

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ШЕЛЬФА ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ

© 2025 А.М. Петрищевский

*Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия, 697016;
e-mail: petris2010@mail.ru*

Поступила в редакцию 17. 09.2024; после доработки 04.03.2025; принята в печать 25.03.2025

Исследуются связи структурных, реологических, теплофизических и геохимических характеристик земной коры Западной Камчатки с прилегающим шельфом. Этот нефтегазоносный район приурочен к области сочленения тихоокеанской коры, пододвинутой под Камчатскую островную дугу, с Охотоморской плитой. Нижний слой земной коры Камчатки разуплотнен и является источником тепловых аномалий, обеспечивающих оптимальные условия для катагенеза нефтяных (температура 120–130 °С) и газовых (температура 200–00 °С) залежей в верхних слоях коры. Температурные характеристики верхнего слоя земной коры Западно-Камчатского шельфа идентичны характеристикам нефтегазоносного района на северо-восточном шельфе о. Сахалин. На Западно-Камчатском шельфе зоны пониженной плотностной контрастности в нижнем слое земной коры и тепловые аномалии коррелируются с геохимическими признаками нефти — и газонакопления, а также с месторождениями газа на юго-западе полуострова (в Колпаковском прогибе). На южном фланге Западно-Камчатского шельфа обнаружены признаки структуры центрального типа, которая разделяет Западно-Камчатский прогиб на южную газоносную и северную нефтеносную зоны. Оценены перспективы будущих поисков месторождений нефти и газа в этом районе.

Ключевые слова: строение, реология, температура, нефть, газ, Западно-Камчатский шельф.

ВВЕДЕНИЕ

Шельф Западной Камчатки является вторым, после Северо-Восточного Сахалина, перспективным районом для поисков месторождений нефти и газа в Охотоморском регионе (Ванин, 2022; Харахинов и др., 2015; Шакиров, 2018). Крупных промышленных залежей углеводородов на шельфе Западной Камчатки пока не выявлено, но этот район интенсивно исследуется сейсмическими (Ванин, 2022; Корчагин, 2020) и геохимическими (Кириухина, 2017) методами. Оценена мощность осадочного чехла (Веселов, 2005; Харахинов и др., 2015), выполнено структурное районирование шельфа (Корчагин, 2020), определены возраст нефтематеринских осадочных толщ (Корчагин, 2020) и границы зон предполагаемого нефтегазо-накопления (Кириухина и др., 2017).

Кроме структурных (существования различного рода ловушек для нефти и газа), геохимических и литофациальных (наличие

коллекторов и органических остатков в осадочных толщах) предпосылок концентрации углеводородных залежей важнейшее значение при прогнозировании и поисках месторождений имеют температурные условия катагенеза нефти и газа (Вассоевич, 1983; Исаев и др., 2011; Соколов, 1948). В теории осадочно-миграционного происхождения нефти и газа считается доказанным, что температура 120–150 °С в интервале глубин 1.5–6 км является благоприятной для формирования нефтяных залежей в осадочных толщах, а для газовых залежей наиболее благоприятна температура более 150 °С на больших глубинах. Источником тепла в большинстве случаев являются магматические резервуары в подкоровом и астеносферном слоях верхней мантии, кристаллизующиеся в течении длительного времени (10–20 млн лет). Эти очаги могут быть локализованы в 3D-пространстве с помощью инаприорного моделирования плотностной контрастности геологических сред в рамках

вероятностно-детерминированной интерпретации гравитационных аномалий (Петрищевский, 2008; 2013а; 2016; 2023; 2024б).

Исходя из теории нефтегазообразования и опыта проводимых исследований на территории России, можно наметить четыре основных направления исследований при поисках углеводородного сырья: 1) выявление глубинных магматических источников тепла по распределениям плотностной контрастности в земной коре и подкоровой мантии → 2) определение оптимальных температурных условий для образования залежей нефти и газа в нужных диапазонах геологического пространства → 3) геохимическое картирование в районах, локализуемых результатами реализации первых двух направлений → 4) определение структурных условий (ловушек), благоприятных для локализации нефти и газа сейсмическими методами. Первое направление может быть реализовано с помощью гравитационного моделирования (Петрищевский, 2013а, 2019, Исаев и др., 2011), второе осуществляется с помощью термометрического моделирования по данным измерений теплового потока (Исаев и др., 2011; Петрищевский, 2016; Хуторской, 2008), третье направление основывается на геохимическом опробовании донных осадков и газовых эманаций (Кирихина и др., 2017; Шакиров, 2018) и четвертое направление — реализует традиционные сейсмические поиски нефтегазоносных структур. На шельфе Западной Камчатки с разной степенью эффективности реализованы только два последних направления.

