

ФИЗИКО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОЛИГОЦЕН-МИОЦЕНОВЫХ ФОРМАЦИЙ ОХОТСКО-КАМЧАТСКОГО БАССЕЙНА (к 85-летию профессора Юрия Константиновича Бурлина)

Е.Е. Карнюшина, Ю.К. Бурлин, Е.П. Свистунов, О.В. Крылов
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

С целью прогноза на различных глубинах физико-литологических свойств вулканогенно-осадочных формаций были изучены отложения олигоцен-миоценового возраста, вскрытые рядом скважин в Ичинском и Колпаковском прогибах Охотско-Камчатского нефтегазоносного бассейна. Выявлены взаимосвязи между температурно-флюидными условиями зоны катагенеза и изменением состава пород, их пористости, проницаемости, плотности, теплопроводности. Рассмотрены наложенные явления и особенности преобразований пород-коллекторов в пределах водно-углеводородных контактов залежей газа и газоконденсата. Показана зависимость физико-литологических свойств вулканогенно-осадочных пород и формирования нестационарного геотермического режима от характера вторичных структурно-минеральных новообразований. Статья посвящена руководителю этих работ – профессору Юрию Константиновичу Бурлину (1931-2011 г.г.). 12 октября 2016 года ему исполнилось бы 85 лет.

Ключевые слова: вулканогенно-осадочные породы, катагенез, наложенные явления, физико-литологические свойства, геотермический режим

DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.3>

Для цитирования: Карнюшина Е.Е., Бурлин Ю.К., Свистунов Е.П., Крылов О.В. Физико-литологические свойства олигоцен-миоценовых формаций Охотско-Камчатского бассейна (к 85-летию профессора Юрия Константиновича Бурлина). *Георесурсы*. 2017. Спецвыпуск. Ч. 1. С. 12-18. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.3>

Введение

С целью выявления генетических связей физико-литологических свойств различных типов пород с факторами катагенеза и наложенных процессов, рассмотренных ниже на примере кайнозойских толщ Западной Камчатки, обобщены материалы Тихоокеанской экспедиции геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и проектов РФФИ по проблеме нефтегазоносности западно-тихоокеанского региона (Архипов, Крылов, Свистунов, 1989; Бурлин и др., 2000; Бурлин и др., 2000 б; Карнюшина, 1988; 2000; Карнюшина, Супруненко, 1975; Агапитов и др., 1991; Свистунов, 1991; Свистунов, Крылов, 1996). Возглавлял эти работы Ю.К. Бурлин – профессор кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых. По его инициативе в конце XX века в МГУ было начато планомерное изучение теплофизических свойств нефтегазоносных формаций совместно с учеными кафедры геофизики Земли физического факультета МГУ с применением авторской методики Г.И. Петрунина, В.Г. Попова, А.В. Соскова (1996), которым авторы статьи глубоко признательны и благодарны за плодотворное сотрудничество.

Одним из основных объектов изучения был кайнозойский комплекс Охотско-Камчатского бассейна в Ичинском и Колпаковском прогибах (Рис. 1), где исследованные вулканогенно-осадочные отложения по принятой в работе стратиграфической схеме имеют олигоцен-миоценовый возраст (Гладенков и др., 1998).

Вулканогенно-осадочные разрезы изучены по керну глубоких скважин, что дало возможность получить



новые данные по различным аспектам состава, свойств и особенностям геотермического режима таких толщ. Нестационарный геотермический режим Камчатки и, в частности, Охотско-Камчатского бассейна был выявлен исследованиями 60-70-х годов XX века. Эти данные, обобщенные в каталоге (Веселов, Липина, 1982), также были учтены при характеристике теплового поля территории изучения.

В задачи работы входило исследование вещественного состава отложений и вторичных структурно-минеральных новообразований (СМН) в них под поляризационным микроскопом и комплексом прецизионных методов (Карнюшина, 1988), измерены пористость (общая – $P_{об}$, открытая – $P_{от}$, эффективная – $P_{эф}$), коэффициент проницаемости ($K_{пр}$), плотность (ρ) и теплопроводность (λ) пород. Для зоны катагенеза показаны современные геотермические и флюидные условия недр.

Обсуждение результатов исследования

В составе олигоцен-миоценовых формаций выделены две основные группы пород. Группа обломочных пород представлена разностями: 1 – вулканогенно-осадочными и 2 – терригенными с преобладанием вулканомиктовой составляющей (Табл. 1). Группа вулканогенно-биоогенно-осадочных пород представлена туфокремнистыми разностями (Табл. 2).

По соотношению основных типов пород выделены взаимозамещающиеся по вертикали и латерали формации: туффито-терригенная олигоцена-нижнего миоцена (>1200 м), включающая газоконденсатные залежи в Колпаковском прогибе; туффито-кремнистая олигоцена-среднего миоцена (до 800 м); средне-верхнемиоценовые

туффито-диатомитовая (до 800 м), туффито-песчаная (200–500 м) и верхнемиоценовая туффито-угленосная мощностью до 1250 м (Рис. 2). Две последние формации моласс содержат залежи газоконденсата и газа на Кшукском месторождении.

В катагенезе эти породы преобразуются вследствие формирования различных СМН, генетически связанных как со стадийными, так и с наложенными процессами в зоне водно-углеводородных контактов (ВУК) залежей. Катагенетическая зональность установлена по данным определения показателя отражения витринита ($R_a, \%$) углефицированных растительных остатков. Согласно шкале катагенеза (Неручев, Вассоевич, Лопатин, 1976),

преобразования изученных отложений соответствуют грациям от ПК_{1,2} до МК₃ ($R_a=8,8\%$). Палеотемпература углефикации ($T_{палео}$) в подзоне протокатагенеза достигает 90-100 °С, в диапазоне перехода к грации МК₃ она увеличивается до 140-170 °С (Мазор, 1985). Температура современная ($T_{совр}$) в разрезе Кшукского газоконденсатного месторождения возрастает сверху вниз от 25 до 140 °С. При расчете термодегрессии в современном тепловом поле территории учтены средние значения палеотемпературы углефикации.

