

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/44_2020

УДК 553.98:551.771.5(571.64)

Жуковская Е.А., Сначев М.В.ООО «Газпромнефть Научно-технический центр», Санкт-Петербург, Россия,
Zhukovskaya.E.A.@gazpromneft-ntc.ru, Snachev.MV@gazpromneft-ntc.ru**Космынин В.А.**

ООО «Газпром нефть шельф», Санкт-Петербург, Россия, Kosmynin.VA@gazprom-neft.ru

Гайнаншин Р.Н.ООО «Газпромнефть Научно-технический центр», Санкт-Петербург, Россия,
Gaynanshin.RN@gazpromneft-ntc.ru

МОДЕЛЬ СЕДИМЕНТАЦИИ НИЖНЕНУТОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕПТУН (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ ШЕЛЬФА ОСТРОВА САХАЛИН)

Представлены результаты литологического изучения нижненутовской части разреза (верхний миоцен) скважины-первооткрывательницы месторождения Нептун (Северо-Сахалинская нефтегазоносная область). На основе литофациального и ихнофациального анализов кернa скв. 1 Аяшская уточнено представление об условиях формирования рассматриваемых осадочных толщ и предложена модель их седиментации. Построенная схема осадконакопления описывает неполный фациальный ряд волнового побережья: от фаций переходной зоны до средней и нижней предфронтальной зоны пляжа. Вполне вероятно предполагаемые обстановки приурочены к периферийной зоне дельты Палеоамура. Особое внимание уделяется анализу влияния вулканических извержений на процесс формирования осадочных толщ и особенностям распределения пирокластического материала.

Ключевые слова: *нижненутовский подгоризонт, миоцен, модель седиментации, мелководно-морские фации, вулканогенно-осадочные породы, дельта Палеоамура, Северо-Сахалинская нефтегазоносная область.*

Введение

Шельф Северо-Сахалинской нефтегазоносной области (НГО) обладает богатейшим неосвоенным ресурсным потенциалом. Непрерывающиеся геологоразведочные работы в регионе принесли плоды: в период 2016-2018 гг. открыты 3 крупных месторождения углеводородов (УВ), два из которых нефтяные – Нептун (скважина-первооткрывательница пробурена компанией ПАО «Газпром нефть» в 2017 г.) и Тритон. С каждым открытием становится больше геолого-геофизической информации, которая помогает исследователям детальнее описывать геологическое строение и точнее воспроизводить историю развития Северо-Сахалинского осадочного бассейна.

Долгое время перспективы открытия еще одного месторождения в центральной части Северо-Сахалинской НГО всерьез не рассматривались. Основным фактором риска отсутствия залежей нефти и газа на исследуемой территории признавался низкий коллекторский потенциал. Предполагалось, что продуктивные в Северо-Сахалинской НГО

пласты в пределах Аяшской структуры будут представлены преимущественно глинистым разрезом по аналогии с данными скважин 1 Даги и 1 Южно-Аяшская.

Бурение первой поисковой скважины (первооткрывательницы месторождения Нептун) в пределах Аяшской структуры подтвердило высокий нефтегазоносный потенциал нутовского горизонта акватории, при этом обозначив необходимость в уточнении моделей обстановок осадконакопления ниже- и верхненутовских продуктивных отложений. Основной задачей настоящей статьи является анализ результатов комплексного исследования керна скв. 1 Аяшская на предмет определения условий, механизма и особенностей формирования нижненутовских отложений.

Объект исследования

В ходе строительства поисковой скв. 1 Аяшская отобраны 162 м керна из нижненутовского подгоризонта, пластов XIX-XXV (номенклатура пластов близка к принятой на Пильтун-Астохском месторождении) [Гайнаншин и др., 2018]. Для определения генезиса отложений проведены литолого-фациальный и ихнофациальный анализы с привлечением результатов лабораторных исследований керна (петрографического анализа - 48 шлифов, данных гранулометрического анализа - 81 образец, результатов рентгенофазового анализа - 93 образца). Основным методическим приемом проведено комплексирование профильных анализов керна - текстурно-структурного, ихнологического, с «точечным» - петрографическим, гранулометрическим и рентгенофазовым.

Известно, что нутовский горизонт входит в состав пострифтового олигоцен-плиоценового мегакомплекса Охотоморской плиты, который характеризуется клиноформным строением на протяжении всей Северо-Сахалинской НГО (рис. 1). В целом, клиноформный комплекс миоцена-плиоцена описывает боковое наращивание бассейна седиментации (преимущественно с запада) за счет активного циклического привноса осадков дельтой Палеоамура [Шеин, Игнатова, 2007].

Разрез позднего миоцена охарактеризован обстановками сублиторали морского шельфа, постепенно сменяющимися друг друга в субширотном направлении: от условий дальней зоны (нижняя сублитораль) до верхней предфронтальной зоны пляжа (см. рис. 1). При этом полный фациальный ряд может наблюдаться на протяжении всей Северо-Сахалинской НГО (с востока на запад), от западного борта Дерюгинской впадины до Чайвинской структуры. По результатам литолого-фациального анализа керна скв. 1 Аяшская выделены только фации верхней сублиторали.

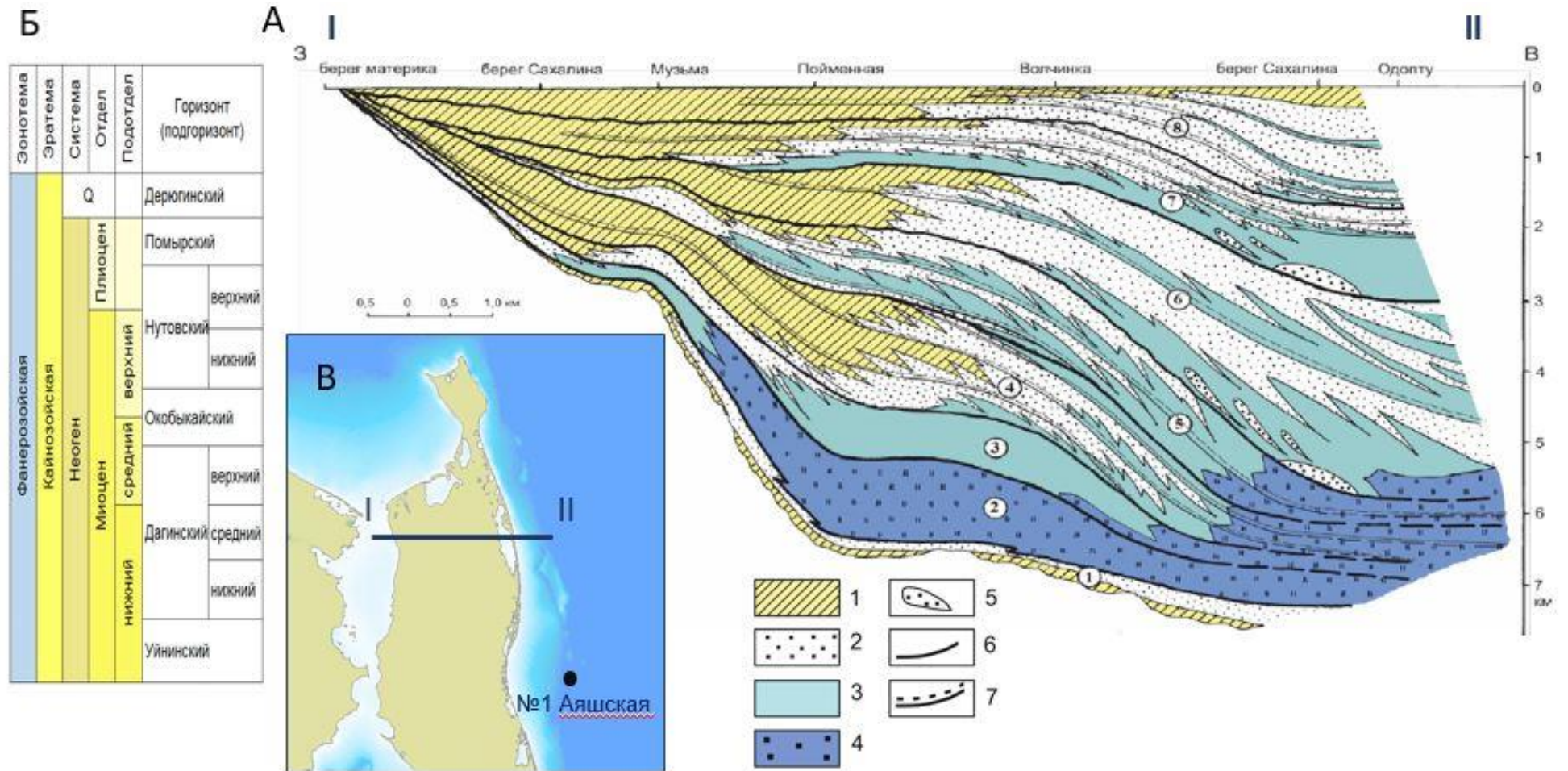


Рис. 1. Схема строения кайнозойских отложений Северо-Сахалинской нефтегазоносной области

А - разрез кайнозойских отложений Северо-Сахалинской НГО [Маргулис, 2002], *Б* – стратиграфическая шкала, *В* – обзорная схема района исследований. 1-5 - осадочно-породные (ландшафтные) ассоциации: 1 - континентальные и паралические угленосные, 2 – верхней сублиторали (пески, песчаники, алевролиты), 3 – нижней сублиторали и переходной зоны (алевролиты, глины, аргиллиты), 4 – переходной зоны и баттали (кремнистые аргиллиты и алевролиты, силициты), 5 – песчаники турбидитов и конусов выноса; 6 - границы стратиграфических горизонтов; 7 – границы секвенсов. Стратиграфические горизонты - цифры в кружках: 1 - мачигарский (P_3^1), 2 - даехуриинский (P_3^2), 3 - уйнинский (N_1^1), 4 - дагинский ($N_1^1-N_1^2$), 5 - окобыкайский (N_1^2), 6 – нижненутовский подгоризонт (N_1^3), 7 - верхненутовский подгоризонт (N_2), 8 – помьрский (N_2-Q).