Целью данной статьи является иллюстрация взаимосвязи первых трех направлений исследований на Западном шельфе Камчатки и определение, по их результатам, расширенных перспектив этого района на углеводородное сырье.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гравитационное моделирование. На территории Камчатки и Западно-Камчатского шельфа построена вероятностно-детерминистская гравитационная модель, отражающая реологическую неоднородность земной коры и верхней мантии (Петрищевский, 2006). Сеть использованных гравиметрических наблюдений в этой модели составляет 30×2 км, профили ориентированы в широтном направлении. Параметром, отражающим реологические свойства геологических сред, является плотностная контрастность (дифференциация) среды — μ_z -параметр:

$$\mu_z = \frac{VzmZ_0}{4\pi K(Z_0 - Hc)^2},$$

где Z_0 — глубина залегания центра эквивалентных систем плотностных неоднородностей, соответствующих локальным симметричным возмущениям аномального гравитационного

поля в редукции Буге; Vzm — амплитуда соответствующей локальной гравитационной аномалии; K — гравитационная постоянная; Hc — условная поверхность, касательная к эквивалентным сферам, на которые выметаются источники аномалий по методу Анри Пуанкаре (Evans, 1933).

Точным математическим определением μ_z -параметра является поверхностная плотность эквивалентной сферы, нормированная по глубине центра масс. Этот параметр отражает плотностную дифференциацию (контрастность) геологической среды: в жестких кристаллических средах он принимает повышенные и высокие значения, а в пластичных и вязких средах — низкие (Петрищевский, 2013а). Высокие значения наблюдаются над блоками, сложенными древними метаморфическими комплексами, островными дугами и магматическими телами основного-среднего состава, а низкие — в аккреционных призмах, в зонах разломов и рифтах. В разрезах высоким значениям соответствуют гранитно-метаморфический и мафический слои земной коры и нижний жесткий слой литосферы. Низким значениям соответствуют подкоровый вязкий слой и астеносфера (Петрищевский, 2008; 2013а; 2013б; 2023).

Результаты вычислений представляются в 3D-виде: $\mu_z(x, y, Hc)$, что позволяет строить горизонтальные срезы и вертикальные разрезы распределений плотностной контрастности. Более подробное описание теоретических основ и технологии построения моделей приводятся в работах (Петрищевский, 2006; 2013а; 2020).

В настоящей статье гравитационные реологические модели использованы для выявления глубинных источников тепловых аномалий, создаваемых пластичными и вязкими средами магматической природы в нижнекоровом и подкоровом слоях Западно-Камчатского шельфа (рис. 1, 2а, 2б).

Моделирование распределений температур. На территории Западно-Камчатского шельфа использована 3D-модель распределений температур в земной коре и подкоровой мантии Охотоморского региона (Петрищевский, 2016). Вычисления температур проведены по методикам, описанным в работах (Викулин, 2004; Туезов и др., 1995). При расчетах температур были приняты условия стационарного теплового режима и вертикального кондуктивного теплопереноса в однородной среде, описываемого одномерным уравнением теплопроводности (Викулин, 2004):

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{dT}{dz} \right) = A(z),$$

где T — температура; λ — коэффициент теплопроводности; A — тепловыделение в горных породах; z — глубина расчетной точки.