Глубина современных границ подзон и граций катагенеза варьирует обычно в пределах 200-250 м в зависимости от палеотемпературного режима в пункте

Структура пород: размер обломков, мм	Вулканогенно-осадочные породы (содержание пирокластов, %)			Терригенные вулканомиктовые породы (пирокластов < 10–0%)
	Туфы (> 90–100)	Туффиты (> 10-50)		
		Ортотуффиты (≤ 90 – ≥ 50)	Паратуффиты (≤ 50 – ≥ 10)	
Песчаная: крупный 0,5-1 средний 0,25-0,5 мелкий 0,1-0,25	Туфы песчаные	Туффиты песчаные	Туфопесчаники	Песчаники
Алевритовая: крупный 0,05-0,1 мелкий 0,01-0,05	Туфы алевролитовые	Туффиты алевролитовые	Туфоалевролиты	Алевролиты
Пелитовая: < 0,01	Туфы пелитовые	Туффиты пелитовые (в т.ч. глинистые, кремнисто-глинистые)	Туфопелиты (в т.ч. глинистые, кремнисто-глинистые)	Глинистые

Табл. 1. Основные типы обломочных вулканогенно-осадочных и терригенных пород нефтегазоносных бассейнов Западной Камчатки (Карношина, 1988; с изменением)

Кремнистые породы	Компоненты пород (количество), микроструктура и ее изменения		
	Диатомеи	Вулканокласты	Матрикс
Туфодитомиты	30-70%, биоморфно-детритовая алевритовая, не изменена; в составе преобладает опал-А	10-15%, алевритовая; витро- и кристаллокласты изменены слабо	20-50% - опал-кристаллитовый глобулярный; глинистый чешуйчатый не упорядочен
Туфоопки	30-70%, реликтовая, биоморфно-детритовая алевритовая, в том числе тeneвая, перекристаллизована частично; в составе преобладает опал-КТ, есть кварц-халцедоновые	10-15%, пелитово-алевритовая; витрокласты девитрофицированы, кристалло- и литокласты изменены частично	20-50% - кристаллит-кварц-халцедоновый кристалломорфно-глобулярный; глинистый оптически ориентирован
Туфоопки перекристаллизованные	10-30%, реликтовая биоморфно-детритовая, тeneвая, перекристаллизована полностью; состав кварц-халцедоновый, замещены пиритом	10-15%, алевритово-пелитовая; витрокласты тeneвые, кристаллы и литокласты изменены в разной степени	20-50%, кварц-халцедоновый глобулярно-кристалломорфный; глинистый оптически ориентирован
Туфосилициты опоковидные	Не распознаваемы под поляризационным микроскопом, замещены халцедоном и кварцем	20-30%, алевритисто-пелитовая; витрокласты тeneвые, кристалло- и литокласты сильно изменены	70-80% - халцедон-кварцевый, кристалломорфный, участками глобулярно-кристалломорфный

Табл. 2. Основные типы вулканогенно-биогеогенно-осадочных кремнистых пород нефтегазоносных бассейнов Западной Камчатки (Карношина, 1988; с изменениями)

наблюдения. Более значительные различия по глубине связаны с размывом либо сокращением мощности отдельных частей толщ в тектонически активизированных блоках прогибов. Соответственно стратиграфический объем отложений, находящихся на изограциях катагенеза, будет различен.

В качестве типовой модели катагенетической зональности принят непрерывный разрез Кшукского газоконденсатного месторождения, находящегося в наиболее погруженной части Колпаковского прогиба (Рис. 1, 2).

Подзона протокатагенеза расположена на глубине от 300 до 1500-1700 м. Обычно это отложения среднего-позднего миоцена. В верхней половине разреза пластовые воды гидрокарбонатно-натриевые, ниже – хлоридно-кальциевые. Их минерализация меняется вниз по разрезу от 2 до 10,8 г/л. Пластовые давления близки к гидростатическим.

На Средне-Кунжикском месторождении в этой подзоне находится весь олигоцен-миоценовый разрез, подошва которого вскрыта на глубине 1899 м (скважина ГП-1). На Тваянском поднятии Ичинского прогиба верхняя часть моласс размыва в ходе позднекайнозойской инверсии, и ныне нижняя граница подзоны проходит на глубине 950 м. Средний геотермический градиент (ГТГ) и плотность теплового потока (ППП) составляют в Ичинском прогибе 3,5 °С/100 и 52 мВт/м², в Колпаковском прогибе – 4°С/100 м и 60 мВт/м² соответственно. На границе между грациями ПК1-2 и ПК3 на глубине 1000 м $T_{совр}$ 55° С, в подошве подзоны – 85°С ($T_{палео}$ 110°С).

Термодегрессия в интервале распространения газоносной толщи верхнего миоцена 25 °С.

Туффито-угленосная и туффито-песчаная формации сложены преимущественно ортотуффитами песчаными и алевролитовыми среднего состава. Обычно лито- и кристаллокласты этих пород в подзоне протокатагенеза окаймлены пленками (до пяти и более, общей толщиной до 0,06 мм) аутигенных глинистых минералов. Во внутреннем контуре пленки монтмориллонитовые, во внешнем – хлорит-монтмориллонитовые. Количество вторичного глинистого цемента достигает 30% и более. Он редуцирует межпоровые каналы и поры, которые частично заполнены более поздним кальцитом, кристаллами клиноптилолита и реже десмина. Вследствие механического уплотнения и рассеянных СМН в водонасыщенных туффитах-коллекторах P_{om} убывает вниз по разрезу от 46 до 20%. Ее среднее значение на градации ПК₁₋₂ – 40%, на градации ПК₃ – 30%. Коэффициент уплотнения ($K_{уп}$ – отношение объемной плотности к минералогической плотности) возрастает от 0,3 до 0,75, K_{np} изменяется прихотливо от сотых долей до 100-195 мД, преобладают значения 4-25 мД. Для туфоалевролитов слабо карбонатных, влагонасыщенных λ составляет 1,45 Вт/м·К, ρ – 1,84 г/см³, P_{om} – 22,3%, (скважина Средне-Кунжикская ГП-1, глубина 618,6 м).