Результаты исследования

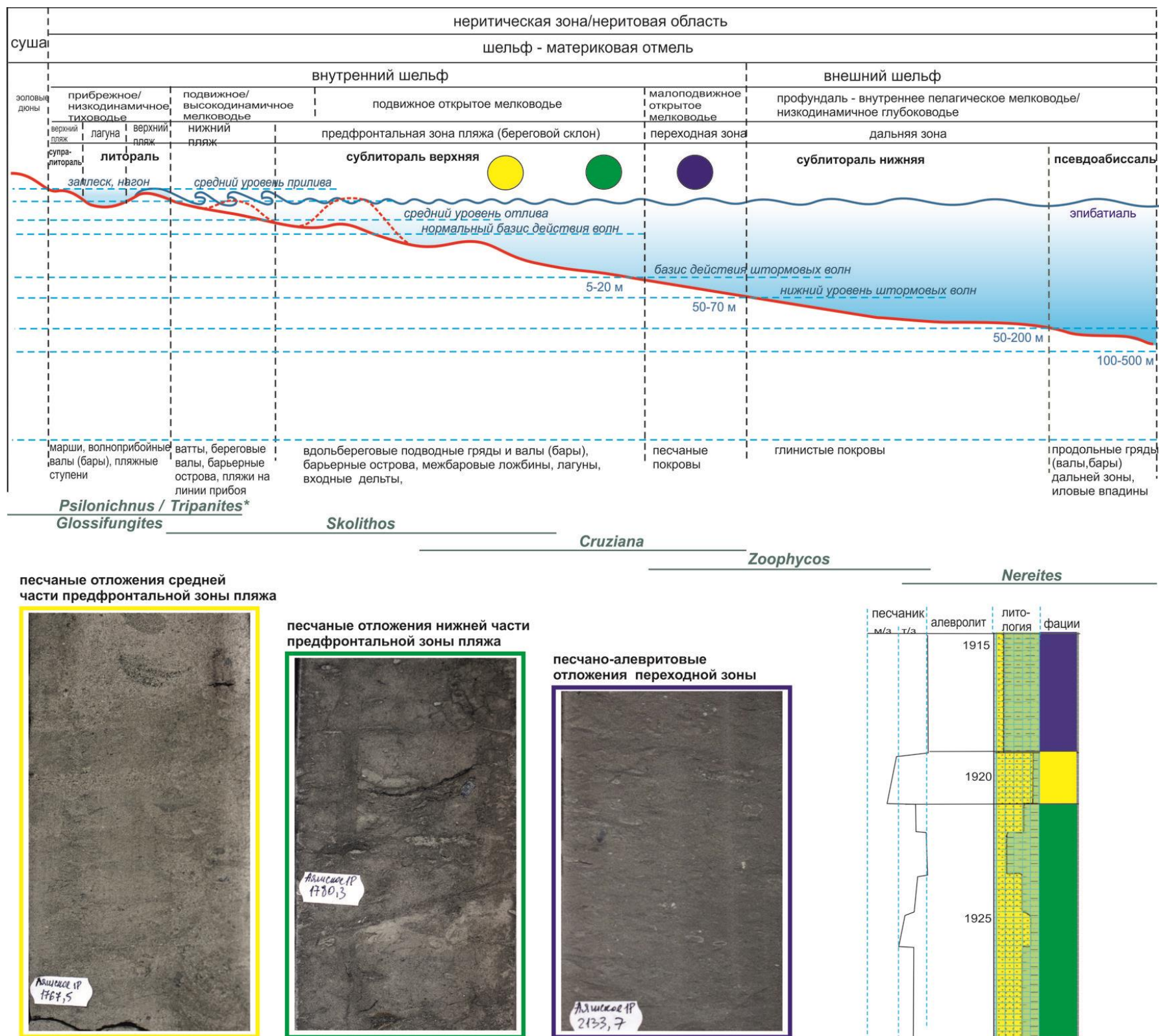
В результате выполненных исследований по керну скв. 1 Аяшская выделены фации, относящиеся к группе мелководно-морских верхней сублиторальной зоны: средней предфронтальной зоны пляжа, нижней предфронтальной зоны пляжа и переходной зоны (рис. 2). Наименование обстановок и применяемая терминология приведены согласно «Атласу типовых фаций» [Тугарова, Жуковская, 2019]. Следует отметить, что приближенные к береговой линии фации нижнего и верхнего пляжа, а также предфронтальной зоны пляжа, широко распространены среди дельтовых комплексов.

В целом, для охарактеризованной керном части разреза скв. 1 Аяшская установлена прямая зависимость гранулометрического состава от фациального (рис. 3, табл. 1), однако однотипность текстур и биотурбации, а также слабая дифференциация по вещественному составу (рис. 4) приводит к отсутствию четких критериев выделения фаций и условности границ между ними.

Алевро-песчаные породы представлены вулканогенно-осадочными разностями кварцево-полевошпатово-грауваккового и полевошпато-кварцево-грауваккового составов, единичные - граувакковыми аркозами (см. рис. 4, 5). Минералогическая зрелость пород низкая (см. табл. 1). Пирокластический материал в среднем составляет от 5-10% до 15-27%, характеризуется остроугольным и оплавленным кварцем, редкими призматическими кристаллами полевого шпата (1-2%). Кристаллокласты (размером до 1 мм) чистые, неизменные, с обычными оптическими свойствами, отмечаются остроугольные витрокласты (1%).

Характерной особенностью отложений нижненутовского подгоризонта в разрезе скв. 1 Аяшская является обилие пирокластического материала алевритовой и мелкосаммитовой размерности (при содержании которого от 10 до 50% порода относилась к туфогенным [Кузнецов, 2007]).

Обломки эффузивных пород нередко являются центрами формирования известковых конкреций, распределенных крайне неравномерно. По классификации Я.Э. Юдовича это породные конкреции. По форме конкреции - чаще всего сферические. По размеру - обычно небольшие (1-5 см), максимальная видимая мощность предполагаемой конкреции, встреченной в керне скв. 1 Аяшская, составляет 1,5 м. В шлифах конкреции выглядят как туфопесчаники или туфоалевролиты с порово-базальным кальцитовым цементом мелкокристаллическим (рис. б) и крупнокристаллическим (рис. ба).



песчаные отложения средней части предфронтальной зоны пляжа



песчаные отложения нижней части предфронтальной зоны пляжа



песчано-алевритовые отложения переходной зоны

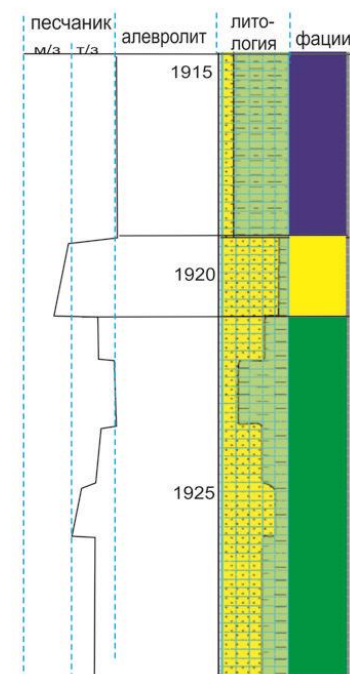


Рис. 2. Фации нижненутовского подгоризонта, определенные в керне скв. 1 Аяшская

Литология: 1 - туфопесчаник, 2 - туфоалевролит; фации: 3 - песчаные отложения средней части предфронтальной зоны пляжа, 4 - песчаные отложения нижней части предфронтальной зоны пляжа 5 - песчано-алевролитовые отложения переходной зоны.

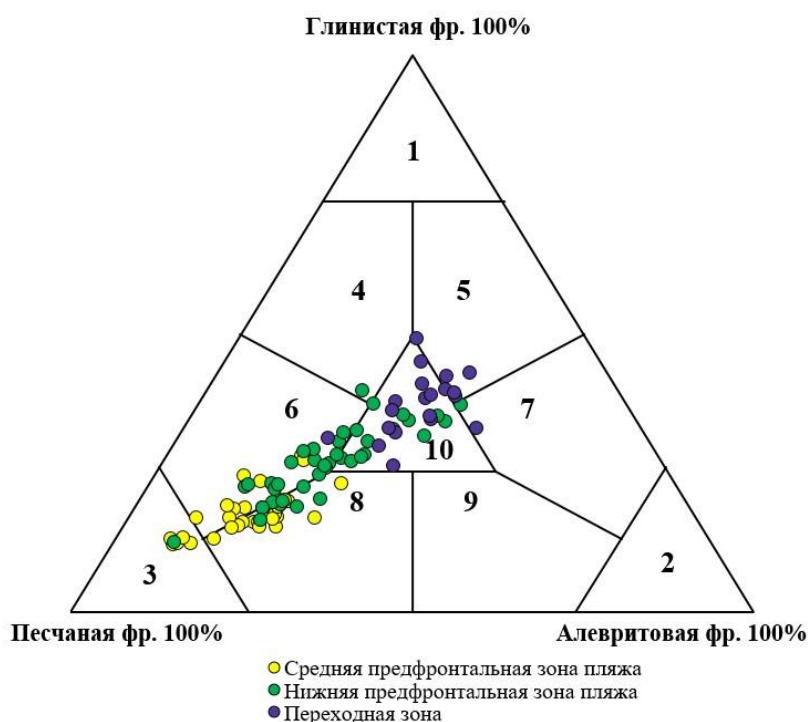


Рис. 3. Гранулометрический состав отложений нижненутовского подгоризонта на диаграмме Ф. Шепарда (1954 г.)

