymple, 2012).

Как правило, у песчаных тел шельфа подошва и кровля резкие, сортировка хорошая, изменение зернистости по вертикали выражено незначительно; поэтому кривая гамма-каротажа имеет тенденцию к блоковой конфигурации (Pettijohn et al., 1987). Подобная конфигурация кривой гамма-каротажа часто (но не всегда) встречается у песчаников пашийского горизонта.

Трансгрессивная последовательность осадков пашийского горизонта и всей ТТД ЮТС в целом хорошо согласуется с основными закономерностями трансгрессивных шельфовых образований.

Поверхность шельфа стремится достигнуть профиля равновесия – уменьшить энергию всех происходящих на нем процессов. Соответственно, глубокие и крутые уступы дна бассейна отражают высокую энергию волн по отношению к количеству поступающего осадочного материала. Мелководное и пологое дно свидетельствует о значительном поступлении осадочного материала и недостаточности энергии волн воспрепятствовать его отложению. Относительное повышение уровня (трансгрессия) моря предсказуемо вызывает эрозию береговой поверхности и осаждение материала на прилегающих участках шельфа. И наоборот, относительное падение уровня моря вызывает эрозию дна шельфа и смыв шельфовых отложений.

Трансгрессивные шельфовые последовательности возникают, когда аккомодация преобладает над сносом материала. Шельфовые осадки последовательно накладываются на прибрежные образования. Там, где энергия вод достаточна, формируются песчаные бары, располагаясь вдоль внутреннего шельфа; по мере трансгрессии и углубления воды эти тела захороняются.

Основание трансгрессивной серии сложено базальным гравием и крупнозернистыми косослоистыми песками (аналог в ТТД – воробьевский горизонт). Вышележащие образования представлены мелкозернистыми отложениями, сформированными слабыми течениями на более значительных глубинах (аналог в ТТД – ардатовско-муллинский интервал и пашийский горизонт). Например, крупные косослоистые напластования, соответствующие фазе

максимальной аккумуляции песчаных тел, могут быть перекрыты постепенно утончающимися пачками песков с широким диапазоном направлений палеотечений. Верхняя поверхность сглаживается течениями, перерабатывается илоедами и перекрывается биотурбированными шельфовыми алевритовыми и иловыми осадками (Galloway, Hobday, 1996).

Концентрическое (дуговое) расположение некоторых песчаных тел пашийского горизонта можно объяснить направлениями течений. Шельфовые потоки, как правило, параллельны батиметрическому контуру (Csanady 1982). Поперечное шельфовое течение возникает значительно реже из-за разделения и отклонения потоков прибрежными мысами и подводными батиметрическими особенностями (Galloway, Hobday, 1996). В целом, дугообразные линии песчаных тел пашийского горизонта повторяют контуры береговой линии и границы континентального склона, т.е. более или менее параллельны батиметрическому контуру (рис. 13).

Близость глинистых и песчаных тел пашийского горизонта ЮТС имеет много аналогий на современном шельфе. Известно, что ил может накапливаться в условиях относительно сильных волн или течений при условии, что концентрация взвешенных частиц составляет не менее 100 мг/л. Биологическое осаждение ила, например илоедами, может вызвать оседание илистых частиц при меньших концентрациях. На большинстве шельфов концентрация ила составляет не более 1 мг/л, поэтому ил накапливается в основном в более глубоких или защищенных зонах, где течения не препятствуют его осаждению.

Высокая скорость поступления ила, связанная с дельтовыми системами, и вдольбереговые течения создают грязевые потоки, формирующие иловые покровы (пояса) по всему шельфу: в пределах среднего и даже внешнего шельфа.

Слоистые глинистые отложения, содержащие редкие норы, широко распространенные в верхах пашийского горизонта ЮТС, указывают на быстрое осаждение или частую переработку осадка. Тонкослоистые илы без биотурбации, распространенные в нижней части пашийского горизонта (и ниже по разрезу), указывают на стратификацию водной массы и застойные условия на дне. *Биотурбированные* илы (аргиллиты), указывающие на хорошо перемешанную придонную воду и умеренную или низкую скорость осаждения, в ТТД ЮТС практически не встречаются.

Рассмотренные закономерности накопления осадков на современном шельфе, подтверждают высказанные выше предположения о наибольшем сходстве осадков пашийского горизонта ЮТС с осадками шельфа зоны открытого моря – или средней части шельфа.