Туфодиадомиты, встречающиеся в молассе Ичинского прогиба, имеют биоморфную структуру, содержат породообразующий опал-А до глубины 200-300 м ($T_{согр}$ 25-30° С). Плотность этих пород – 1,00-1,07 г/см³, P_{om} – до 50%.

В продуктивных пластах аутигенная глинизация туффитов относительно слабая, выражена облеканием вулканокластов одной или двумя пленками монтмориллонитового состава. Они частично крустифицированы цеолитами, которые не закрывают полностью поры и соединяющие их каналы. В туффитах песчаных основного-среднего состава P_{om} варьирует от 23,6 до 31,7% (в среднем 28,5%), эффективная пористость ($P_{эф}$) – от 3,2 до 18%. К кондиционным коллекторам относятся разности с содержанием глинистой компоненты менее 35% и значениями $P_{эф}$ и K_{np} не ниже 8% и 20 мД соответственно. Наиболее значительные, концентрированные СМН выражены контрастными изменениями туффитов в пределах зон древних и современных ВУК (Карнюшина, 2001; Карнюшина,

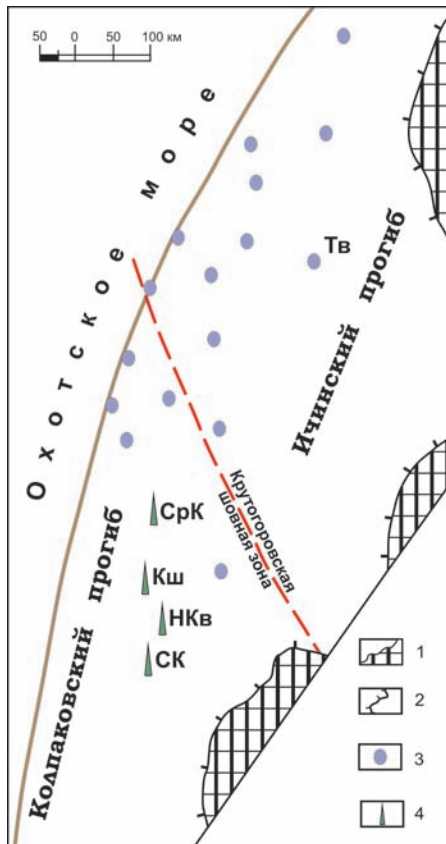


Рис. 1. Обзорная схема Ичинского и Колпаковского прогибов Охотско-Камчатского бассейна: 1 – выходы складчатого основания на поверхность, 2 – граница бассейна на суше, 3 – разбуренные локальные поднятия (Тв – Тваянская), 4 – газоконденсатные месторождения (СрК – Средне-Кунжикское, Кш – Кишукское, НКв – Нижне-Квакчикское, СК – Северо-Колпаковское)