Поля: 1 - аргиллит, 2 - алевролит, 3 - песчаник, 4 - песчанистый аргиллит, 5 - алевритовый аргиллит, 6 - глинистый песчаник, 7 - глинистый алевролит, 8 - алевритовый песчаник, 9 - песчаный алевролит, 10 - песчано-алевритовый аргиллит.

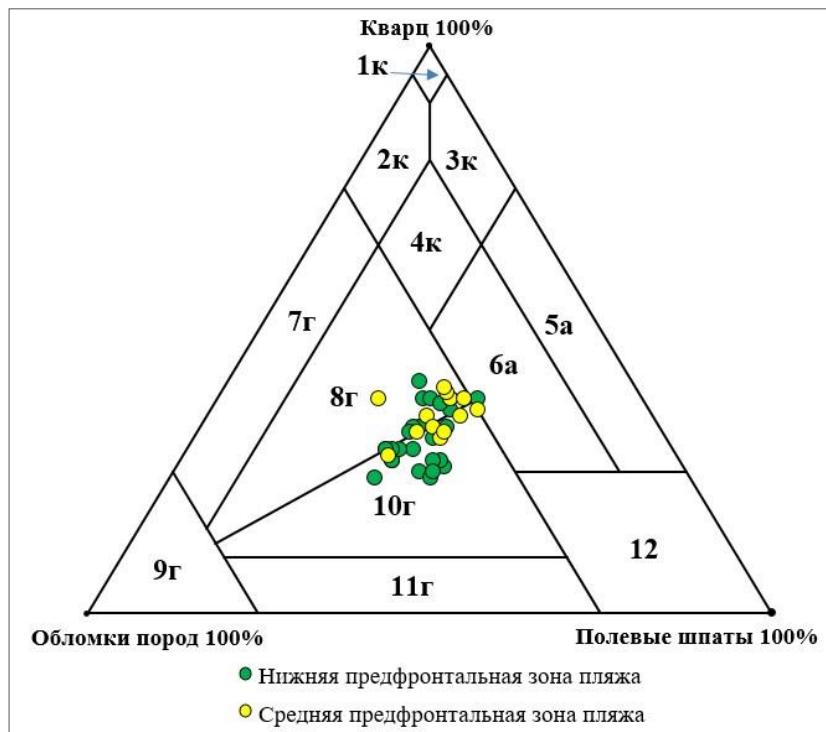


Рис. 4. Вещественный состав туфопесчаников нижненутовского подгоризонта на классификационной диаграмме В.Д. Шутова

Поля на диаграмме: 1к - мономиктовые кварцевые, 2к - кремнекластовые, 3к - полевошпатовые, 4к - мезомиктовые кварцевые, 5а - аркозовые, 6а - граувакковые аркозы, 7г - кварцевые граувакки, 8г - полевошпато-кварцевые граувакки, 9г - собственно граувакковые, 10г - кварцево-полевошпатовые граувакки, 11г - полевошпатовые граувакки, 12 - породы нетерригенного происхождения.

Таблица 1

Общая характеристика фациальных зон нижнекутовских отложений скв. 1 Аяшская

Признаки\Зоны		Верхняя сублитораль		Нижняя сублитораль
		Предфронтальная зона пляжа		Переходная зона
		Средняя часть	Нижняя часть	
Литологический тип пород, % встречаемости	Туфопесчаники мелкозернистые	43	5	0
	Туфопесчаники тонкозернистые	41	32	0
	Туфопесчаники алевритистые	9	44	21
	Туфоалевролиты песчаные	5	12	26
	Туфоалевролиты глинистые	2	7	53
Текстура, % встречаемости	Волнистая слоистость	70	65	14
	Массивная	10	5	7
	Линзовидно-слоистая	20	30	79
	Биотурбационная	30	40	60
Биотурбация	Ихнофоссилии	Sch cyl, As, Sc, Th, Ph		
	Интенсивность биотурбации	Tb, Te, Pl, Ro, Sk высокая	Tb, He, Co, Ro, Pl высокая	Tb, He средняя
	Ихнофашии	Skolithos и Proximal Cruziana	Proximal, реже Distal Cruziana	Proximal и Distal Cruziana
Средний гранулометрический состав, %	Песчаная фракция	65	49	30
	Алевритовая фракция	17	24	33
	Глинистая фракция	18	27	37
Средний вещественный состав туфопесчаника, %	Кварц - Q			
	Полевые шпаты - F			
	Обломки пород - R			
	Минералогическая зрелость Q/F	1,05	0,93	1,13
Средняя глинистость (Iгк), % встречаемости	20-40	16	9	
	40-60	72	72	22
	60-80	12	19	78
	Средняя, %	48	53	66

Примечание – ихнофоссилии: ASTEROSOMA – As, CONICHNUS – Co, HELMINTHOPSIS – He, SCHAUBCYLINDRICHNUS – Sch cyl, SCOLICIA – Sc, SKOLITHOS – Sk, PHYCOSIPHON – Ph, PLANOLITES- Pl, ROSSELIA – Ro, TERESELLINA - Tb.

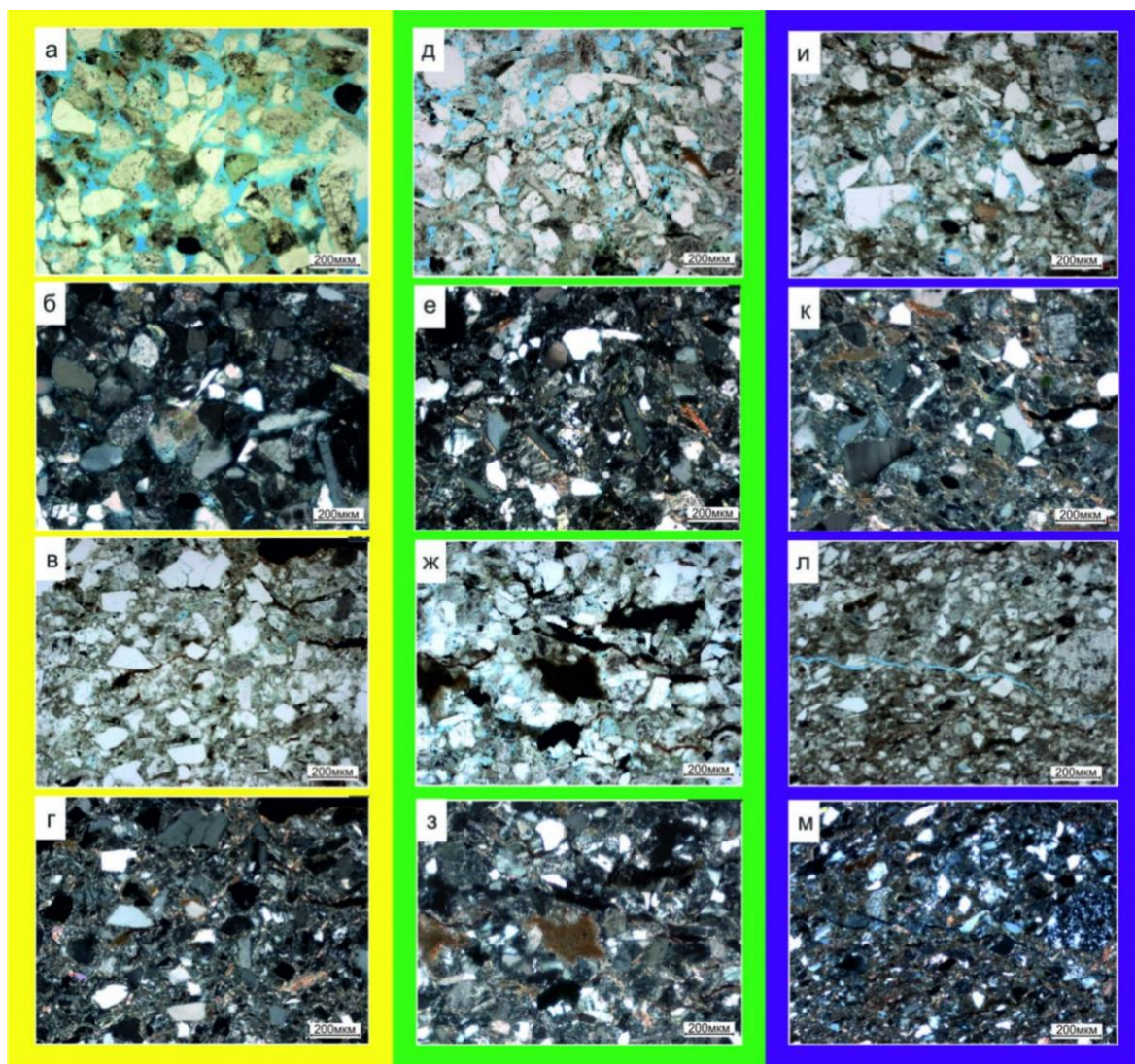


Рис. 5. Фотоснимки шлифов пород

Средняя префронтальная зона пляжа: а-г (пласт XIX, туфопесчаник тонко-мелкозернистый, слабо алевритистый, а - николи II, б - николи X; пласт XXI, туфопесчаник тонко-мелкозернистый алевритовый, в - николи II, г - николи X); нижняя часть префронтальной зоны пляжа: д-з (пласт XXI, туфопесчаник тонкозернистый алевритистый, д - николи II, е - николи X; пласт XXI, туфопесчаник тонкозернистый алевритовый, ж - николи II, з - николи X); переходная зона: и-м (пласт XXI, туфоалевролит крупнозернистый песчаный, и - николи II, к - николи X; пласт XXIII, туфоалевролит песчаный, л - николи II, м - николи X).