8. Модель осадконакопления пашийского горизонта

Трансгрессия моря, происходившая в среднем, предполагает наличие морских течений, достаточных для перераспределения поступающих с суши осадков и формирования линейных песчаных тел, протягивавшихся вдоль берега. Известно, что в экваториальной зоне широко распространены разнонаправленные течения широтного направления; можно предположить их наличие и в девонском бассейне ЮТС. Можно также отметить, что в литературе имеются примеры линейных песчаных тел, параллельных и перпендикулярных береговой линии, сформировавшихся в результате деятельности приливных течений (Burnett, Adams, 1977; Pettijohn et al., 1987). Широкий шельф окраины ВЕП способствовал интенсивным приливно-отливным течениям в пашийском бассейне ЮТС.

Удаленность источников сноса и береговой линии, переработка осадков течениями привели к формированию песчаных тел, сложенных зрелым, хорошо сортированным кварцевым материалом. Песчаные тела включали тонкие протяженные глинистые прослои (например, репер «аргиллит», разделяющий ниже- и верхнепашийские отложения). Указанные признаки песчаных тел – зрелость, сортированность, глинистые прослои – характерны для шельфовых песков (Pettijohn et al., 1987).

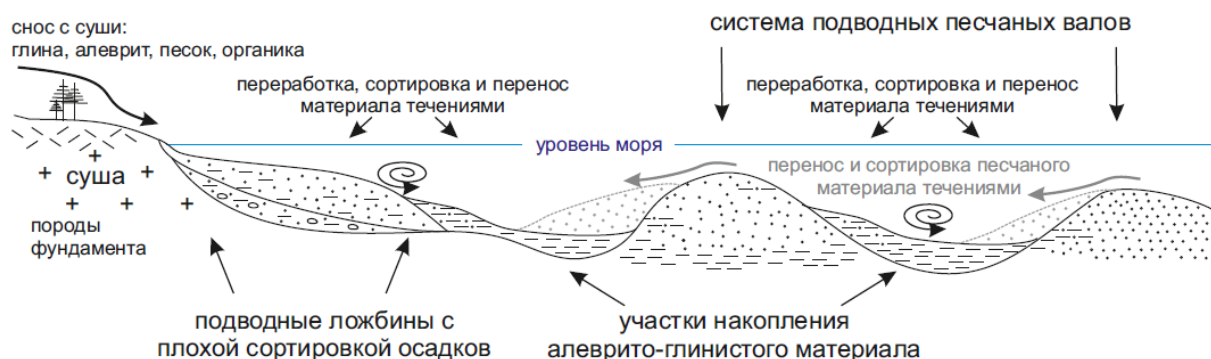


Рис. 15. Гипотетическая схема геоморфологии дна морского бассейна во время формирования осадков пашийского горизонта ЮТС

Приведенные выше факты дали возможность предложить схему геоморфологии дна морского бассейна территории ЮТС во время отложения осадков пашийского горизонта (рис. 15).

Предположительно, дно бассейна представляло собой относительно ровное плато, на котором происходило накопление алеврито-глинистого материала, выделенного в класс 2 или песчано-алеврито-глинистого (переходного) типа разреза, выделенного в класс 3 (коэфф. песч.

10–30 %; см. табл. 1, рис. 8). Глубина моря была примерно одинаковой в пределах всего бассейна и примерно соответствовала глубине среднего шельфа, составляя 50–100 м. Участки дна, защищенные от действия течений формами рельефа и/или относительными понижениями дна, характеризовались преимущественным накоплением илов (глинистого материала) (коэфф. песч. 0–10 %); такие участки выделены в класс 1 или в глинистый тип разреза. Условно их можно рассматривать как аналоги лагун. От настоящих лагун они отличаются тем, что распространены по всей территории бассейна, а не приурочены только к береговой линии.

Положительные формы рельефа морского дна, сложенные песчано-алеврито-глинистым (коэфф. песч. 30–40 %), алеврито-песчаным (коэфф. песч. 30–40 %) и песчаным материалом (коэфф. песч. 60–100 %) (классы 3–4–5), могут рассматриваться как автохтонные подводные песчаные валы, формировавшие обширные системы (рис. 15, 16). Одновременно с подводными песчаными валами в подводных ложбинах, образованных поперечными течениями (со стороны берега в сторону моря), формировались плохо отсортированные аллохтонные осадки, принесенные с суши.

Основными процессами, формировавшими подводные песчаные валы и разделяющие их глинистые тела, являлись: 1) переработка, сортировка, перенос и аккумуляция поступавшего с суши материала морскими течениями во время трансгрессии моря; 2) неоднократный латеральный (боковой) перенос песчаного и алевритового материала течениями песчаных валов течениями; 3) эрозия и разрушение уже сформировавшегося осадка во время регрессивных фаз моря.