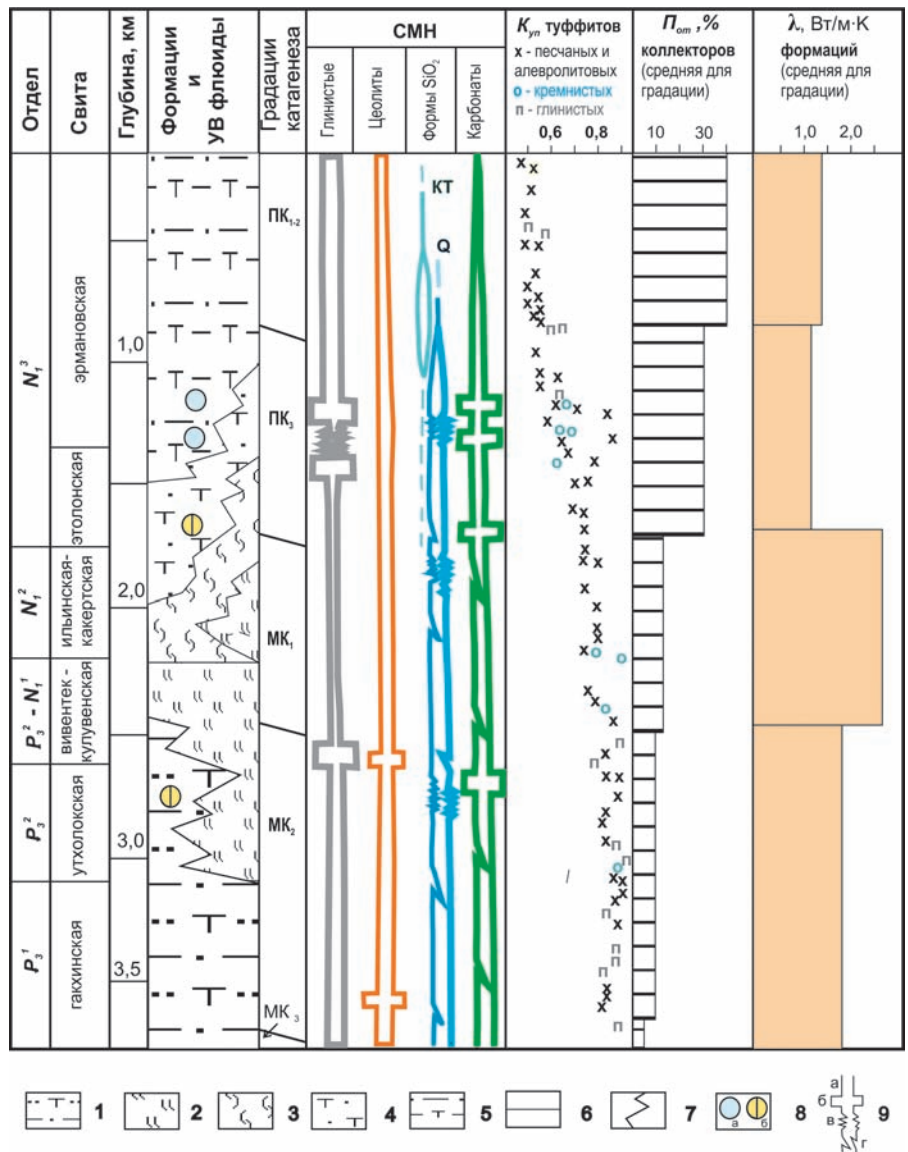


Рис. 2. Физико-литологические свойства олигоцен-миоценовых формаций Колпаковского прогиба на различных грациях катагенеза. 1-5 – формации: 1 – туффито-терригенная, 2 – туффито-кременная, 3 – туффито-диатомитовая, 4 – туффито-песчаная, 5 – туффито-угленосная; 6-7 – границы: 6 – стратонов, 7 – взаимозамещения формаций; 8 – залежи: а – газа, б – газоконденсата); 9 – структурно-минеральные новообразования (СМН): а – рассеянные, б – концентрированные, в – коррозия и выщелачивание, г – трещиноватость. Прочие обозначения см. в тексте

2012). В интервале 1190-1220 м Кшукского месторождения отмечаются коллекторы как разуплотненные, вследствие их выщелачивания, так и переуплотненные за счет метасоматической карбонатизации. $K_{\text{уп}}$ варьирует в них от меньше, чем 0,3 до 0,85, $\Pi_{\text{от}}$ составляет 35% и 5% соответственно. Покрышками залежей УВ являются пачки туфоглинистых пород толщиной 6-25 м. Структура этих пород алевропелитовая и алевро-фитопелитовая, состав существенно монтмориллонитовый ($\rho - 1,76-1,92 \text{ г/см}^3$, $\lambda - 1,14 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$).

Туффито-диатомитовая формация в подзоне протокатагенеза изменяется в основном вследствие трансформации биогенного SiO_2 и раскристаллизации витрокластов кислого состава. Смена форм SiO_2 и постепенное исчезновение биоморфной структуры в туфокремнистых породах наблюдались в разрезе Тваянского поднятия Ичинского прогиба (Рис. 1), где рассматриваемая формация залегает на глубине 500-950 м. В туфокремнистых породах до глубины 700 м ($T_{\text{совр}} - 48-50^\circ \text{C}$) преобладает опал-КТ и отмечаются следы опала-А. Ниже распространены халцедон-кварцевые формы кремнезема в туфоопоках с биоморфно-детритовой реликтовой и глобулярной микроструктурой основной массы. В пределах ранних градаций протокатагенеза ρ туфодиатомитов не превышает $1,32 \text{ г/см}^3$, в туфоопоках достигает $1,46 \text{ г/см}^3$, $\Pi_{\text{от}}$ убывает от 42 до 30% соответственно. $K_{\text{пр}}$ в туфокремнистых породах составляет 0,03-1,75 мД. Теплопроводность туфоопок низкая – $1,05 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ (Средне-Кунжикское месторождение, глубина 1110 м, ПТП – 55 мВт/м^2). По мере перехода к градации ПК₃ в Ичинском прогибе прослеживается изменение микроструктуры туфоопок и появление в них кристалломорфно-глобулярных участков со сферолитами халцедона, единичными реликтами пиритизированных диатомей.

Туффито-терригенная формация Средне-Кунжикского месторождения находится в подзоне протокатагенеза, в диапазон распространения которой на глубине 1400-1889 м входит утхолокская свита туффитовых и вулканомиктовых песчаников и алевролитов. В нижней части разреза на глубине 1830 м $T_{\text{совр}} - 72^\circ \text{C}$. В этой подзоне ГТГ составляет $4,2^\circ \text{C}/100$, ПТП – 67 мВт/м^2 . Сверху вниз по разрезу λ коллекторов увеличивается от $1,32$ до $1,76 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ (среднее – $1,43 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$). Наименьшее значение этого параметра соответствует находящимся в водонасыщенной части разреза туфоалевролитам ($\Pi_{\text{от}} - 30\%$). В залежи газоконденсата, расположенной на глубине 1402-1432 м наблюдается АВПД – 27 МПа. $\Pi_{\text{от}}$ коллекторов составляет 22-34% (в среднем 28%), $K_{\text{пр}}$ достигает 500 мД. Древний прогрессивный ВУК маркируется на глубине 1425 м увеличением содержания в алевролитовых туффитах вторичного карбонатного цемента до 15,2%, вследствие чего λ коллекторов возрастает до $1,65 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

Таким образом, в подзоне протокатагенеза исходный состав пород, характер флюидонасыщения, формы СМН, высокая открытая пористость, обуславливают теплоизолирующие свойства туффито-угленосной, туффито-песчаной и туффито-диатомитовой формаций, среднее значение λ которых – $1,21 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Относительное повышение средней величины этого параметра до $1,43 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ в туффито-терригенной формации Средне-Кунжикского

месторождения связано с распространением в ее пределах коллекторов с вторичным карбонатным цементом.

Подзона мезокатагенеза максимальной видимой толщиной 2007 м вскрыта в изученной части Колпаковского прогиба до глубины 3707 м ($T_{\text{совр}} - 140^\circ \text{C}$, $T_{\text{палео}} - 165^\circ \text{C}$, терморегрессия – 25°C). ГТГ убывает вниз по разрезу от $3,1^\circ \text{C}/100 \text{ м}$ до $2,0^\circ \text{C}/100 \text{ м}$. В этих геотермических условиях находятся туффито-кремнистая и туффито-терригенная формации. К последней из них приурочены газоконденсатные залежи Северо-Колпаковского, Нижне-Квакчикского и Кшукского месторождений. Пластовые воды хлоридно-кальциевого состава имеют минерализацию до 20 г/л, давление в залежах близко к гидростатическому.