Состав карбонатных конкреций, вынесенный на диаграмму состава карбонатных конкреций нижнепалеогеновых отложений Юго-Западного Сахалина [Захарова, 1975], соответствует конкрециям такарадайской свиты относительно глубоководного генезиса (рис. 7).

Породы нижненутовского подгоризонта характеризуются глинистым цементом, локально развит известковистый цемент. Типичен мелкий углефицированный растительный детрит, редкие обломки углефицированной древесины, отмечены мелкие вкрапления пирита. Тектурный рисунок по керну определяется сложно как в силу плохой и средней цементации пород, так и по причине слабой послонной дифференциации обломков. Среди наиболее

часто встречаемых в керне текстур – волнистослоистая, массивная (однородная), рябь волнения, биотурбационная, линзовидно-слоистая. Набор литотипов во всех трех фациях схож, меняются их соотношения в разных зонах, лишь в более глубоководной фации переходной зоны отмечается преобладание глинистых туфоалевролитов (см. табл. 1). В средней предфронтальной зоне доля песчаных разностей в составе пород достигает 95% и последовательно сокращается до 20% в переходной зоне. Глинистость подчиняется обратной закономерности (см. рис. 3). Литотипы, характеризующие менее глубоководные фациальные зоны, содержат преимущественно более крупнозернистую фракцию, толщина песчаных прослоев в них достигает 3-4 м.

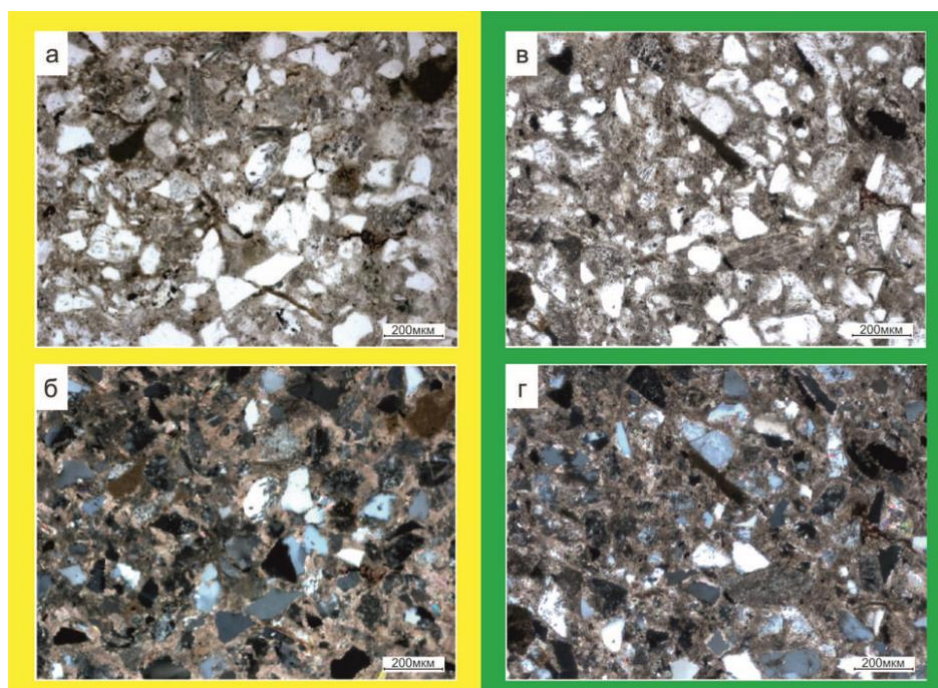


Рис. 6. Фотоснимки шлифов известковых породных конкреций в отложениях

Средняя часть предфронтальной зоны пляжа (пласт XIX), крупнокристаллический кальцитовый цемент 38%: а - николи II, б - николи X; нижняя часть предфронтальной зоны пляжа (пласт XXI) мелкокристаллический кальцитовый цемент 30%: в - николи II, г - николи X.

В ходе исследования установлены основные диагностические признаки фаций и ниже приведена их краткая характеристика фаций.

Осадки *средней части предфронтальной зоны пляжа*, выделенные в нижненутовском подгоризонте, имеют мощность отложений от 1,15-3,0 м до 8,2-9,2 м. Осадки представлены тонко-мелкозернистыми хорошо сортированными туфопесчаниками (табл. 1). Для них характерны незначительное количество глинистых слоек, волнистая слоистость, массивная и линзовидно-слоистая текстура, реже слоистость ряби волнения, которая из-за дефицита углисто-глинистого материала может быть проявлена нечетко (рис. 8). Осадки средней предфронтальной зоны пляжа значительно подвержены биотурбации (см. табл. 1,

рис. 8). В них встречены в основном представители ихнофации *Skolithos* и *Proximal Cruziana* (*Teichichnus*, *Asterosoma*, *Scolicia*, *Thalassinoides*, *Schaubcylindrichnus*, *Terebellina*, *Planolites*, *Rosselia*, *Phycosiphon*, *Skolithos*). Степень биотурбации - от слабой до средней. Отмечены обломки створок и целые некрупные (размером до 2 см) раковины двустворчатых моллюсков.

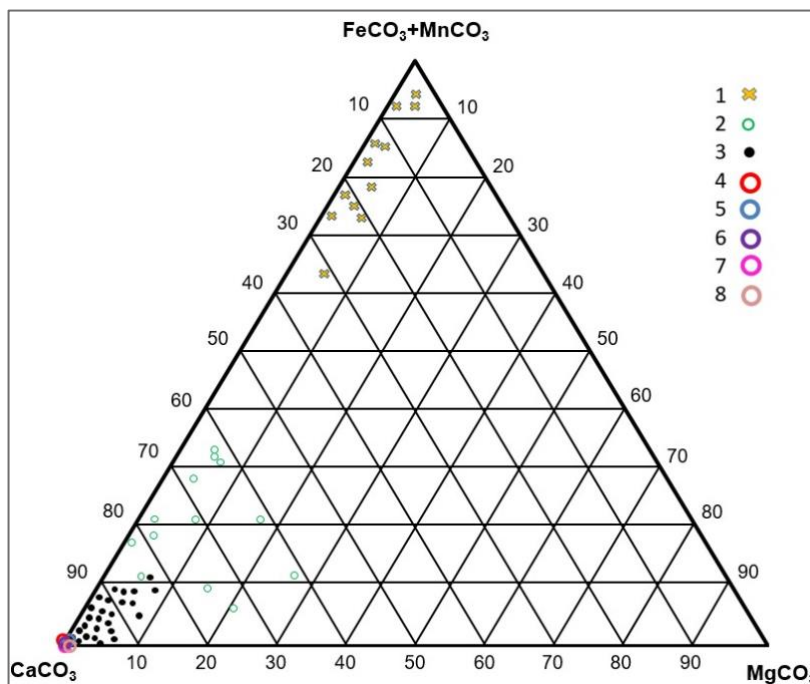


Рис. 7. Диаграмма состава карбонатных конкреций нижнепалеогеновых отложений Юго-Западного Сахалина ([Захарова, 1975] с дополнением)

Данные по свитам: 1 - Снежинская, 2 - Краснопольевская, 3 - Такарадайская; данные по пластам нижненутовского подгоризонта (1 Аяшская): 4 - XIX, 5 - XXI, 6 - XXIII, 7 - XXIV, 8 - XXV.

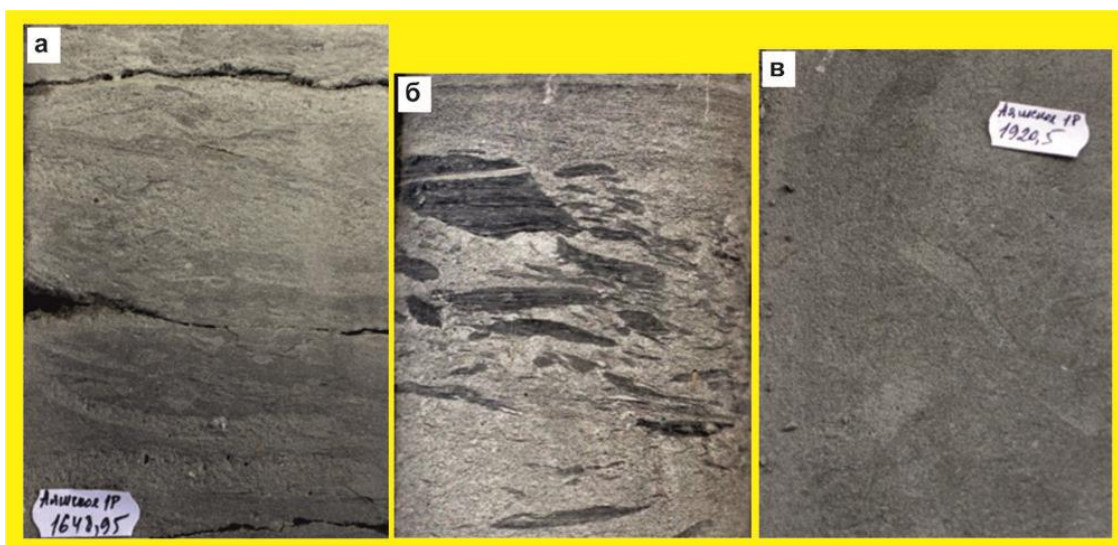


Рис. 8. Фотоснимки керн-образцов фации средней части предфронтальной зоны пляжа

а - туфопесчаник мелкозернистый массивный с текстурами биотурбации Rh. Пласт XIX; б - туфопесчаник мелкозернистый с интракластами аргиллитов таблитчатой формы, расположенных преимущественно по напластованию, биотурбированный; в - туфопесчаник мелкозернистый практически однородный (массивный). Пласт XXIII.