Подчеркнем, что традиционные представления о формировании песчаных тел во время регрессии, а глинистых – во время трансгрессии, имеют подчиненное значение (а именно «не работают»), так как на широком шельфе девонского моря ЮТС обстановки, в которых накапливались глинистые тела и обстановки, в которых накапливались песчаные тела сосуществовали одновременно.

Таким образом, фациальный ряд отложений пашийского горизонта целесообразно рассматривать в виде «типов разрезов» (классов) (табл. 1; рис. 8), отражающих песчаность/глинистость разреза. Каждому типу разреза отвечают определенные типы кривых каротажа, что позволяет выделять их по данным ГИС.

Полученные новые материалы, и прежде всего составленные карты (рис. 11 и 12), позволили уточнить схему обстановок накопления осадков пашийского горизонта (рис. 16). Основное отличие данной схемы от предыдущих заключается в том, что вся изученная территория ЮТС включена в зону морского мелководья широкого эпиконтинентального шельфа. Прибрежные обстановки (аллювиальные, пляжевые, дельтовые), по-видимому, располагаются

за пределами района исследований. Это же можно сказать и о более глубоководных морских обстановках. Мы не исключаем присутствия на данной территории отдельных реликтов прибрежных обстановок, тем более, что они широко упоминаются в литературных источниках (Шакиров, 2003; Лощева и др., 2017 и др.), однако в настоящее время у нас нет прямых керновых данных для их подтверждения.

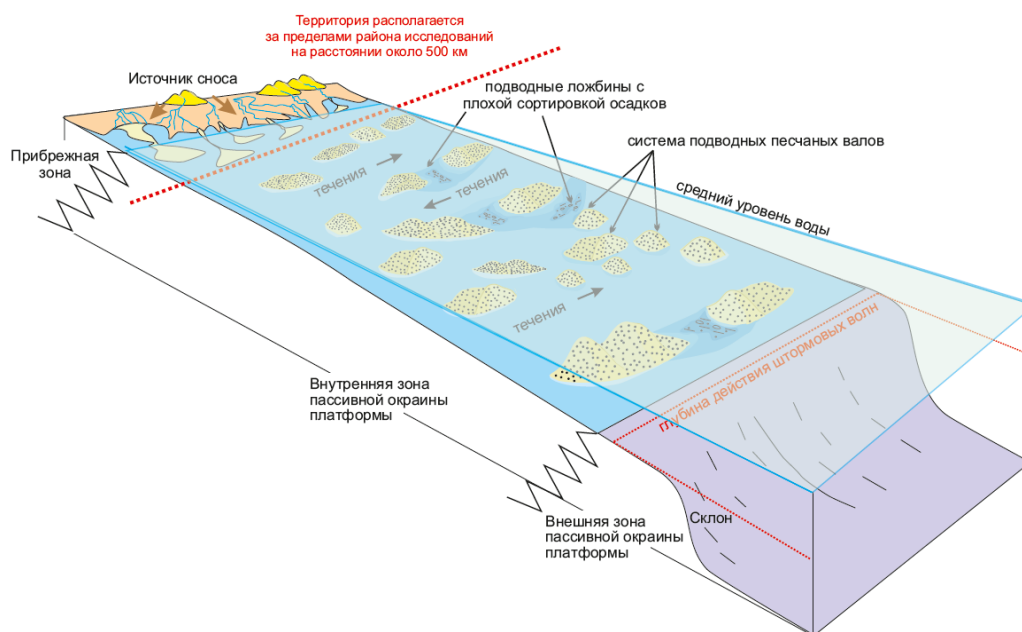


Рис. 16. Схема обстановок осадконакопления пашийского горизонта ЮТС

ВЫВОДЫ

Формирование пашийских отложений в условиях среднего шельфа морского бассейна подтверждается комплексом литологических, палеонтологических и ихнологических данных.

Пашийские отложения ЮТС содержат многочисленные следы жизнедеятельности организмов. Биотурбация затронула практически весь интервал, достигая максимальной степени в алевролитах.

Минимальная биотурбация зафиксирована в песчаных телах, которые «зажаты» между глинисто-алевритовыми пачками, содержащими морскую фауну и ихнотаксоны морской природы: *Spirophyton*, *Skolithos* и *Thalassinoides*.

Глинисто-алевритовые пачки формировались в условиях ихнофагии *Cruziana*, которая приурочена к хорошо сортированным субстратам, между уровнями действия слабых и штормовых волн. Ходы *Spirophyton* и *Zoophycos* в ихноценозе пашийского горизонта ЮТС могли появиться вследствие очень медленного осадконакопления, позволяющего организмам-илоедам заселить нижний ярус осадка (Bromley, 1996).