Туффито-кремнистая формация представлена преимущественно перекристаллизованными туфоопоками циклично чередующимися с подчиненными по толщине туффитами песчаными, алевролитовыми и глинистыми. Перекристаллизованные туфоопоки обладают глобулярно-кристалломорфной микроструктурой основной халцедон-кварцевой массы. Пиритизированные разности, пронизанные густой сетью «волоосных трещин», заполненных кальцитом, слагают пачки толщиной более 100 м. СМН в туфобиогенно-кремнистых породах приводят к следующим изменениям их физических свойств: ρ составляет $2,12-2,38 \text{ г/см}^3$, $\Pi_{\text{от}} - 1,5-10,6\%$ (в среднем 5,5%), $K_{\text{пр}} - 0,04-1,0 \text{ мД}$. Наиболее значительно трансформации кремнезема сказываются на изменении теплопроводности туфокремнистых пород. На градации МК₁ в перекристаллизованных туфоопоках значения λ достигают $2,5-2,74 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ (скважина Кшукская П-4, интервал 2000-2500 м). Следовательно, теплопроводность туфокремнистых пород в подзоне мезокатагенеза увеличивается более чем вдвое по сравнению со значением этого параметра ($1,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) в вышележающей туффито-диатомитовой формации. ПТП достигает $83,2 \text{ мВт/м}^2$, что может быть объяснено конвективной передачей тепла в связи с эмиграцией УВ из туффито-кремнистой формации (Бурлин и др., 2000 б).

Туффито-терригенная формация, сложенная вулканомиктовыми граувакками и туффитами различного гранулометрического состава, находится в пределах градации МК₂ – начале градации МК₃ (глубина 2500-3707 м). Пачки песчано-алевроитовых граувакк и туффитов, неравномерно распределенные по разрезу, тяготеют к верхней части формации (утхолокская свита), имеют толщину от 20 до 50 м и являются коллекторами газоконденсатных залежей. В кровле этого разреза на Кшукском месторождении $T_{\text{совр}}$ достигает 110°C , среднее значение $T_{\text{палео}} - 135^\circ \text{C}$ (терморегрессия – 25°C). Терморегрессии наблюдаются над всеми газоконденсатными месторождениями Колпаковского прогиба (Бурлин и др., 2000 б).

Среди туффитов преобладают туфопесчаники и туфоалевролиты. Пирокластический материал в них представлен кристалло- и витрокластами среднего состава (плагиоклазы андезинового ряда, опацизированные роговые обманки, биотит, хлоритизированные вулканические стекла). Среди терригенных компонентов встречены окатанные обломки андезитов, фельзитов, реже зерна кварца, полевых шпатов, кварцита, кремнистых сланцев. В алевролитовых разностях отмечается примесь створок

диатомей, замещенных халцедоном, присутствует фюзенизированный растительный детрит, глауконит и пирит. Вторичные цементы – хлорит-монтмориллонитовый и карбонатный распределены неравномерно. Цеолиты – аутигенный десмин и возможно гидротермальный ломонтит, встречаются в верхней и нижней части разреза соответственно. В составе граувакк преобладают окатанные обломки измененных андезитов, характерно присутствие «плавающей» гальки туфов, цемент неравномерный – соприкосновения зерен, поровый кальцитовый и пленочно-поровый гидрослюдисто-хлоритовый.

Открытая пористость в описанных породах снижается вниз по разрезу от 23 до 2 % (ее средние значения на градациях МК₁ – 15%, МК₂ – 10%, МК₃ – 3%). К_{пр} в продуктивных пластах достигает 110-220 мД. Обычно же проницаемость не превышает 10-20 мД на общем фоне ее значений в десятки и сотые доли миллидарси, что контролируется исходным составом и СМН в породах-коллекторах. Этот контроль четко отражен в изменении величин их теплопроводности, варьирующей в пределах градации МК₂ от 1,66 до 2,44 Вт/м·К. Среди туффитов, идентичных по степени карбонатности (5-11%), выделяются две группы. В I группе λ имеет величину от 1,66 до 1,98 Вт/м·К (в среднем 1,84 Вт/м·К). Это туфопесчаники и туфоалевролиты, реже ортотуффиты с рассеянным типом СМН, представленных аутигенным глинистым пленочным и карбонатным неравномерно поровым цементом, с редкими кристаллами цеолитов на стенках пор. Во II группе, где преобладают ортотуффиты с концентрированными формами СМН, в том числе в различной степени пиритизированные, λ изменяется от 2,08 до 2,44 Вт/м·К (среднее – 2,25 Вт/м·К). Туфоаргиллиты хлорит-гидрослюдистые с варьирующим содержанием смешанослойных минералов в пределах градации МК₂ характеризуются ρ – 2,44 г/см³, λ – 1,68 Вт/м·К. На градации МК₃ в туфоаргиллитах ρ достигает 2,57 г/см³. Среднее значение λ для туффито-терригенной формации, имеющей контрастную теплопроводность, составляет 1,8 Вт/м·К.

Распределение физических свойств основных типов пород в зоне катагенеза бассейнов Западной Камчатки. Анализ изменений физических свойств кайнозойских толщ, изученных от Воямпольского прогиба на севере (Охотско-Камчатский бассейн) до Голыгинского прогиба на юге (Южно-Охотский бассейн) свидетельствует о разнообразии этого явления в туффитах различного состава и структуры (Рис. 3).