Нижняя часть предфронтальной зоны пляжа отличается от верхней по текстурно-структурным признакам. Мощность отложений фации составляет от 1,1-5,2 м до 22,2-27,2 м. Фация установлена повсеместно на протяжении всего рассматриваемого интервала.

Породы представляют собой тонко-мелкозернистые, иногда алевритистые туфопесчаники с многочисленными прерывистыми слойками туфогенного (пеплового) материала и с характерными текстурами (по мере убывания): биотурбации, линзовидно-волнистой и волнистой слоистости, массивной, субгоризонтальной и пологонаклонной слоистости в участках переслаивания туфогенных песчано-алевритовых и алеврито-глинистых пород, редко в туфоалевролитовых прослоях с линзовидно-слоистой текстурой (рис. 9).

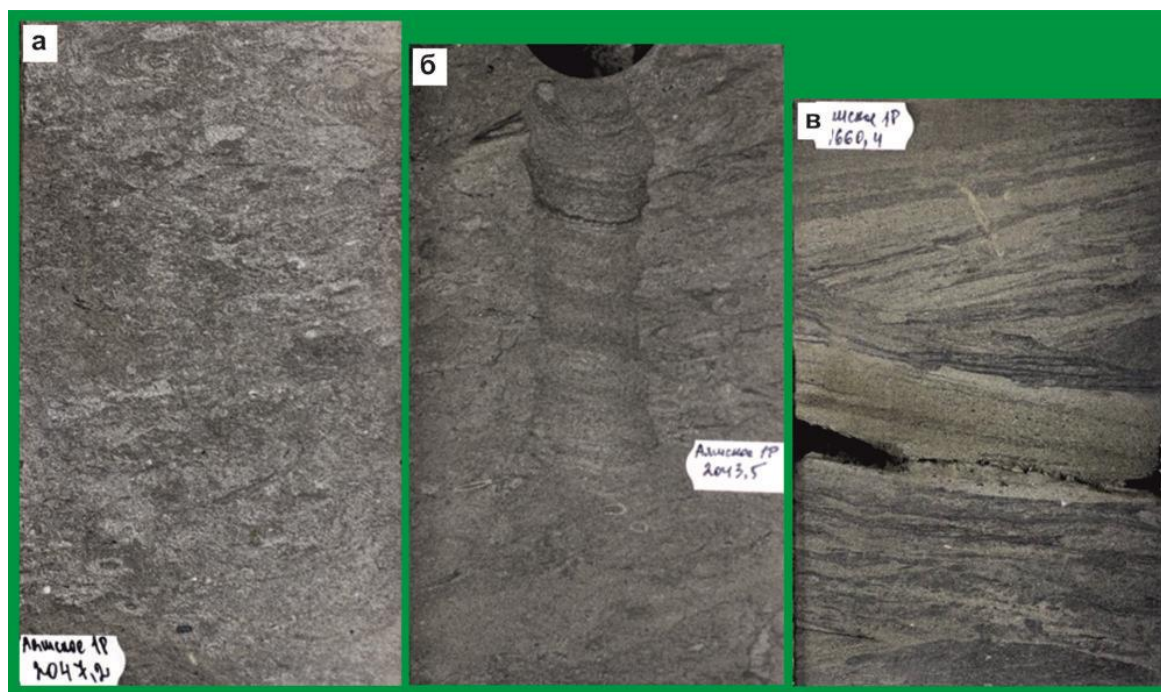


Рис. 9. Фотоснимки керна фации нижней части предфронтальной зоны пляжа

а - туфопесчаник тонкозернистый линзовидно-волнисто-слоистый биотурбированный ходами *Ph*, *Schaubcyul*, *Te*, *Sc*, *As*, *Th*, с карбонатным цементом, пласт XXIV; *б* - крупный ход *Teichichnus* в песчанике тонко линзовидно-волнисто-слоистом интенсивно биотурбированном с прерывистыми тонкими глинистыми слойками, пласт XXIV; *в* - туфопесчаник тонкозернистый линзовидно-косослоистый со слойками туфогенного материала, биотурбированный *Ph*, *Sc*, *Tb*, *As*, *Ro*? Пласт XIX.

Нижняя предфронтальная зона пляжа характеризуется наибольшей интенсивностью биотурбации ихнофаций *Proximal*, реже *Distal Cruziana* (*Phycosiphon*, *Helminthopsis*, *Scolicia*, *Schaubcylindrichnus*, *Terebellina*, *Asterosoma*, *Thalassinoides*, *Conichnus*, *Rosselia*, *Planolites*), которая изменяет первичный текстурный рисунок. Встречаются единичные вертикальные крупные (в поперечнике до 3 см) протяженные (до 45 см) ходы двустворчатых моллюсков *Siphonichnus*.

Переходная зона пляжа представлена, как правило, чередованием туфоалевролитов глинистых, песчаных с линзами туфопесчаника тонкозернистого (рис. 10). Осадки отлагаются между базисом слабых и штормовых волн в относительно гидродинамически спокойной среде осадконакопления при дефиците поступления осадков крупноалевритовой и песчаной размерности, временами нарушаемой действиями штормов и сильных волнений.

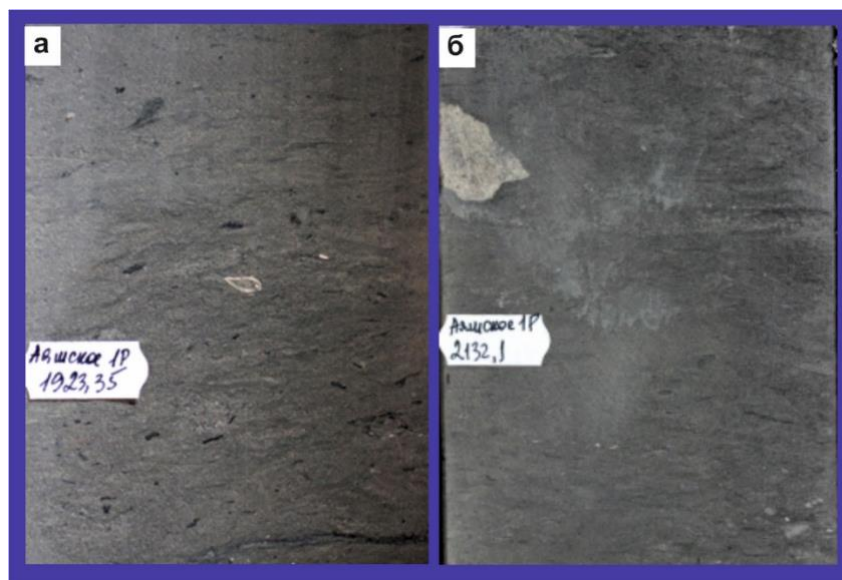


Рис. 10. Фотоснимки керна фации переходной зоны пляжа

а - туфоалевролит с нечеткими линзочками глинистого материала, с раковинным и углефицированным детритом, интенсивно биотурбированный, пласт XXIII; туфоалевролит с нечеткими линзочками глинистого материала, с раковинным и углефицированным детритом, интенсивно биотурбированный, пласт XXIII; *б* - туфоалевролит интенсивно биотурбированный с крупным угловатым обломком кислого эффузива, пласт XXV.

Мощность отложений переходной зоны, встречающихся повсеместно на протяжении всего интервала отбора кернового материала скв. 1 Аяшская, составляет от 1,1-4,7 м до 13,2 м. Наиболее распространена линзовидно-слоистая текстура. В песчаных прослоях наблюдается волнистая и косая разнонаправленная (бугорчатая) слоичатость ряби волнения, являющаяся характерной чертой темпеститов. Часто первичные осадочные текстуры осложнены биотурбацией, интенсивность которой оценена как средняя. Биотурбация представлена как вертикальными, так и горизонтальными ходами илоедов *Proximal* и *Distal Cruziana* (*Scolicia*, *Asterosoma*, *Schaubcylindrichnus*, *Thalassinoides*, *Terebellina*, *Phycosiphon*, *Helminthopsis*). Отмечаются раковинный детрит, обломки раковин двустворчатых моллюсков. Встречаются обломки метаморфических пород кремнистого и слюдясто-кремнистого составов. Характерной особенностью является пониженное количество пирокластического материала - до 5-18%.

Смена обстановок осадконакопления в разрезе нижненутовского подгоризонта носит

циклический характер, что подтверждает характеристика распределения фаций в пределах кровельных частей пластов, представленных керном (рис. 11). При сохранении вверх по разрезу скважины общего тренда увеличения песчаности как результата обмеления бассейна, локально картина может несколько отличаться. При этом, традиционно используемые в таких случаях электрометрические (ПС - потенциалов собственной поляризации) и радиоактивные (ГК – гамма-каротаж) методы ГИС не позволяют надежно прогнозировать генезис пород вне охарактеризованных керном интервалов разреза. Причиной тому, по-видимому, являются нечеткие границы в гранулометрических характеристиках пород, обусловленные обилием глинистого материала (рис. 12).

Пласт	Отбор керна, м	Распределение фаций в интервале отбора керна, %	Интервалы без отбора керна, м
XIX	27	46,7 38 15,3	84,8
XXI	50,2	43,4 32,3 24,3	87,8
XXIII	27,3	6,9 30,1 63	90,9
XXIV	27,2	100	60,6
XXV	27	82,2 17,9	

■ 1 ■ 2 ■ 3

Рис. 11. Распределение фаций в пределах интервалов отбора керна из конкретных пластов нижненутовского подгоризонта

Предфронтальная зона пляжа средняя - 1, нижняя - 2; переходная зона - 3.