Песчаные пачки могли сформироваться в условиях ихнофагии *Skolithos*, связанной с условиями высшей гидродинамической энергии и приуроченной, чаще всего, к хорошо сортированным песчаникам, находящимися в постоянном передвижении и подверженным внезапной эрозии или отложению (Микулаш, Дронов, 2006, Bromley, 1996).

Дно пашийского бассейна представляло собой относительно ровное плато, на котором происходило одновременное накопление песчаного и глинистого материала. Между этими крайними типами осадочных тел накапливались алеврито-глинистые, песчано-алеврито-глинистые или алеврито-песчаные осадки. Накопление всех типов осадков происходило во время трансгрессии морского бассейна. Регрессия моря приводила к эрозии и разрушению уже сформированных осадков.

Положительные формы рельефа морского дна, сложенные песчано-алеврито-глинистым, алеврито-песчаным и песчаным материалом, могут рассматриваться как автохтонные подводные песчаные валы, формировавшие обширные системы. Одновременно с подводными песчаными валами в подводных ложбинах, образованных поперечными течениями (со стороны берега в сторону моря), формировались плохо отсортированные аллохтонные осадки, принесенные с суши.

Модель формирования пашийского горизонта ЮТС может быть экстраполирована на формирование всей ТТД ЮТС.

Основными процессами осадконакопления ТТД ЮТС являлись: 1) переработка, сортировка, перенос и аккумуляция поступавшего с суши материала морскими течениями во время трансгрессии моря; 2) неоднократный латеральный (боковой) перенос песчаного и алевритового материала подводных песчаных валов течениями; 3) эрозия и разрушение уже сформированного осадка во время регрессивных фаз моря. В истории накопления ТТД ЮТС эта последовательность процессов неоднократно повторялась. По крайней мере, все эти три процесса происходили во время формирования отложений каждого горизонта – воробьевского, ардаатовского, муллинского, пашийского и тиманского.

Литература

1. *Алексеев В.П.* Атлас субаквальных фаций нижнемеловых отложений Западной Сибири (ХМАО-Югра) / В.П. Алексеев. – Екатеринбург: УГГУ, 2014. – 284 с.
2. *Алиев М.М.* Девонские отложения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции / М.М. Алиев, Г.П. Батанова, Р.О. Хачатрян и др. – Москва: Недра, 1978. – 216 с.
3. *Антропов И.А.* Стратиграфия девона востока Татарии / И.А. Антропов, Г.Н. Батанова // Нефтеносность девона востока Татарии. Т. 1. Тр. КФАН СССР. – Казань, 1960. – С. 8–88.
4. *Аристов В.А.* Девонские конодонты Центрального девонского поля (Русская платформа) / В.А. Аристов. – Москва: Наука, 1988. – 120 с.
5. *Афанасьева М.С.* Биостратиграфия и палеобиогеография радиоларий девона России / М.С. Афанасьева, Э.О. Амон. – Москва: ПИН РАН, 2012. – 280 с.
6. *Барабощкин Е.Ю.* Практическая седиментология (терригенные коллектора) / Е.Ю. Барабощкин. – Томск: Центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела ТПУ, 2007. – 154 с.
7. *Губарева В.С.* Девонская система / В.С. Губарева // Геология Татарстана: Стратиграфия и тектоника / Под ред. Б.В. Бурова. – Москва: ГЕОС, 2003. – С. 87–102.
8. *Данилова Т.Е.* Атлас пород основных нефтеносных горизонтов палеозоя республики Татарстан. Терригенные породы девона и нижнего карбона / Т.Е. Данилова. – Казань: Плутон, 2008. – 440 с.
9. *Долотов Ю.С.* Динамические обстановки прибрежно-морского рельефообразования и осадконакопления / Ю.С. Долотов. – Москва: Наука, 1989. – 269 с.
10. *Лисицын А.П.* Осадкообразование в океанах. Количественное распределение осадочного материала / А.П. Лисицын. – М.: Наука, 1974. – 438 с.
11. *Лисицын А.П.* Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия / А.П. Лисицын. – М.: Наука, 1978. – 366 с.
12. *Ларочкина И.А.* Геологические основы поисков и разведки нефтегазовых месторождений на территории республики Татарстан / Ларочкина И.А. – Казань: ООО ПФ «Гарт», 2008. – 210 с.
13. *Лощева З.А.* Новый взгляд на геологическое строение пашийского горизонта (D3ps) Азнакаевской площади Ромашкинского месторождения нефти / З.А. Лощева, М.Ш. Магдеев, С.Г. Агафонов // Георесурсы. – 2017. – №19(1) – С. 21–26. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.1.4>
14. *Мальцев М.В.* Некоторые особенности строения терригенного девона на Южном куполе Татарского свода / М.В. Мальцев // Ученые записки Казанского университета. – 1959. – №119(2) – С. 112–130.
15. *Мизенс Г.А.* О палеогеографии Урала в девоне / Г.А. Мизенс, И.А. Свяжина // Литосфера. – 2007. – №2 – С. 29–44.
16. *Микрюков М.Ф.* Новые данные по стратиграфии и литологии терригенных отложений девона Бавлинско-Туймазинского нефтеносного района / М.Ф. Микрюков, К.Р. Тимергазин // Нефтяное хозяйство. – 1948. – №9. – С. 43–53.
17. *Микулаш Р.* Палеоихнология – введение в изучение ископаемых следов жизнедеятельности / Р. Микулаш, А.В. Дронов. – Прага: Геологический институт Академии наук Чешской Республики, 2006. – 122 с.
18. *Миропольская Г.Л.* Литология пашийской свиты юго-востока Татарии / Г.Л. Миропольская, Е.Т. Герасимова, Н.С. Ерофеев // Нефтегазоносность Урало-Волжской области. – Москва: Изд-во Академ. наук СССР, 1956. – С. 255–272.
19. *Миропольская Г.Л.* Нефтеносность девона востока Татарии. Т. 2. Литология и фации / Г.Л. Миропольская, Е.Т. Герасимова, В.Н. Логинова, Л.С. Тузава. – Казань, 1960. – 428 с.
20. *Михайлова Н.А.* Методика составления крупномасштабных литолого-фациальных и палеогеографических карт / Н.А. Михайлова. – Москва: Наука, 1973. – 54 с.
21. *Михайлова Н.А.* Зоны выклинивания и неструктурные ловушки (в терригенной толще девона Волго-Уральской провинции). / Н.А. Михайлова. – Москва: Наука, 1977. – 92 с.
22. *Мурдмаа И.О.* Океанские фации. Приконтинентальные фации. Фации океанских шельфов / И.О. Мурдмаа // Океанология. Геология океана. Осадкообразование и магматизм океана / под ред. П.Л. Безрукова. – Москва: Наука, 1979 – С. 269–285.