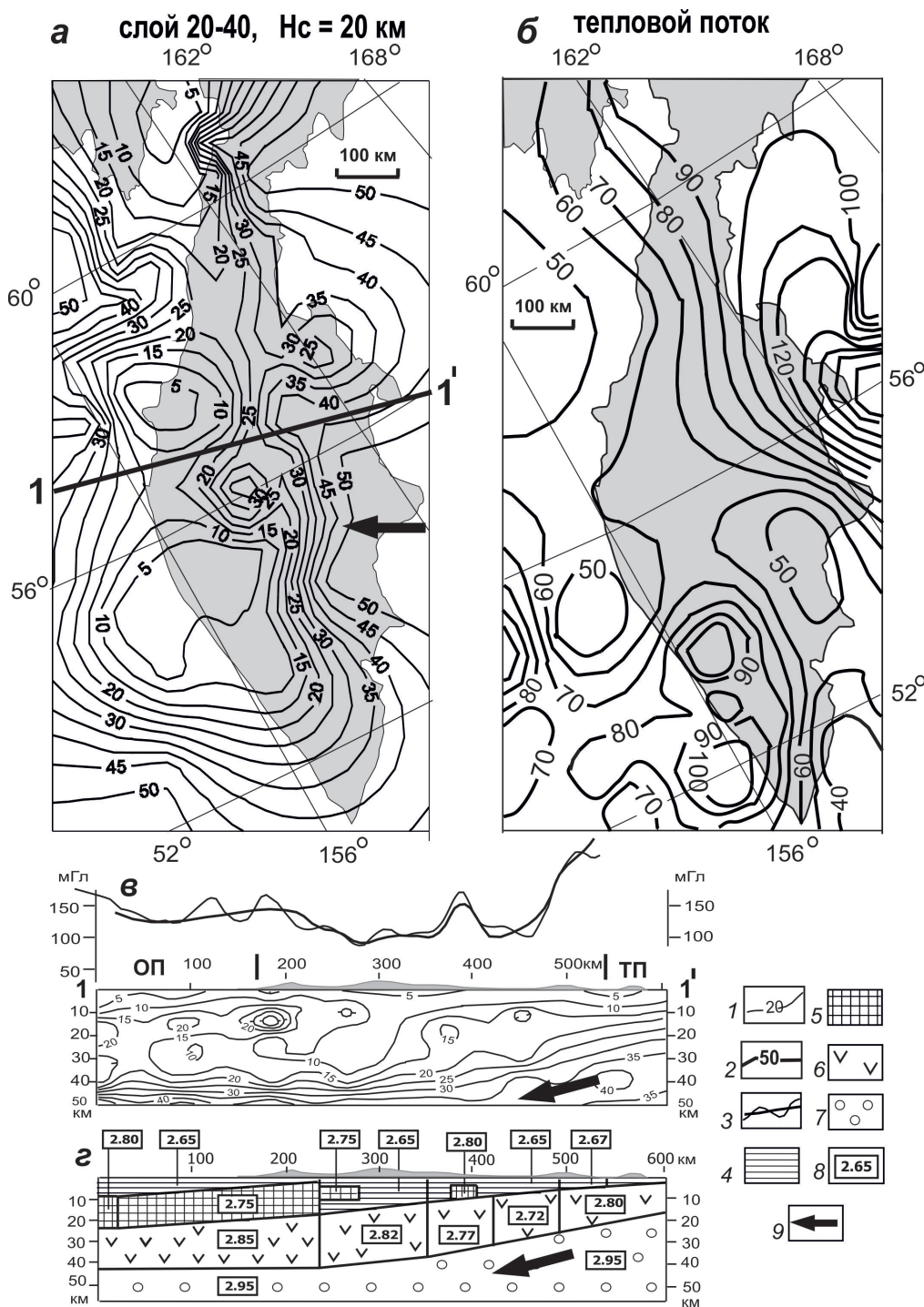


Рис. 1. Гравитационная реологическая (а, в), тепловая (б) и плотностная (з) модели земной коры Камчатского полуострова с прилегающим шельфом: 1, 2 — изолинии плотностной контрастности, 10^{-2} кг/м²/км, (1) и теплового потока, мВт/м², осреднение по данным (Веселов, 2005; Горнов, 2015) (2); 3 — гравитационные аномалии: наблюдаемая (тонкая линия) и расчетная (толстая); 4 — вулканогенно-осадочный слой в разрезе «з»; 5 — гранитно-метаморфический слой; 6 — океанический вязкий слой; 7 — твердая верхняя мантия; 8 — плотность блоков, г/см³, 9 — вектор перемещения океанического слэба. Вулканические пояса: ЦКВП — Центрально-Камчатский, ВКВП — Восточно-Камчатский. ОП — Охотоморская плита; ТП — Тихоокеанская плита.

Fig. 1. Gravity rheological (a, в), heat (б) and density (з) models of the crust of Kamchatka peninsula with adjacent shelf: 1, 2 — isolines of density contrast (10^{-2} kg/m²/km) (1), and heat flow (mW/m²) (filtered from data (Veselov, 2005; Gornov, 2015) (2); 3 — gravity anomalies: observed (thin line) and modeled (thick line); 4 — volcanic-sediment layer in section «з»; 5 — granite-metamorphic layer; 6 — oceanic viscous layer; 7 — solid upper mantle; 8 — block density, g/sm³, 9 — direction of the oceanic slab displacement. Volcanic belts: ЦКВП — Central Kamchatka, ВКВП — East Kamchatka. Plates: ОП — Okhotsk plate, ТП — Pacific plate.