Туффиты песчаные и алевролитовые характеризуются неравномерным изменением параметров. Это происходит вследствие замещения монтмориллонитом и хлорит-монтмориллонитом метастабильных пирокластических компонентов ортотуффитов в подзоне протокатагенеза и некоторой стабилизации этого процесса в нижележащих отложениях, содержащих примесь биогенно-кремнистого и терригенного материала, а также отличающихся различными видами карбонатизации. Туффиты глинистые наиболее значительно преобразуются в подзоне мезоатагенеза, где их монтмориллонитовый состав сменяется хлорит-гидрослюдистым с переменным содержанием смешанослойных минералов. В катагенетическом ряду туфокремнистых пород параметры физических свойств

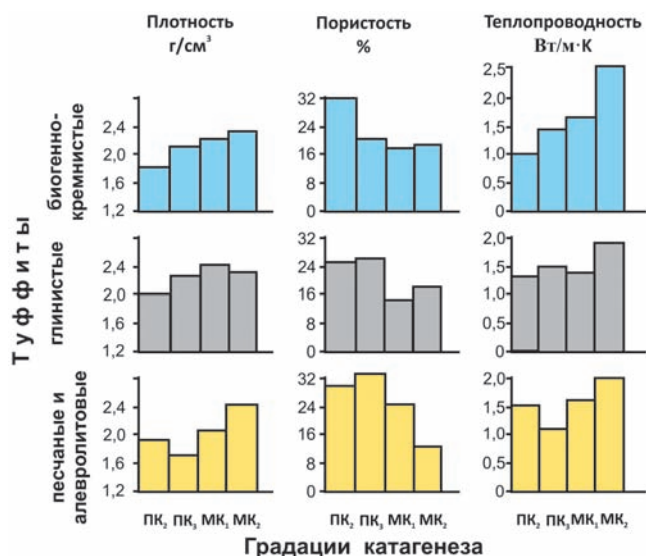


Рис. 3. Распределение физических свойств кайнозойских отложений в зоне катагенеза прогибов Западной Камчатки

изменяются однонаправленно. Средние значения их теплопроводности варьируют в изученном диапазоне градаций от 1,0 Вт/м·К до 2,5 Вт/м·К. Для других типов пород разброс величин λ не столь значителен: в туффитах песчаных и алевролитовых – 1,5-2,1 Вт/м·К, в туффитах глинистых – 1,4-1,84 Вт/м·К.

Выводы

Вторичные изменения физико-литологических свойств в рассмотренных вулканогенно-осадочных формациях Охотско-Камчатского бассейна происходили в основном под действием прогрессивного катагенеза и наложенных процессов в зоне водно-углеводородных контактов залежей газа и газоконденсата.

В подзоне протокатагенеза туффито-угленосная, туффито-песчаная и туффито-диатомитовая формации образуют теплоизолирующую толщу (λ в среднем 1,21-1,3 Вт/м·К) мощностью более 2000 м. В продуктивной части разреза туффито-терригенной формации на Средне-Кунжикском месторождении λ коллекторов увеличивается до 1,65 Вт/м·К в результате наложенных процессов карбонатизации на уровне прогрессивного древнего водно-углеводородного контакта.

В подзоне мезоатагенеза на градации МК₁ теплопроводность перекристаллизованных опок туффито-кремнистой формации (800 м) составляет в среднем 2,6 Вт/м·К вследствие трансформации опала-А и опала-КТ биогенного кремнезема в халцедон-кварцевую форму.

На градациях МК₂ – начале МК₃ туффито-терригенная формация (>1200 м) обладает контрастной теплопроводностью (1,66-2,44 Вт/м·К), зависящей от исходного типа пород и характера структурно-минеральных новообразований в них – рассеянных либо концентрированных. Среднее значение λ составляет 1,8 Вт/м·К.

Газоконденсатные залежи Колпаковского прогиба маркируются в тепловом поле отрицательными температурными аномалиями, выявленными по термодегрессии (средняя – 25°C) на различных глубинных уровнях зоны катагенеза.

Вторичные изменения физико-литологических свойств вулканогенно-осадочных толщ, миграция УВ и

продолжающееся в настоящее время формирование их залежей обуславливают в значительной мере современный нестационарный тепловой режим в изученных прогибах Охотско-Камчатского бассейна.

Литература

Агапитов Д.И., Архипов В.Е., Баженова О.К., Брыгалова Г.С., Иванов В.Ф., Карнюшина Е.Е., Крылов О.В., Мотовилов Ю.В., Свистунов Е.П., Шлыкова Т.М. Нефтегазоносность осадочных бассейнов северо-западной части Тихоокеанского пояса. Под ред. Ю.К. Бурлина. М: Изд-во Моск. ун-та. 1991. 112 с.

Архипов В.Е., Крылов О.В., Свистунов Е.П. Геотермия недр осадочных бассейнов Северо-Востока СССР. *Вестн. Моск. ун-та.* Сер. 4. 1989. № 6. С. 78-83.

Бурлин Ю.К., Карнюшина Е.Е., Петрунин Г.И., Попов В.Г., Свистунов Е.П., Сосков А.В. Геотермический и палеогеотермический режимы бассейнов Западной Камчатки. *Тепловое поле Земли и методы его изучения.* М: Изд-во РУДН. 2000 а. С. 80-85.

Бурлин Ю.К., Карнюшина Е.Е., Петрунин Г.И., Попов В.Г., Свистунов Е.П., Сосков А.В. Геотермические исследования при оценке перспектив нефтегазоносности (на примере бассейнов Камчатки и других регионов Дальнего Востока). Геология, методы поисков, разведки и оценки м-ний топливно-энергетического сырья: Обзор. Изд-во «Геоинформмарк». 2000 б. 40 с.

Веселов О.В., Липина Е.Н. Каталог данных о тепловом потоке Востока Азии, Австралии и Запада Тихого океана. *Владивосток: ДВНЦ АН СССР.* 1982. 122 с.