23. *Муслимов Р.Х.* Совершенствование принципов разработки нефтяных месторождений / Р.Х. Муслимов // Нефтегазоносность Республики Татарстан. Геология и разработка нефтяных месторождений. Т. 1. / под ред. Р.Х. Муслимова. – Казань: Фэн, 2007. – С. 174–197.
24. *Муслимов Р.Х.* Геологическое строение и нефтеносность Ромашкинского месторождения. / Р.Х. Муслимов, Р.Г. Абдулмазитов, Р.Б. Хисамов, Л.М. Миронова // Нефтегазоносность Республики Татарстан. Геология и разработка нефтяных месторождений. Т. 1. / под ред. Р.Х. Муслимова. – Казань: Фэн, 2007а. – С. 236–243.
25. *Муслимов Р.Х.* Геологическое строение и нефтеносность Ново-Елховского месторождения / Р.Х. Муслимов, Р.Г. Абдулмазитов, Р.Б. Хисамов, Л.М. Миронова // Нефтегазоносность Республики Татарстан. Геология и разработка нефтяных месторождений. Т. 1. / под ред. Р.Х. Муслимова. – Казань: Фэн, 2007б. – С. 268–289.
26. *Назарова В.М.* Руководящие виды конодонтов среднего девона Воронежской антеклизы / В.М. Назарова Л.И. Кононова // Материалы совещания: Состояние стратиграфической базы центра и юго-востока Восточно-Европейской платформы. – Москва: ФГБУ «ВНИГНИ», 2016. – С. 51–55.
27. *Назарова В.М.* Комплексы конодонтов из живецких отложений (средний девон) скважины Щигры-16 (Воронежская антеклиза) / В.М. Назарова Л.И. Кононова // ПАЛЕОСТРАТ–2020. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН. – Москва: Палеонтологический ин-т им. А.А. Борисяка РАН, 2020. – С. 41–42.
28. *Нейман А.А.* Донная фауна шельфа и материкового склона / А.А. Нейман, О.Н. Зезина, В.Н. Семенов // Биология океана. Т. 1./ под ред. А.С. Моница. – Москва: Наука, 1977. – 415 с.
29. *Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении) / В.Н. Пучков. – Уфа: ООО ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
30. Решения Всесоюзного совещания по выработке общей унифицированной схемы стратиграфии девонских и додевонских отложений Русской платформы и западного склона Урала. – Ленинград: Гостоптехиздат, 1951. – 37 с.
31. Решение межведомственного регионального стратиграфического совещания по среднему и верхнему палеозою Русской платформы с региональными стратиграфическими схемами. Девонская система. Ленинград, 1988 г. (Рассмотрена и утв. МСК СССР 26 января 1989 г.). – Ленинград, 1990. – 60 с.
32. Решение Межведомственного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем верхнего докембрия и палеозоя Русской платформы (1962 г.). – Ленинград, 1965. – 79 с.
33. Решения по уточнению унифицированных стратиграфических схем верхнего протерозоя и палеозоя Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, состоявшегося в г. Москве при ВНИГНИ с 12 по 20 февраля 1960 г. – Москва, 1962. – 48 с.
34. *Родионова Г.Д.* Девон воронежской антеклизы и Московской синеклизы / Г.Д. Родионова, В.Т. Умнова, Л.И. Кононова и др. – Москва: Центральный региональный геологический центр, 1995. – 265 с.
35. *Саркисян С.Г.* Палеогеография времени образования терригенной толщи девона Башкирии и Татарии / С.Г. Саркисян, Н.А. Михайлова. – Москва: Изд-во АН СССР, 1961. – 262 с.
36. *Смелков В.М.* Стратиграфия палеозойских отложений / В.М. Смелков, Р.К. Тухватуллин // Нефтегазоносность Республики Татарстан. Геология и разработка нефтяных месторождений. Т. 1. / под ред. Р.Х. Муслимова. – Казань: Фэн, 2007. – С. 52–65.
37. *Тихий В.Н.* Новые данные по стратиграфии и геологической истории девона Волго-Уральской области / В.Н. Тихий. – Труды совещания 10–15 мая 1954 г: Нефтегазоносность Урало-Волжской области. – Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1956. – С. 127–134.
38. *Тихий В.Н.* Девонский период / В.Н. Тихий. // Атлас литолого-палеографических карт СССР: Т. II. Девонский, каменноугольный и пермский периоды [Карты]. – Москва: ГУГК, 1969. – 68 л.
39. *Тихий В.Н.* Волго-Уральская нефтеносная область / В.Н. Тихий. // Стратиграфия СССР. Девонская система. Книга 1 / под ред. Б.П. Марковского, Д.В. Наливкина, М.А. Ржонсницкой. – Москва: Недра, 1973. – С. 128–144.
40. *Тихий В.Н.* Девонский период. Палеогеография. / В.Н. Тихий. // Палеогеография СССР. Объяснительная записка к Атласу литолого-палеогеографических карт СССР. Т. 2. Девонский, каменноугольный, пермский периоды. – Москва: Недра, 1975. – С. 12–40.
41. *Тихомиров С.В.* Этапы осадконакопления девона Русской платформы и общие вопросы