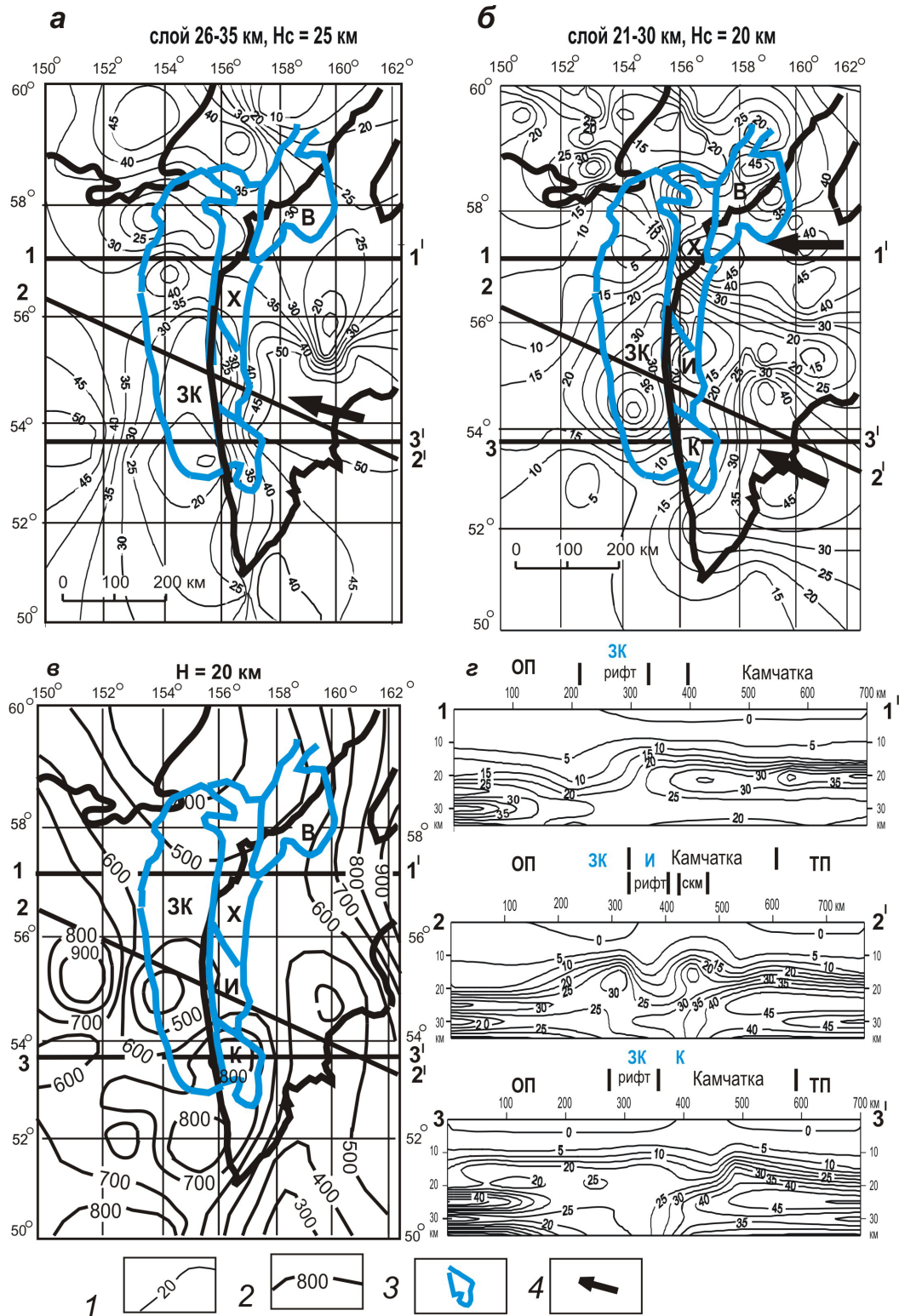


Рис. 2. Распределения плотностной контрастности (а, б, г) и температуры (е) в земной коре Камчатского полуострова с прилегающим шельфом: 1, 2 — изолинии плотностной контрастности, 10^{-2} кг/м²/км (I) и температуры, °C (2); 3 — районы предполагаемого (Корчагин, 2020) нефтегазонакопления: ЗК — Западно-Камчатский, К — Колпаковкий, И — Ичинский, Х — Хайрюзовский, В — Воямпольский; 4 — векторы перемещения океанических слэбов. ОП — Охотоморская плита. ТП — Тихоокеанская плита.

Fig. 2. Distributions of density contrast (a, b, g) and temperature (e) into the crust of Kamchatka peninsula with adjacent shelf: 1, 2 — isolines of density contrast (10^{-2} kg/m²/km) and temperature, °C (2); 3 — offered regions (Korchagin, 2020) of an oil-gas accumulation: ЗК — Western Kamchatka, К — Kolpakovskiy, И — Ichinskiy, Х — Khairyuzovskiy, В — Voyampolskiy; 4 — direction of the oceanic slab displacement. ОП — Okhotsk plate, ТП — Pacific plate.

Предполагается, что нестационарные эффекты и влияние невертикальных потоков малы по сравнению с другими погрешностями модели. Граничными условиями расчетов являются следующие допущения:

- температура на поверхности Земли (среднегодовая для Охотского моря) равна нулю;
- тепловой поток во внешнем пространстве равен нулю.

В приводимых моделях приняты следующие значения тепловыделения в слоях тектоносферы: приповерхностный вулканогенно-осадочный слой — 1.2; гранитно-метаморфический слой — 0.9; «базальтовый» слой — 0.5; подкоровая мантия до глубины 45 км — 0.05 мкВт/м³.

В тех же слоях средние значения коэффициентов теплопроводности составляют: 1.7; 2.1; 1.5 и 5.0 Вт/мК. Задаваемые значения (A) и (λ) соответствуют значениям, принятым в этом регионе (Викулин, 2004).

Средняя мощность земной коры Западно-Камчатского шельфа принята равной 25 км, а в прилегающих районах Камчатки — 35 км (Веселов, 2005).

В каждой точке определения теплового потока вычисления температуры производились

на глубинах: 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 и 35 км. Вычисления температур в точках измерения теплового потока выполнены сотрудником Института тектоники и геофизики ДВО РАН, Горновым П.Ю.

Для построения 3D-модели распределений температур результаты вычислений транспонированы в узлы регулярной сети. Полученный цифровой массив T °С (x, y, z) использован для построения карт-срезов распределений температур (рис. 2в; 3) в земной коре Западно-Камчатского шельфа с помощью программного пакета Surfer-18.