Гладенков Ю.Б., Сальников Б.А., Боровцев А.К., Бояринова М.Е., Воеводин Ю.Б., Волобуева В.И., Ковтунович П.Ю., Шанцер А.Е. Решения Рабочих Межведомственных региональных стратиграфических совещаний по палеогену и неогену восточных районов России – Камчатки, Корякского нагорья, Сахалина и Курильских островов. Объяснительная записка к стратиграфическим схемам. М: ГЕОС. 1998. 147 с.

Карнюшина Е.Е. Вулканогенно-осадочные породы нефтегазоносных бассейнов Северо-Востока СССР. М: Изд-во Моск. ун-та. 1988. 105 с.

Карнюшина Е.Е. Метасоматические явления в нефтегазоносных бассейнах. *Вестн. Моск. ун-та.* Сер. 4. 2001. № 3. С. 15-21.

Карнюшина Е.Е. Осадочные формации в зоне катагенеза нефтегазоносных бассейнов. Отв. ред. Т.Т. Клубова. М: АО «Институт Гидропроект». 2000. 96 с.

Карнюшина Е.Е. Основные причины возникновения зон карбонатной цементации в толщах нефтегазоносных бассейнов. *Вестн. Моск. ун-та.* Сер. 4. 2012. № 5. С. 47-49.

Карнюшина Е.Е., Супруненко О.И. Катагенез неогеновых отложений юго-западной Камчатки. Вопросы геологии и нефтегазоносности Востока СССР. Под ред. Ю.К. Бурлина, А.Я. Архипова, О.К. Баженовой. М: Изд-во Моск. ун-та. 1975. С. 61-65.

Мазор Ю.Р. Закономерности и геологические причины преобразования углей. Автореферат на соискание степени доктора геолого-минералогических наук. М: МГУ имени М.В. Ломоносова. 1985. 39 с.

Неручев С.Г. Вассоевич Н.Б., Лопатин Н.В. О шкале катагенеза в связи с нефтегазообразованием. *Тр. XV сессии МГК. Доклады советских геологов. Горючие ископаемые.* М: Наука. 1976. С. 47-62.

Петрунин Г.И., Попов В.Г., Сосков А.В. Методика восстановления теплофизических свойств влагонасыщенных осадочных пород по результатам исследования их сухих аналогов. В сб. Геология-3 (Программа «Университеты России»). Ред. кол.: А.Н. Тихонов, В.А. Садовничий и др. М: Изд-во Моск. ун-та. 1996. С. 123-128.

Свистунов Е.П. Геотермический режим и катагенетическая зональность в бассейнах Камчатки. *Геология и геохимия горючих ископаемых.* М: Изд-во Моск. ун-та. 1991. С. 142-152.

Свистунов Е.П., Крылов О.В. Геотермический режим бассейнов тихоокеанской окраины России. *Международ. конф. «Нефтегазоносные бассейны западно-тихоокеанского региона и сопредельных платформ: сравнительная геология, ресурсы и перспективы освоения» Тезисы докл.* СПб: Изд-во ВНИГРИ. 1996. С. 36.

Сведения об авторах

Евгения Емельяновна Карнюшина – доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1

Тел: +7(495)939 35 22, +7(495)939 32 60

e-mail: evgem@geol.msu.ru

Юрий Константинович Бурлин (1931-2011) – доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1

Евгений Павлович Свистунов – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1

Олег Владимирович Крылов – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1

Статья поступила в редакцию 01.03.2017

Принята к публикации 01.04.2017

Опубликована 20.05.2017

Physical and lithological properties Oligocene-Miocene formations of the Okhotsk-Kamchatka Basin (to 85-th Anniversary of Professor Yuri Konstantinovich Burlin)

E.E. Karnyushina, Yu.K. Burlin, E.P. Svistunov, O.V. Krylov
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. The purpose of the investigation was the prediction of physical and lithological properties of volcanogenic-sedimentary formations at different depths. For this purpose Oligocene-Miocene sediments from a number of wells within the Icha and Kolpakovsky depressions of Okhotsk-Kamchatka oil and gas basin have been studied. Relationship

between temperature and fluid conditions of the katagenesis zone and the change in the rocks composition, their porosity, permeability, density, thermal conductivity were identified. Superposed phenomena and characteristics of the reservoir rocks transformations within the water-hydrocarbon contacts in the gas and gas condensate pools have been considered.

The relationship between volcanogenic-sedimentary rocks physical and lithological properties and the formation of non-stationary geothermal regime has been shown. The article is devoted to the head of these investigations – Professor Yuri Konstantinovich Burlin (1931-2011). 12 October this year, he would have turned his 85 years.

Keywords: volcanogenic-sedimentary rocks, katagenesis, superposed phenomena, physical and lithological properties, geothermal regime

For citation: Karnyushina E.E., Burlin Yu.K., Svistunov E.P., Krylov O.V. Physical and lithological properties Oligocene-Miocene formations of the Okhotsk-Kamchatka Basin (To 85-th Anniversary of Professor Yuri Konstantinovich Burlin). *Georesursy = Georesources*. 2017. Special issue. Part 1. Pp. 12-18. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.3>