- развития и строения стратисферы / Тихомиров С.В. – Москва: Недра, 1995. – 445 с.
42. Трофимук А.А. Законтурный флудинг в Туймазах / А.А. Трофимук // Нефтяное хозяйство. – 1947. – №4. – С. 13–19.
43. Унифицированная субрегиональная стратиграфическая схема верхнедевонских отложений Волго-Уральского субрегиона. Объяснительная записка // под ред. Н.К. Фортунатовой, Е.Л. Зайцевой, М.А. Бушуевой и др. – Москва: ФГБУ «ВНИГНИ», 2018. – 64 с.
44. Фортунатова Н.К. Строение девонского терригенного комплекса и положение границы среднего и верхнего девона на западе Татарстана / Н.К. Фортунатова, Е.Л. Зайцева, О.А. Карцева // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2013. – №88(3) . – С. 22–41.
45. Халымбаджа В.Г. Конодонты рода *Ancyrodella* из отложений востока Русской платформы и Западного Приуралья и их стратиграфическое значение / В.Г. Халымбаджа, Н.Г. Чернышева // Биостратиграфия и палеонтология палеозойских отложений востока Русской платформы западного Приуралья. Казань: Казан. ун-т, 1970. – С. 81–103.
46. Шакиров А.Н. Литолого-фациальные исследования продуктивных пластов палеозоя Татарстана в связи с проблемой повышения нефтеотдачи: дис... д. геол.-мин. наук / А.Н. Шакиров. – Санкт-Петербург, 2003. – 435 с.
47. Шаргородский И.Е. Составление тектонической схемы центральных районов Приволжского федерального округа / И.Е. Шаргородский, В.Б. Либерман, Э.Р. Казаков и др. // Георесурсы. – 2004. – №1(15). – С. 12-15.
48. Шеин В.С. Геодинамические условия формирования осадочного чехла палеобассейнов Восточно-Европейского палеоконтинента / В.С. Шеин, А.В. Алференок, И.В. Долматова, Н.А. Мельникова // Геология нефти и газа. – 2020. – №1. – С. 35–55. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-1-35-55.
49. Alekseev A.S. The Devonian and Carboniferous of the Moscow Syncline (Russian Platform): Stratigraphy and sea-level changes / A.S. Alekseev, L.I. Kononova, A.M. Nikishin // Tectonophysics. – 1996. – №268(1–4). – P. 149–168. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(96\)00229-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(96)00229-6)
50. Anthony E.J. Fluvial sediment supply, mud banks, cheniers and the morphodynamics of the coast of South America between the Amazon and Orinoco river mouths / E.J. Anthony A. Gardel, N. Gratiot // Geological Society Special Publication. – 2014. – №388(1). – P. 533–560.
51. Anthony E.J. The Amazon-influenced muddy coast of South America: A review of mud-bank-shoreline interactions / E.J. Anthony A. Gardel, N. Gratiot et al. // Earth-Science Reviews. – 2010. – №103(3–4) . – P. 99–121.
52. Artyushkova O.V. Devonian and Lower Carboniferous type sections of the western South Urals: Pre-Conference Field Excursion Guidebook. International Conference «Biostratigraphy, Paleogeography and Events in Devonian and Lower Carboniferous» / O.V. Artyushkova V.A. Maslov V.N. Pazukhin et al. – Ufa, 2011. – 92 p.
53. Becker R.T. The Devonian Period / R.T. Becker, J.E.A. Marshall, A.-C. Da Silva et al. // The Geological Time Scale 2020. V. 2 / Eds. Gradstein F., Ogg J.G., Schmitz M.D., Ogg G.M. – Amsterdam: Elsevier, 2020. – P. 733–810.
54. Bostock H. Distribution of surficial sediments in the ocean around New Zealand/Aotearoa. Part B: continental shelf / H. Bostock, C. Jenkins, K. Mackay et al. // New Zealand Journal of Geology and Geophysics. – 2019. – №62(1) . – P. 24-45. DOI: <https://doi.org/10.1080/00288306.2018.1523199>
55. Bromley R.G. Trace fossils. Biology, taphonomy and applications / R.G. Bromley. – London: Chapman and Hall, 1996. – 361 p.
56. Csanady G.T. Circulation in the Coastal Ocean / G.T. Csanady. // Advances in Geophysics. – 1981. – №23. – P. 101-183.
57. Einsele G. Sedimentary Basins. Evolution, Facies, and Sediment Budget / G. Einsele. – Heidelberg: Springer Berlin, 2000. – 792 p.
58. Emery K.O. Continental shelf sediments of Southern California / K.O. Emery // Bulletin of the Geological Society of America. – 1952. – №63(11). – P. 1105-1108. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1105:CSSOSC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1105:CSSOSC]2.0.CO;2)
59. Galloway W.E. Terrigenous Shelf Systems / W.E. Galloway D.K. Hobday // Terrigenous Clastic Depositional Systems. – Heidelberg: Springer Berlin, 1996. – P. 159-185. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-61018-9_7
60. Johnson H.D. Shallow siliciclastic seas / H.D. Johnson, C.T. Baldwin // Sedimentary environments