Геохимическое картирование. Геохимические аномалии показаны в статье по опубликованным данным (Кiryukhina и др., 2017). Эти данные включали определение содержаний органического углерода (C_{org}), пиролиз рассеянного органического вещества (РОВ) методом Rock-Eval1, экстрагирование битумоида с определением его группового состава, анализ распределений N -алканов и изопреноидов в насыщенных фракциях битумоидов; анализ распределения углеводородов-биомаркеров стеранового и тритерпанового рядов в насыщенных фракциях битумоидов методом газожидкостной хромато-масс-спектрометрии; выделение из пород

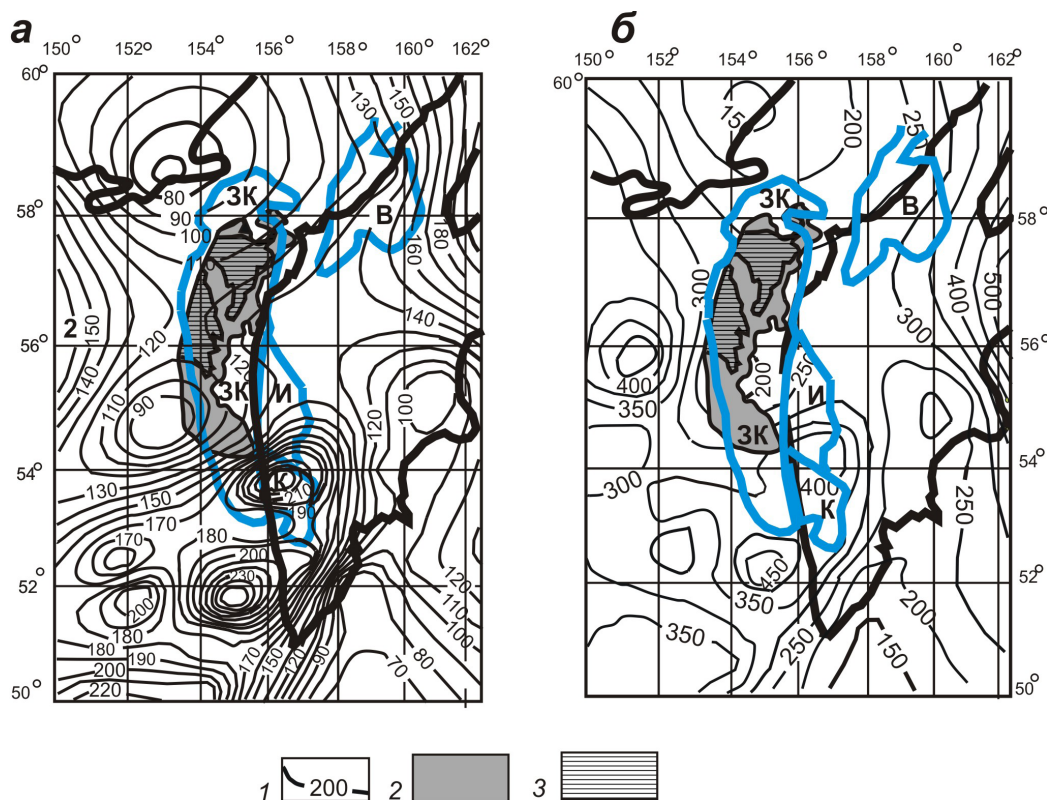


Рис. 3. Распределения температуры на глубинах 5 км (а) и 10 км (б) в земной коре Камчатского полуострова с прилегающим шельфом: 1 — изотермы, °С; 2, 3 — зоны накопления нефти (2) и газа (3) по данным геохимической съемки (Кiryukhina, 2017). Другие обозначения см. на рис. 2.

Fig. 3. Distributions of a temperature at depth of 5 km (а) and 10 km (б) in the crust of the Kamchatka peninsula with the adjacent shelf: 1 — isotherms, °С; 2, 3 — zones of oil (2) and gas (3) according to geochemical survey data (Kiryukhina, 2017). See Fig. 2 for other designations.

нерастворимого РОВ и его анализ; определение мацерального состава керогена, отражательной способности витринита (или других мацералов) петрографическим методом; определение степени катагенеза и генетического типа, условий накопления и фоссилизации РОВ.

В результате анализа геохимических данных откартированы районы вероятной нефте- и газогенерации в осадочных толщах Западно-Камчатского шельфа (рис. 3).

РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ЛОКАЛЬНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗАПАДНО-КАМЧАТСКОГО ШЕЛЬФА

Региональные признаки. Региональные перспективы нефтегазоносности Западно-Камчатского шельфа определяются зоной пониженной вязкости (минимумом плотностной контрастности) в переходном слое кора-мантия в интервале глубин 20–40 км (рис. 1а). Тепловой поток над этой зоной понижен до 50 мВт/м² относительно прилегающих территорий Камчатского полуострова на востоке и Охотоморской плиты на западе (рис. 1б). Под полуостровом зона пониженной вязкости является источником магм, проникающих в верхние горизонты коры под вулканическими поясами, а на восточном фланге Охотоморской плиты тепловой поток повышен под влиянием Охотоморского плюма (Петрищевский, 2016), а также вследствие сокращения мощности земной коры до 25 км (Веселов, 2005).

В плотностной модели (рис. 1з), построенной в границах реологических неоднородностей (рис. 1в), плотность нижнекорового слоя под вулканическими поясами Камчатки существенно понижена до 2.77–2.72 г/см³ (рис. 1з), что свидетельствует о значительной флюидно-магматической переработке нижнего (мафического) слоя земной коры. Зона пониженной вязкости и плотности продолжается под Западно-Камчатский шельф, где она экранируется гранитно-метаморфическим слоем земной коры Охотоморской плиты (рис. 1в). В глубоких слоях верхней мантии зона пониженной вязкости под Западно-Камчатским шельфом прослеживается до глубин 160–300 км (Петрищевский, Злобин, 2004).