References

- Agapitov D.I., Arkhipov V.E., Bazhenova O.K., Brygalova G.S., Ivanov V.F., Karnyushina E.E., Krylov O.V., Motovilov Yu.V., Svistunov E.P., Shlykova T.M. Oil and gas content of sedimentary basins of the Northwestern part of the Pacific belt. Ed. Yu.K. Burlin. Moscow: Moscow University Publ. 1991. 112 p. (In Russ.)
- Arkhipov V.E., Krylov O.V., Svistunov E.P. Geothermy of sedimentary basins of the North-East of the USSR. *Moscow University Geology Bulletin*. Ser. 4. 1989. No. 6. Pp. 78-83. (In Russ.)
- Burlin Yu.K., Karnyushina E.E., Petrunin G.I., Popov V.G., Svistunov E.P., Soskov A.V. Geothermal and paleogeothermal regimes of basins of Western Kamchatka. *Teplovoe pole Zemli i metody ego izucheniya* [The Earth's thermal field and methods of its study]. Moscow: RUDN Publ. 2000 a. Pp. 80-85. (In Russ.)
- Burlin Yu.K., Karnyushina E.E., Petrunin G.I., Popov V.G., Svistunov E.P., Soskov A.V. Geothermal studies in assessing the petroleum potential prospects (on the example of the basins of Kamchatka and other regions of the Far East). *Geologiya, metody poiskov, razvedki i otsenki m-nii toplivno-energeticheskogo syr'ya*: Obzor [Geology, methods of prospecting, exploration and evaluation of fuel and energy raw materials: Overview]. Moscow: Geoinformmark. 2000 b. 40 p. (In Russ.)
- Gladenkov Yu.B., Sal'nikov B.A., Borovtsev A.K., Boyarinova M.E., Voevodin Yu.B., Volobueva V.I., Kovtunovich P.Yu., Shantser A.E. Decisions of the Interdepartmental Regional Stratigraphic Meetings on the Paleogene and Neogene of the Eastern Regions of Russia – Kamchatka, Koryak Highland, Sakhalin and the Kuril Islands. Explanatory note to stratigraphic schemes. Moscow: GEOS. 1998. 147 p. (In Russ.)
- Karnyushina E.E. Metasomatic phenomena in oil and gas basins. *Vestn. Mosk. un-ta = Moscow University Geology Bulletin*. 2001. No. 3. Pp. 15-21. (In Russ.)
- Karnyushina E.E. Osadochnye formatsii v zone katagengeza neftegazonosnykh basseinov [Sedimentary formations in the zone of the catageneses of the oil and gas basins]. Ed. T.T. Klubova. Moscow: AO «Institut Hidroproekt». 2000. 96 p. (In Russ.)
- Karnyushina E.E. The main causes of the formation of carbonate cementation zones in the strata of oil and gas basins. *Vestn. Mosk. un-ta = Moscow University Geology Bulletin*. 2012. No. 5. Pp. 47-49. (In Russ.)
- Karnyushina E.E. Vulkanogenno-osadochnye porodny neftegazonosnykh basseinov Severo-Vostoka SSSR [Volcanogenic-sedimentary rocks of oil-and-gas-bearing basins of the North-East of the USSR]. Moscow: Moscow univ. Publ. 1988. 105 p. (In Russ.)
- Karnyushina E.E., Suprunenko O.I. Catagenesis of Neogene deposits of Southwestern Kamchatka. *Voprosy geologii i neftegazonosnosti Vostoka SSSR* [Issues of geology and oil and gas content of the East of USSR]. Ed. Yu.K. Burlin, A.Ya. Arkhipov, O.K. Bazhenova. Moscow: Moscow univ. Publ. 1975. Pp. 61-65. (In Russ.)
- Mazor Yu.R. Regularities and geological causes for transformation of coals. *Avtoref. Diss. dokt. geol.-min. nauk* [Abstract Dr. geol. and min. sci. diss.]. Moscow: Lomonosov MSU. 1985. 39 p. (In Russ.)
- Neruchev S.G., Vassoevich N.B., Lopatin N.V. On the scale of catagenesis in connection with oil and gas formation. *Tr. XV sessii MGK. Doklady sovetskikh geologov. Goryuchie iskopaemye* [Proc. XV session of the IYP. Reports of Soviet geologists. Fossil fuels]. Moscow: Nauka. 1976. Pp. 47-62. (In Russ.)
- Petrunin G.I., Popov V.G., Soskov A.V. The method of renewal of thermophysical properties of moisture-saturated sedimentary rocks according to the results of the study of their dry analogs. V sb.: *Geologiya-3 (Programma «Universitety Rossii»)* [Geology-3 (Program «Universities of Russia»): Coll. papers]. Ed. A.N. Tikhonov, V.A. Sadovnichii et al. Moscow: Moscow State University Publ. 1996. Pp. 123-128. (In Russ.)
- Svistunov E.P. Geothermal regime and catagenetic zoning in the basins of Kamchatka. *Geologiya i geokhimiya goryuchikh iskopaemykh* [Geology and geochemistry of fossil fuels]. Moscow: Moscow univ. Publ. 1991. Pp. 142-152. (In Russ.)
- Svistunov E.P., Krylov O.V. Geothermal regime of basins of the Pacific margin of Russia. I mezhd. konf. «Neftegazonosnye basseiny zapadno-tikhookeanskogo regiona i soprodel'nykh platform: sravnitel'naya geologiya, resursy i perspektivy osvoeniya»: Tezisy dokl. [I Int. Conf. «Oil and gas bearing basins of the West Pacific region and adjacent platforms: comparative geology, resources and prospects for development»: Abstracts]. St.Petersburg: VNIGRI Publ. 1996. Pp. 36. (In Russ.)
- Veselov O.V., Lipina E.H. Katalog dannykh o teplovom potoke Vostoka Azii, Avstralii i Zapada Tikhogo okeana [Catalog of data on the heat flow of the East of Asia, Australia and the West of the Pacific]. Vladivostok: DVNTs AN SSSR. 1982. 122 p. (In Russ.)

About the Authors

Evgeniya E. Karnyushina – DSc in Geology and Mineralogy, Petroleum Geology Department
Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1
Phone: +7(495)939 35 22, +7(495)939 32 60
e-mail: evgem@geol.msu.ru

Yuriy K. Burlin (1931-2011) – DSc in Geology and Mineralogy, Professor, Petroleum Geology Department
Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1

Evgeniy P. Svistunov – PhD in Geology and Mineralogy, Senior researcher, Petroleum Geology Department
Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1

Oleg V. Krylov – PhD in Geology and Mineralogy, Senior lecturer, Petroleum Geology Department
Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1

*Manuscript received 1 March 2017;
Accepted 1 April 2017; Published 20 May 2017*