and facies /Ed. H.G. Reading. – Oxford: Blackwell, 1986. – P. 229-252.

61. *Jouanneau J.M.* Recent sedimentation and sedimentary budgets on the western Iberian shelf / J.M. Jouanneau, O. Weber, T. Drago // *Progress in Oceanography*. – 2002. – №52(2-4) . – P. 261–275. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(02\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00010-1)

62. *Kingston D.R.* Global basin classification system / D.R. Kingston, C.P. Dishroon, P.A. Williams // *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. – 1983. – №67. – P. 2175-2193. DOI: <https://doi.org/10.1306/AD460936-16F7-11D7-8645000102C1865D>

63. *Knaust D.* Atlas of Trace Fossils in Well Core: Appearance, Taxonomy and Interpretation / D. Knaust. – Springer, Switzerland, 2017. – 209 p.

64. *Lewis S.E.* Complex sediment deposition history on a wide continental shelf: Implications for the calculation of accumulation rates on the Great Barrier Reef / S.E. Lewis, J. Olley, T. Furuichi et al. // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2014. – №393. – P. 146–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.02.038>

65. *Liao J.-C.* Givetian and early Frasnian conodonts from the Compte section (Middle-Upper Devonian, Spanish Central Pyrenees) / J.-C. Liao, J. I. Valenzuela-Ríos // *Geological Quarterly*. – 2008. – №52(1) . – P. 1–18.