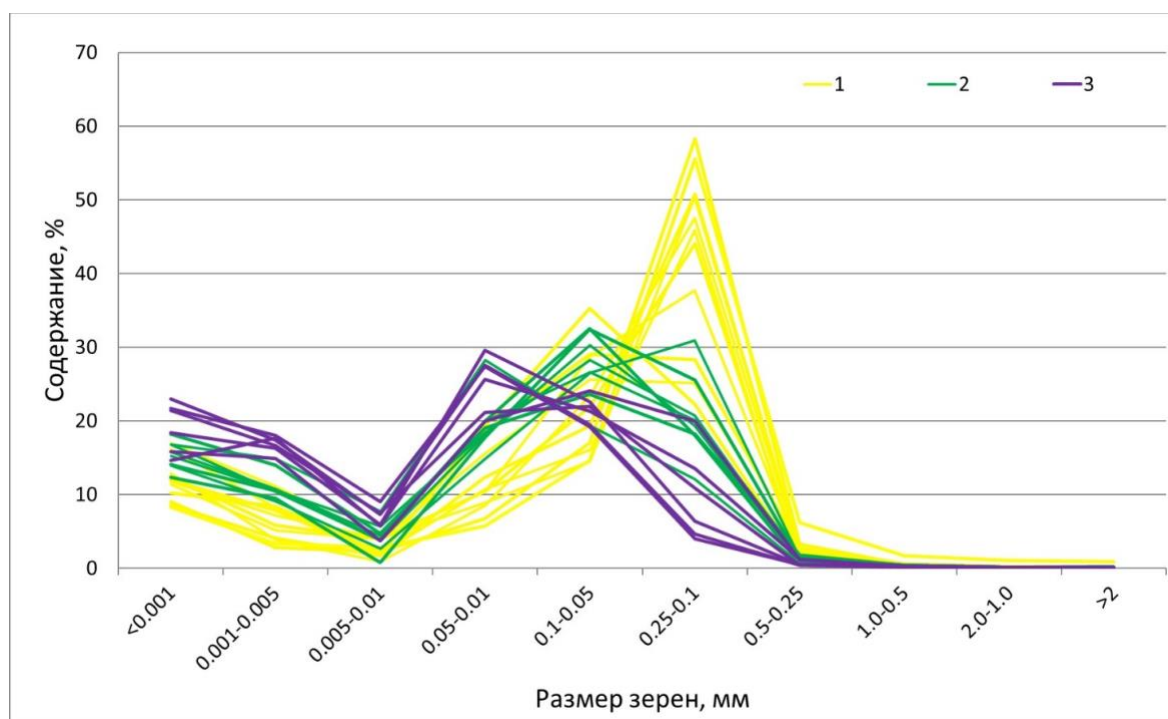


Рис. 12. Кривая распределения гранулометрических фракций пород пласта XXI

Фации: 1 - средняя предфронтальная зона пляжа, 2 - нижняя предфронтальная зона пляжа, 3 – переходная зона.

Обсуждение результатов

Специфика процессов седиментации нижненутовского подгоризонта связана с несколькими факторами. Так, обилие пирокластического материала и частичное сохранение таких неустойчивых в экзогенных условиях компонентов, как основные эффузивы и минералы основных интрузивных пород, позволяют предположить ограниченное проявление химического выветривания и механического переноса. Эти факты указывают на значительное влияние расположенных поблизости вулканических очагов эруптивного\эксплозивного типа островодужных систем (вероятно, Восточно-Сахалинская горная система), а также на большую скорость поступления осадочного материала и быстрое его захоронение.

Вулканическая деятельность проявлялась в течение всего миоцена, однако отложения северной части о-ва Сахалин в целом содержат менее всего туфовых пластов в регионе [Гречин, 1976]. Центры вулканической деятельности на о-ве Сахалин располагались в пределах современной его территории, к востоку или к западу от нее в непосредственной близости и приурочены к локальным участкам островной суши.

Наблюдения за современным вулканом Жупановский (Камчатка, 2013-2016 гг.) показали зависимость состава пепла от эпизодов (этапов) извержений, а не от их интенсивности [Горбач и др., 2018]. Протяженность пеплового шлейфа при сохранении высокой плотности пеплового облака может достигать 70-120 км (рис. 13). Наблюдается определенная зональность в распределении пирокластического материала: ближе к вулканам отлагался грубообломочный, главным образом кристалло-литокластический материал, по составу обычно более основной, чем разносившийся дальше тонкий витрический пепел. На удалении от жерла вулкана, в целом, сокращается мощность пепловых прослоев и суммарное содержание пепла (см. рис. 13).

В зоне активного волнового воздействия предполагалась хорошая окатанность пеплового материала и стирание различий с терригенным материалом, однако, современные исследования показали, что края фрагментов вулканического стекла исландского вулкана Эйяфьядлаёкюдль (извержение в апреле 2010 г.) оставались острыми и при двухнедельной обработке водой вне зависимости от размеров (от субмиллиметрового до десятков нанометров). Поэтому при анализе удаленности от жерла вулкана ориентироваться только на размерность пирокластического материала нельзя, особенно это относится к пепловым частицам. Установлено, что и вблизи вулкана, и на удалении в десятки километров из пеплового облака осаждаются схожий по размерности материал, но в разных количествах, и именно количество пепловых частиц в породе отражает расстояние от источника.

Значение вулканизма в процессе седиментации не исчерпывается поставкой

кластического материала. Нельзя не учитывать эффект затухания волн за счет трения пепловой взвеси, приводящей к ослаблению волновой дифференциации осадка, что и наблюдается в керне. Также сорбированные пеплом водорастворимые соединения могли приводить к подкислению морских вод, усилению коагуляции глинистых частиц и быстрому их осаждению. Как оказалось, соли, покрывающие и сорбированные на частицах пепла, очень быстро переходят в раствор - часто для этого достаточно 15 сек [Малик, 2019]. Но при этом, соотношение водорастворенных веществ не постоянно и зависит от типа и стадии извержения, состава магмы и гранулометрического состава пепла.

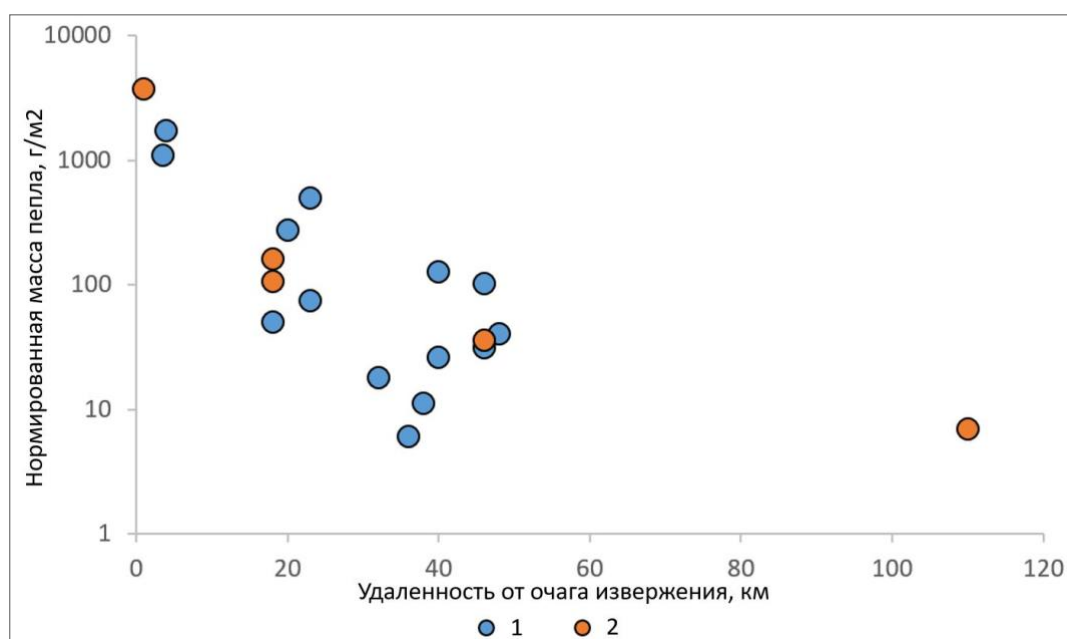


Рис. 13. Распределение пепла (г/м^2) из пеплового облака на удалении от кратера вулкана (м) для современных вулканов полуострова Камчатка (по результатам [Малик, 2019])
Первый ряд – пепел обычной плотности, второй ряд – пепел плотный.

На ускорение коагуляции также влияет повышение температуры. Для Сахалина В.И. Гречин (1976 г.), для Камчатки А.И. Челебаева (1971 г.) по анализу флоры предположили существование в неогене умеренно теплого климата. По данным американских и японских геологов, основанных на изучении флоры, в Северной Америке (на территории северо-западных штатов США и Аляски) и Северной Японии в течение миоцена господствовал умеренный климат, испытывавший колебания от умеренно теплого до умеренно холодного (J.A.Wolfe, D.M. Hopkins, 1967 г., Т. Tanai, К. Huzioka, 1967 г.). Существует и другая точка зрения. По мнению Л.А. Зенкевича (1963 г.), климат Камчатки и Сахалина в миоцене оценивается как бореальный, что согласно биогеографическому районированию вод Мирового океана в северном полушарии соответствует умеренно северной (бореальной) зоне.

Ускоренный процесс коагуляции тонкодисперсного пеплового материала и глинистых компонент мог приводить к их одновременному осаждению совместно с псаммитовыми фракциями. Этот факт может объяснять смешанный литологический состав пород и большое количество пелитовой фракции в породах вне зависимости от фациальной приуроченности.