Под давлением океанического слэба (рис. 1а, 1в) магма, вероятно, была выдавлена из под Центрально вулканического пояса в сторону Западно-Камчатского шельфа, при этом тепловой поток под шельфом незначительно понизился. Температура в зоне минимума плотностной контрастности (на глубине 20 км), соответственно, тоже понизилась (рис. 3а, б) и, как будет показано далее, оказалось благоприятной для образования нефти и газа в осадочном чехле.

В подкоровом слое (интервал глубин 26–35 км) площадь зоны пониженной вязкости сокращается и охватывает только южный фланг Западно-Камчатского шельфа (рис. 2а). А в нижней коре (в интервале глубин 21–30 км) прослеживается только ее восточный фланг на территории Западной Камчатки (рис. 2б), который совпадает с максимумом температуры на глубине 20 км (рис. 2в). На участке совпадения μ_z -минимума с максимумом температуры концентрируются месторождения газа. Судя по форме аномалий μ_z и T °С, Колпаковский газоносный район продолжается на юго-запад под территорию шельфа.

Структурные особенности строения земной коры шельфа Западной Камчатки читаются в разрезах $\mu_z(x, y, H_c)$ -модели (рис. 2д), которые показывают приуроченность Западно-Камчатского нефтегазоносного района к региональной зоне растяжения на границе композитной Камчатской островной дуги с Охотоморской плитой (рис. 2, разрезы 1-1 и 3-3). Эта зона, однако является неоднородной по простиранию. В Центральной части она осложнена поднятием в нижнекоровом слое (рис. 2б; разрез 2-2), аналогичным Срединно-Камчатскому выступу допозднемелового основания островной дуги. Это поднятие фиксируется также в рельефе подошвы осадочных толщ (Веселов, 2005; Харахинов и др., 2015): на северном и южном фланге Западно-Камчатского шельфа (ЗКШ) мощность кайнозойских осадочных отложений увеличена до 6 км, а в центре (на широте 55° с.ш.) — уменьшена до 1.5–2 км (Веселов, 2005). Температура на глубине 20 км (рис. 2в) соответственно понижена в зоне центрального фрагмента ЗКШ. Можно предположить, что Срединно-Камчатский массив и выступ под центральным фрагментом ЗКШ в мезозое составляли одно целое и позже были разделены локальным верхнекоровым рифтогенным растяжением, к которому приурочены Колпаковский и Ичинский прогибы.

Распределение плотностной контрастности в разрезах $\mu_z(x, y, H_c)$ -модели позволяет предполагать, что земная кора под Камчатским полуостровом имеет океаническое происхождение, что согласуется с выводами некоторых исследователей (Коваленко, 1995; Шапиро, 1995). Нижний слой земной коры Камчатки сложен пластинами тихоокеанской коры, пододвинутыми под островную дугу. Максимумами μ_z -параметра в нижнекоровом слое (рис. 2а, 2б) проявлены два структурных клина, проникающих под островную дугу в позднем мезозое со стороны Тихоокеанской плиты. Продвижение нижнекоровых океанических клиньев сопровождалось образованием надвигов и олистостромов в верхнем слое коры (Соловьев, 2005). Мезозойские коллизионные процессы в кайнозое завершились

формированием структур растяжения (рис. 2*г*), способствовавших накоплению осадочных толщ на Западной Камчатке и прилегающем шельфе.

Локальные признаки. Локальные признаки нефтегазоносности Западно-Камчатского шельфа формируются из сравнения аномалий температуры с геохимическими аномалиями (рис. 3).

Территория Западной Камчатки и прилегающего шельфа подразделяется на 7 районов (Корчагин, 2020). Западно-Камчатский и Хайрюзовский районы прилегают к западному побережью полуострова, а Колпаковский и Ичинский располагаются в его прибрежной части (рис. 2). Воямпольский район на северо-западе полуострова включает его морскую и островную территории. Исходя из рассмотренных выше данных, наибольший поисковый интерес представляют Западно-Камчатский, Колпаковский и Ичинский районы, отождествляемые (Корчагин, 2020) с региональными прогибами (рис. 3).

Геохимические исследования в полном объеме проведены в Западно-Камчатском районе (Кирюхина и др., 2017). По эти данным нефтегазоносная территория совпадает с Западно-Камчатским районом шельфа, где определены границы предполагаемого нефте- и газонакопления (рис. 3). В пределах геохимической аномалии температура на глубине 5 км (рис. 3*а*) благоприятна для генерации нефти. Такая же температура наблюдается в Воямпольском районе на северном фланге шельфа, что определяет перспективы его дальнейшего изучения.

В юго-западных районах полуострова температура верхнего слоя земной коры повышена до 200 и более °C (рис. 3*а*), а в Колпаковском районе выявлены 4 газовых месторождения (Корчагин, 2020). Повышенная температура характерна для образования газовых залежей (Соколов, 1999; Вассоевич, 1967). Температурная аномалия Колпаковского района продолжается на территорию шельфа и на север в сторону Ичинского района (рис. 3*а*). Оба района приурочены к рифтогенному прогибу (рис. 2*б*, 2*г*).