66. *Mitchell A.H.G.* Sedimentation and tectonics / A.H.G. Mitchell, H.G. Reading // *Sedimentary environments and facies*, 2nd ed. / Ed. H.G. Reading. – Oxford: Blackwell, 1986. – P. 471–519.

67. *Nikishin A.M.* Late Precambrian to Triassic history of the East European Craton: Dynamics of sedimentary basin evolution / A.M. Nikishin, P.A. Ziegler R.A. Stephenson et al. // *Tectonophysics*. – 1996. – №268(1-4) . – P. 23–63. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(96\)00228-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(96)00228-4)

68. *Ovnatanova N.S.* Frasnian Conodonts from the Eastern Russian Platform. / N.S. Ovnatanova, L.I. Kononova // *Paleontological Journal*. – 2008. – №42(10) . – P. 997–1166. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0031030108100018>

69. *Park S.C.* Transgressive sand ridges on the mid-shelf of the southern sea of Korea (Korea Strait): Formation and development in high-energy environments / S.C. Park, H.S. Han, D.G. Yoo // *Marine Geology*. – 2003. – №193(1-2) . – P. 1–18. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00611-4](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00611-4)

70. *Peterson J.A.* Geology of the Volga-Ural Petroleum Province and detailed description of the Romashkino and Arlan oil fields / J.A. Peterson, J.W. Clarke. – Reston: United States Department of the Interior Geological Survey, 1983. – 90 p.

71. *Pettijohn F.* Sandy Depositional Systems / F. Pettijohn., P.E. Potter., R. Siever. // *Sand and Sandstone*. – Heidelberg: Springer, 1987. – P. 341–423.

72. *Reynaud J-Y.* Shallow-Marine Tidal Deposits / J-Y. Reynaud, R.W. Dalrymple // *Principles of Tidal Sedimentology*. – Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V., 2012. – P. 335–369.

73. *Seilacher A.* Bathymetry of trace fossils / A. Seilacher // *Marine Geology*. – 1967. – №5(5-6) . – P. 413–428. DOI: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(67\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0025-3227(67)90051-5)

74. *Seilacher A.* Trace fossil analysis / A. Seilacher. – Berlin: Springer-Verlag, 2007. – 226 p. DOI:10.1017/S0016756808004378

75. *Selley R.C.* Diagnosis of marine and non-marine environments from the Cambro-Ordovician sandstones of Jordan / R.C. Selley // *Journal of the Geological Society*. – 1973. – №128(2). – P. 135–150. DOI: <https://doi.org/10.1144/gsjgs.128.2.0135>

76. *Sibson R.* A brief description of natural neighbor interpolation (Chapter 2) / Sibson R. // *Interpreting Multivariate Data*. – Chichester: John Wiley, 1981. – P. 21–36.

77. *Van Landeghem K.J.J.* Post-glacial sediment dynamics in the Irish Sea and sediment wave morphology: Data-model comparisons / K.J.J. Van Landeghem, K. Uehara, A.J. Wheeler et al. // *Continental Shelf Research*. – 2009. – №29(14) . – P. 1723–1736. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.05.014>

78. *Vieira F.V.* Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns / F.V. Vieira A.C. Bastos, V.S. Quesada et al. // *Continental Shelf Research*. – 2019. – №187(September) . – 103964. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.103964>

79. *Ward S.L.* Classifying seabed sediment type using simulated tidal-induced bed shear stress / S.L. Ward S.P. Neill, K.J.J. Van Landeghem, J.D. Scourse // *Marine Geology*. – 2015. – №367. – P. 94–104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.05.010>

80. *Ward S.L.* The challenges of constraining shelf sea tidal models using seabed sediment grain size as a proxy for tidal currents / S.L. Ward, J.D. Scourse, Y. Yokoyama, S.P. Neill // *Continental Shelf Research*.

– 2020. – №205(December) . – 104165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104165>

81. Ziegler W. Taxionomie und Phylogenie oberdevonischer Conodonten und ihre stratigraphische Bebeutung / W. Ziegler // Abh. Hess. L.-Amt Bodenforsch. – 1962. – №38. – P. 1–166.

82. Ziegler W. Conodont Stratigraphy of the European Devonian / W. Ziegler // Geol. Soc. Am. Mem. Bould. – 1971. – №127. – P. 227–284.

83. Ziegler W., Sandberg, C. The Late Devonian Standard Conodont Zonation / W. Ziegler, C. Sandberg // Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg. – 1990. – №121. – P. 1–115.

Учебное издание

Силантьев Владимир Владимирович

Мифтахутдинова Динара Надировна

СТРАТИГРАФИЯ

И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

(на примере пашийского горизонта терригенной толщи девона

Южно-Татарского свода)

Учебно-методическое пособие