Минеральная зрелость пород, состав терригенных минеральных ассоциаций, в том числе глинистых минералов, относительно свежий облик обломочных компонентов позволяют предполагать отсутствие мощных зрелых кор выветривания на прилегающей суше, с которой происходил основной снос материала, и высокую скорость как накопления, так и захоронения осадка. Обзор скоростей осадконакопления устьевого взморья и прилегающих территорий по литературным данным приведен в табл. 2. За неимением палеонтологических определений возраста оценить скорость накопления нутовского горизонта можно только приблизительно - 400 мм/тыс. лет, что согласуется с удаленными частями авандельта, учитывая размер палеорек - Палеоамур и Палеоамгунь.

Таблица 2

Обзор опубликованных данных по скоростям осадконакопления в условиях устьевого взморья (дельтовые системы) и прилегающих территорий бассейна

Обстановки	Бассейн	Скорость седиментации, мм/тыс. лет			Автор, год
		мин	макс	средняя	
вблизи гор	Черное море		400		А.Д. Архангельский, Н.М. Страхов (1938)
дельта Волги	Каспийское море	5	70		Б.А. Аполлов (1963)
вблизи дельт крупных рек	Аральское море	5000	25000		В.П. Зенкович (1947)
дельта	дельта Миссисипи			100	Olsen (1978)
				5000	Olsen (1978)
пальчиковые бары	дельта Миссисипи	4000	5000		В.А. Бабадаглы, А.Д. Джумагулов (1982)
Бенгальская дельта	Бенгальский залив		50000		Olsen (1978)
взморье Дуная	Черное море			11,5	Н.Ю. Мирзоева, С.Б. Гулин, И.Г. Сидоров, Л.В. Гулина (2013)

Мелководно-морские условия седиментации косвенно подтверждаются развитием дискретных карбонатных тел – конкреций, стяжений кальцитового состава. «Затравками» для конкреций по наблюдениям в керне служит вулканокластический материал псефитовой размерности и биокласты. Данное явление в кайнозойских отложениях Сахалина отмечается в работе Ю.Б. Гладенкова и др. (2002 г.), где указывается на широкое развитие вторичной карбонатизации. Авторы данного исследования отмечают следующую закономерность: «В

направлении от пресноводно-континентальных отложений (снежинкинская свита) к прибрежно-морским (краснопольевская свита) и к морским относительно более глубоководным (такарадайская свита) состав конкреций изменяется от существенно сидеритового до кальцитового» (см. рис. 7). Таким образом, формирование отложений, вмещающих конкреции, может быть более глубоководным, чем прибрежно-морское. В свою очередь, низкая магнизиальность кальцита указывает на его преимущественно хемогенное образование, вероятно, на стадии позднего диагенеза – раннего катагенеза.

Концептуальная модель обстановок осадконакопления

Большое влияние на осадконакопление в переходной и мелководной обстановках оказывают внешние (по отношению к системе седиментации) факторы, такие как колебания относительного уровня моря, климатические изменения, местные тектонические подвижки, включая изостатические процессы и др. Они существенно влияют на темп осадочного процесса и контролируют последовательность смены фаций по площади и разрезу, особенно для континентальных окраин по геодинамическим критериям, относимым к активным.

Согласно региональным данным, характер седиментации Северо-Сахалинского осадочного бассейна в миоценовое время определялся наличием мощных подводных систем поступления в мелководное окраинное море терригенного материала: дельт Палеоамура и Палеоамгуни. Определение питающей провинции и источников сноса посредством минералогических, изотопных и прочих исследований не входило в задачи данной работы и требует дальнейшего предметного изучения. Источник сноса в ранненутовское время, предположительно, находился с восточной стороны о-ва Сахалин, а в поздненутовское время источник смещался севернее.

Изменения уровня моря во время осадконакопления нижненутовского подгоризонта имели незначительные амплитуды, существенное увеличение уровня начинается в поздненутовское время (мессинский ярус). В климатическом плане это время слабого потепления между вторым и третьим неогеновым оптимумом, определенным для Камчатки Ю.Б. Гладенковым (2002 г.).

В общем виде модель седиментации отложений нутовского горизонта миоцена представляет собой модель волнового/штормового побережья. Следы штормов в изучаемых осадках повсеместно нивелированы высокой активностью донных организмов, проявленной в интенсивной биотурбации. Современные наблюдения на северо-востоке Сахалина зафиксировали ритмичность штормов с периодом повторяемости 1 год, 10 и 100 лет, которая приводит к переотложению осадка с бенча в область берегового склона, что тоже может служить дополнительным источником поступления обломочного материала. Следует

отметить, что вулканогенно-хемогенные следы подводного вулканизма в изучаемых образцах керна не обнаружены.

Учитывая все факторы и особенности осадконакопления нижненутовского подгоризонта, определенные по керну скв. 1 Аяшская и изложенные выше, а также предыдущие региональные палеогеографические реконструкции ([Гладенков, 2002; Маргулис, 2010] и др.) предложена общая схема седиментации с отражением структурно-вещественных и текстурных параметров отложений (рис. 14).

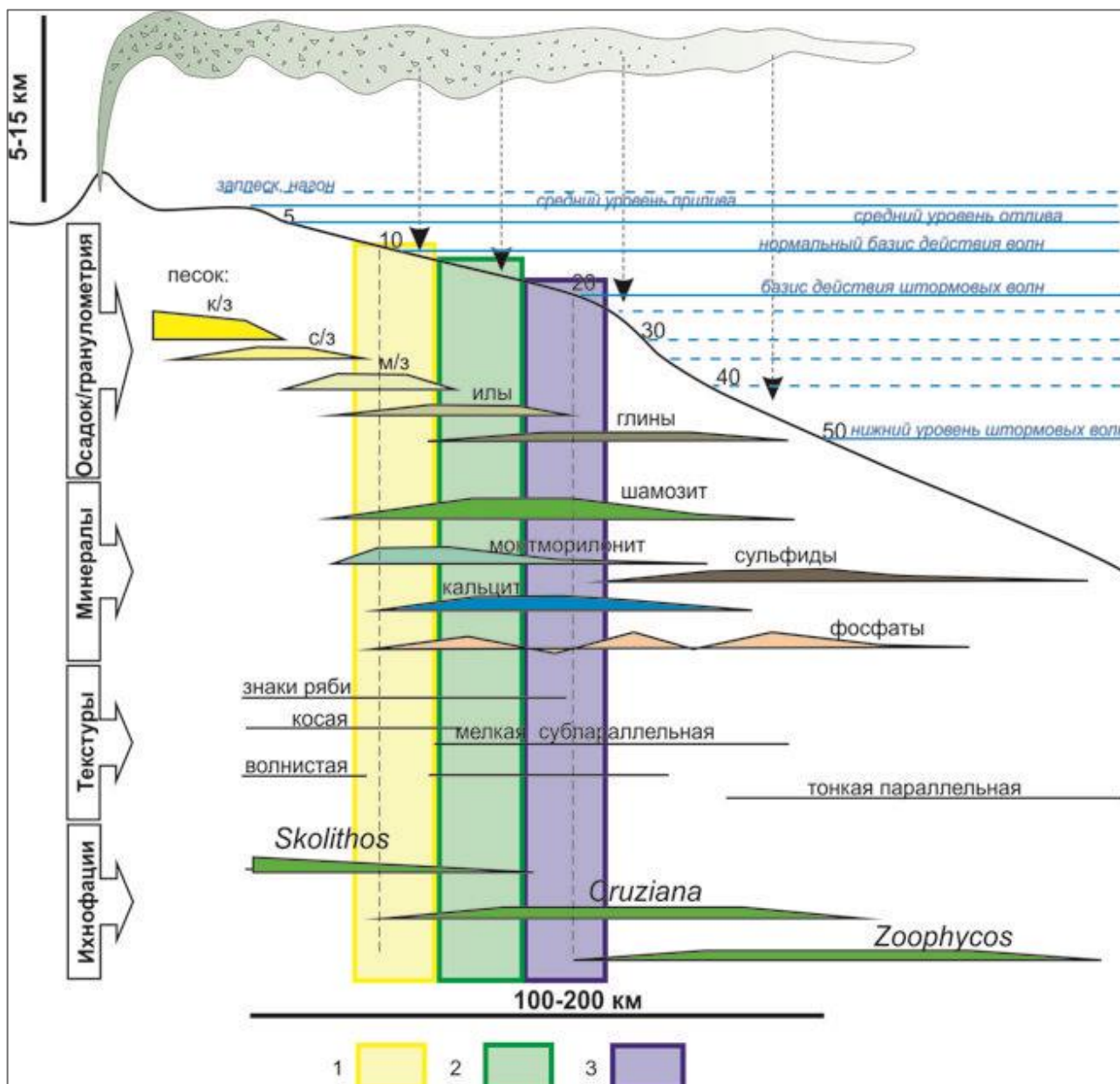


Рис. 14. Концептуальная модель накопления нижненутовского подгоризонта

Фаши: 1 – песчаники средней части предфронтальной зоны пляжа, 2 – песчаники нижней части предфронтальной зоны пляжа, 3 – алевриты песчаные переходной зоны.

Однотипность пород, слабая изменчивость обстановок осадконакопления по вертикали в пределах соседних пластов являются следствием равной степени интенсивности привноса седиментационного материала и динамики приемного бассейна, приводящей к увеличению аккомодационного пространства. Другими словами, прогибание дна бассейна полностью компенсировалось объемом материала, поступающего с берега и из пепловых облаков. Только в верхах изученного разреза ритмично увеличивается доля песчаных отложений, накопленных в средней части предфронтальной зоны пляжа, что свидетельствует о неполной компенсации. Ритмы имеют постепенные переходы и разную мощность, связь их с эвстатическими колебаниями не очевидна. Такое строение нижненутовской толщи в целом объясняется аградационно-проградационным характером цикличности.