Температурная модель верхнего слоя земной коры Западно-Камчатского шельфа очень похожа на распределение температуры под островом Сахалин (рис. 4), где крупные промышленные нефтегазовые месторождения на северо-восточном шельфе полуострова тоже приурочены к интервалу температур 120–130 °C, а на глубине 20 км температура повышается до 400 °C.

Исходя из распределений плотностной контрастности, температуры и геохимических аномалий наиболее перспективными для дальнейших поисков нефти являются северный фланг Западно-Камчатского и Воямпольский районы, а газовых месторождений — Колпаковский и Ичинский районы на западном побережье

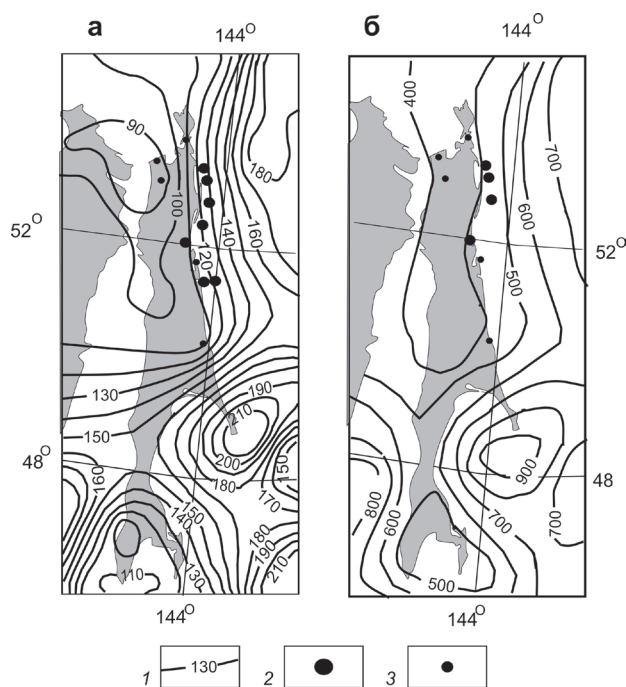


Рис. 4. Температура в земной коре о. Сахалин (Петрищевский, 2016) на глубине 5 км (*а*) и 20 км (*б*): 1 — изотермы, °C; 2, 3 — месторождения нефти и газа крупные (2) и средние (3) (Лимаренко, 2021).

Fig. 4. Temperature into the crust of Sakhalin Island (Petrishchevsky, 2016) at the depth of 5 km (*a*) and 20 km (*b*): 1 — isotherms, °C; 2, 3 — oil and gas deposits large (2) and medium (3) (Limarenko, 2021).

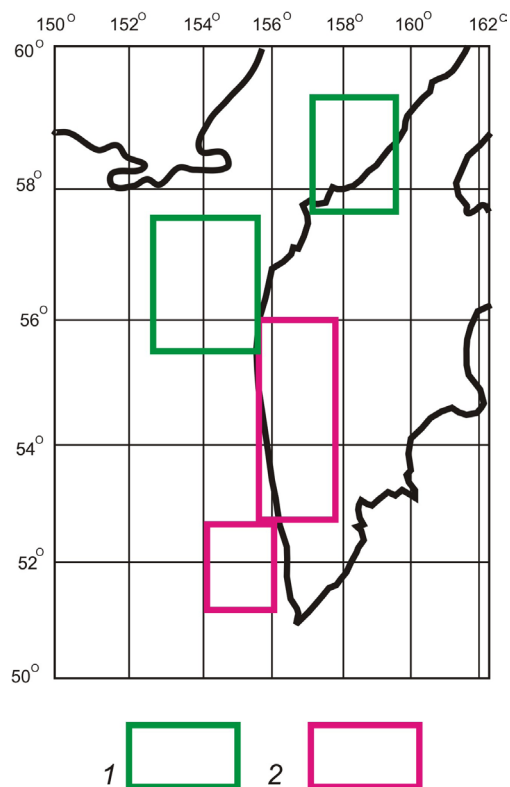


Рис. 5. Участки, перспективные для поисков месторождений нефти (1) и газа (2).

Fig. 5. Areas prospective for oil (1) and gas deposits (2).

Камчатки, а также южный фланг Западно-Камчатского шельфа (рис. 5).

Структура центрального типа на южном фланге Западно-Камчатского шельфа. Как это нередко бывает (Петрищевский, 2013а; 2023: 2024а, 2024б; Петрищевский, Юшанов, 2014), в Западно-Камчатской зоне растяжения локализовалась тектоно-магматическая структура центрального типа (СЦТ), которая характеризуется типичной концентрической зональностью аномалий плотностной контрастности (рис. 6): максимумы по периферии, а в центре относительный минимум. Структура проявлена

в интервале глубин 10–25 км и приурочена к стыку островодужной и Охотоморской коровых пластин.