Также рассмотрена альтернативная версия прогибания дна бассейна. Она основана на том, что прогибание могло происходить за счет усадки мощных олигоцен-среднемиоценовых толщ глинистых пород прodelьты, описывающих этап некомпенсированного построфтового опускания дна бассейна. По современным наблюдениям за дельтой Миссисипи, прогибание ежегодно может составлять 2-7 мм.

Выводы

Авторами принята концептуальная модель седиментации на периферийной части фронта дельты Палеоамура и (или) Палеоамгуни при постепенном наращивании аккомодационного пространства за счет прогибания бассейна с регулярным привносом седиментационного материала (в том числе вулканокластического), что привело к накоплению мощных литологически однородных выдержанных вулканогенно-осадочных толщ. Неполная компенсация наблюдается только в верхних пластах, о чем свидетельствует некоторое обмеление и опесчанивание разреза.

Обстановки осадконакопления охарактеризованной керном части разреза нижненутовского подгоризонта в пределах Аяшской структуры представляют неполный седиментационный профиль волнового побережья: от фаций переходной зоны до средней и нижней предфронтальной зоны пляжа. На основании региональных закономерностей седиментации отложений среднего-верхнего миоцена и косвенных геолого-геофизических данных бурения можно предположить расширение фациального ряда отложений кровельной части нутовского горизонта до обстановок средне-верхней предфронтальной зоны пляжа. Выполненные исследования позволяют по-новому и с большим оптимизмом взглянуть на перспективы нутовского горизонта центральной части Северо-Сахалинской НГО.

Авторы выражают благодарность специалистам ООО «Нефтеком» и ООО «Петройл» за предоставление необходимых материалов литологических исследований керна.

Литература

Гайнанишин Р.Н., Логвиненко Н.В., Жуковская Е.А., Сначев М.В., Литвин В.В., Таныгин И.А. Шельф о. Сахалин – новые горизонты // Нефтяное хозяйство. - 2018. - №12. - С. 22-24.

Гладенков Ю.Б., Баженова О.К., Гречин В.И., Маргулис Л.С., Сальников Б.А. Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность. - М., 2002. - 225 с.

Горбач Н.В., Плечова А.А., Маневич Т.М., Портнягин М.В., Философова Т.М., Самойленко С.Б. Состав вулканических пеплов и динамика извержения вулкана Жупановский в 2013-2016 гг. // Вулканонология и сейсмология. - 2018. - №3. - С. 3-20.

Гречин В.И. Миоценовые Отложения Западной Камчатки (седиментация и катагенез). - М.: Изд-во «Наука», 1976. – 140 с.

Захарова М.А. Карбонатные конкреции палеогенового разреза Сахалин. Стратиграфия, литология и палеография мезо-кайнозойских отложений Дальнего Востока // Сборник научных трудов. - Владивосток, 1975. - Вып. 36. - С. 105-110.

Зенкевич Л.А. Биология морей СССР. Акад. наук СССР. Ин-т океанологии. - М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963. - 739 с.

Кузнецов В.Г. Осадочные горные породы и их изучение. - М., 2007. - 511 с.

Малик Н.А. Пеплы извержений вулканов Камчатки (2006-2013 гг.): состав, масса и водорастворимый комплекс // Автореферат дис. на соиск. учен. степ. кандидата геол.-минер. наук. - Петропавловск-Камчатский, 2019. - 28 с.

Маргулис Л.С. Секвенс-стратиграфия и нефтегазоносность Охотского региона // Автореф. дис. на соиск. учен. степ. док. геол.-минер. наук. - СПб., 2002. - 50 с.

Середин В.В., Каченов В.И., Ситева О.С., Паглазова Д.Н. Изучение закономерностей коагуляции глинистых частиц // Фундаментальные исследования. - 2013. - № 10 (часть 14). - С. 3189-3193.

Тугарова М.А., Жуковская Е.А. Атлас типовых фаций / Под науч. ред. Б.В. Белозерова. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2019. - 142 с.

Челебаева А.И. Вопросы стратиграфии континентального кайнозоя Камчатки. - Л.: Наука, 1971. - 105 с.

Шейн В.С., Игнатова В.А. Геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Дальнего Востока. - М., 2007. - 177 с.

Zhukovskaya E.A., Snachev M.V.

Gazpromneft Science and Technology Center, St. Petersburg, Russia,
Zhukovskaya.E.A.@gazpromneft-ntc.ru, Snachev.MV@gazpromneft-ntc.ru

Kosmynin V.A.

Gazprom Neft Shelf, St. Petersburg, Russia, Kosmynin.VA@gazprom-neft.ru

Gaynanshin R.N.

Gazpromneft Science and Technology Center, St. Petersburg, Russia,
Gaynanshin.RN@gazpromneft-ntc.ru

THE DEPOSITIONAL MODEL OF LOWER NUTOV SECTION, NEPTUNE FIELD (NORTH-EASTERN PART OF THE SAKHALIN SHELF)

The article concerns the lithological study of the Lower Nutov (Upper Miocene) rocks penetrated by the Neptune's field (North Sakhalin petroleum Province) discovery well. According to litho- and ichnofacies core samples analyses of the well Ayashsk-1, the depositional environment system of considered sequences was specified. The sedimentary scheme subscribes a partial facies description of a wave-dominated coast: from the transitional zone to the mid and lower shoreface. Most likely supposed environments are confined to the peripheral area of the Paleo-Amur Delta. The article emphasizes the analysis of the volcanic eruption impact on the formation of sedimentary strata, as well as to pyroclastic material distribution features.

Keywords: Lower Nutov Sub-Formation, depositional model, shallow-marine facies, volcanoclastic sedimentary rocks, Miocene, Paleo-Amur Delta, North Sakhalin petroleum Province.

References

Chelebaeva A.I. Voprosy stratigrafii kontinental'nogo kaynozoya Kamchatki [Questions of stratigraphy of the continental Cenozoic strata of the Kamchatka Peninsula]. Leningrad: Nauka, 1971, 105 p.

Gaynanshin R.N., Logvinenko N.V., Zhukovskaya E.A., Snachev M.V., Litvin V.V., Tanygin I.A. *Shelf o. Sakhalin - novye gorizonty* [Shelf of the Sakhalin Island - New perspectives]. Neftyanoe khozyaystvo, 2018, no. 12, pp. 22-24.

Gladnikov Yu.B., Bazhenova O.K., Grechin V.I., Margulis L.S., Sal'nikov B.A. *Kaynozoy Sakhalina i ego neftegazonosnost'* [Cenozoic rocks of the Sakhalin Island and their petroleum potential]. Moscow, 2002, 225 p.

Gorbach N.V., Plechova A.A., Manevich T.M., Portnyagin M.V., Filosofova T.M., Samoylenko S.B. *Sostav vulkanicheskikh peplov i dinamika izverzheniya vulkana Zhupanovskiy v 2013-2016 gg.* [Composition of volcanic ash and history of the eruption of the Zhupanov Volcano in 2013-2016]. Vulkanologiya i seismologiya, 2018, no. 3, pp. 3-20.

Grechin V.I. *Miotsenovye Otlozheniya Zapadnoy Kamchatki (sedimentatsiya i katagenez)* [Miocene section of the Western Kamchatka (Sedimentation and catagenesis)]. Moscow: Izd-vo «Nauka», 1976, 140 p.

Kuznetsov V.G. *Osadochnye gornye porody i ikh izuchenie* [Sedimentary rocks and their study]. Moscow, 2007, 511 p.

Malik N.A. *Peply izverzheniy vulkanov Kamchatki (2006-2013 gg.): sostav, massa i vodorastvorimyy kompleks* [Ashes of Volcanic Eruptions in the Kamchatka Peninsula (2006-2013): Composition, mass and water-soluble compounds] Avtoreferat dis. kandidata geol.-miner. nauk. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2019, 28 p.

Margulis L.S. *Sekvens-stratigrafiya i neftegazonosnost' Okhotskogo regiona* [Sequence-stratigraphy and petroleum potential of the Okhotsk Region]. Avtoreferat dis. na soiskanie uchen. step. dok. geol.-miner. nauk. St. Petersburg, 2002, 50 p.

Seredin V.V., Kachenov V.I., Siteva O.S., Paglazova D.N. *Izuchenie zakonomernostey koagulyatsii glinistyykh chastits* [Studying the laws of coagulation of clay particles]. Fundamental'nye issledovaniya, 2013, no. 10 (part 14), pp. 3189-3193.

Shein V.S., Ignatova V.A. Geodinamika i perspektivy neftegazonosnosti osadochnykh basseynov Dal'nego Vostoka [Geodynamics and prospects of petroleum potential of sedimentary basins of the Far East]. Moscow, 2007, 177 p.

Tugarova M.A., Zhukovskaya E.A. *Atlas tipovykh fatsiy* [Atlas of typical facies]. Editor B.V. Belozerova. Moscow-Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy, 2019, 142 p.

Zakharova M.A. *Karbonatnye konkretnyye razreza Sakhalin. Stratigrafiya, litologiya i paleografiya mezo-kaynozoyevskikh otlozheniy Dal'nego Vostoka* [Carbonate concretions of the Sakhalin Paleogene cross-section]. Sbornik nauchnykh trudov. Vladivostok, 1975, issue 36, pp. 105-110.

Zenkevich L.A. *Biologiya morey SSSR* [Biology of the Seas of the USSR]. Moscow: Izd-vo Akad. nauk SSSR, 1963, 739 p.

© Жуковская Е.А., Сначев М.В., Космынин В.А., Гайнаншин Р.Н., 2020