Как правило (Петрищевский, 2023: 2024а, 2024б; Петрищевский, Юшанов, 2014), структуры центрального типа возникают на конечных этапах развития рифтовых систем, когда магмы и флюиды из подкорового вязкого слоя и астеносферы получают доступ в верхние горизонты коры. Часто они являются деструктивными по отношению к рифтовым структурам, поэтому роль Юго-Западной тектоно-магматической СЦТ на шельфе западной Камчатки в размещении нефтяных и газовых месторождений остается неясной. Можно лишь отметить, что центр (стволовая зона) этой СЦТ совпадает с поднятием допозднемелового поднятия фундамента осадочной толщи (рис. 2б, 2д) и по этому признаку центральный (по простирацию) фрагмент Западно-Камчатского шельфа вряд ли перспективен для обнаружения там крупных промышленных месторождений нефти и газа, несмотря на геохимические аномалии. Последние могут иметь отношение к залежам углеводородов, существовавших до активизации СЦТ, но вопрос о их сохранности до настоящего времени остается открытым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексного анализа гравиметрических, теплофизических и геохимических признаков нефтегазонасности Западно-Камчатского шельфа выявлен и охарактеризован ряд взаимосвязанных структурных, реологических, теплофизических и геохимических предпосылок для поисков месторождений нефти и газа.

Структурной предпосылкой является приуроченность геохимических аномалий и известных газовых месторождений к Западно-Камчатской зоне растяжения, сопровождаемой пониженной вязкостью нижнего слоя земной коры. Под давлением океанических клиньев этот слой был перемещен из под Центрального вулканического пояса Камчатки в сторону прилегающего шельфа, где он является источником тепла при катагенезе углеводородных залежей.

На южном фланге Западно-Камчатского шельфа (с центром на широте 55 °С) выявлена тектоно-магматическая структура центрального типа, центр которой совпадает со скрытым выступом допозднемелового фундамента осадоч-

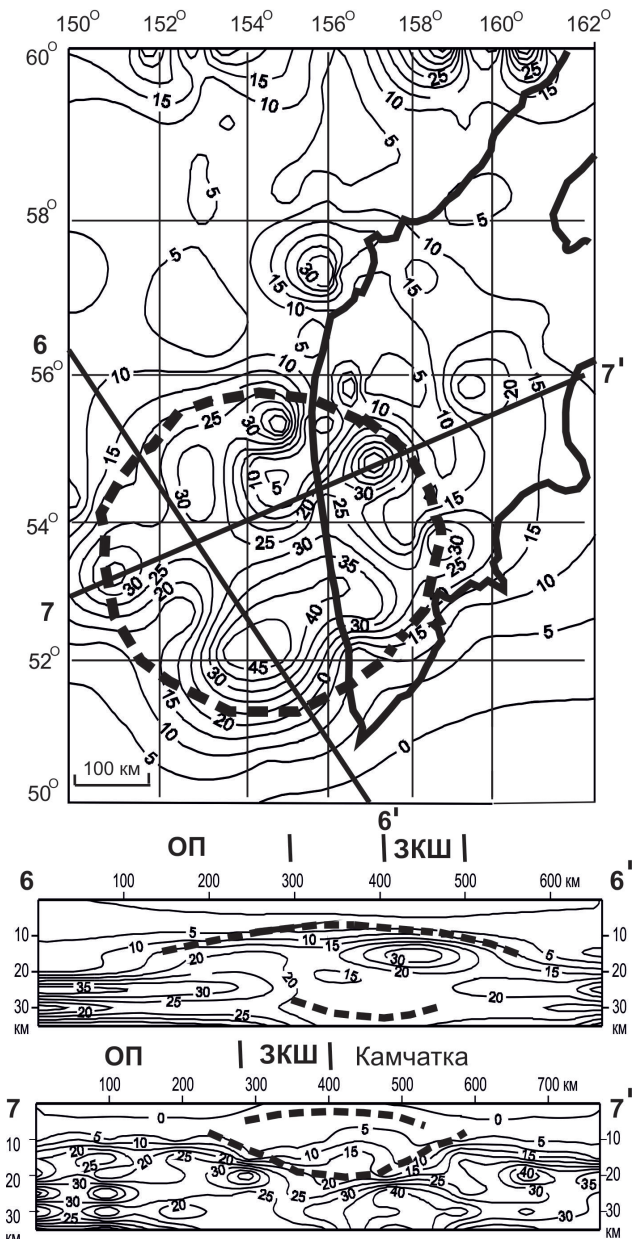


Рис. 6. Структура центрального типа на южном фланге Западно-Камчатского шельфа (контуры показаны пунктирными линиями). ОП — Охотоморская плита, ЗКШ — Западно-Камчатский шельф. Другие обозначения см. на рис. 2.

Fig. 6. Central type structure on the southern flank of the West Kamchatka shelf (counters are shown by dash lines). ОП — Okhotsk plate, ЗКШ — West Kamchatka shelf. See Fig. 2 for others designations.

ных толщ, мощность которых здесь сокращена до 1.5–2 км. Выступ разделяет Западно-Камчатский шельф на южную и северную половины.

Температурный срез земной коры на глубине 5 км позволил наметить участки, наиболее перспективные для нефтеобразования (120–130 °С) и газообразования (200–250 °С). По этому признаку наиболее перспективным для поисков нефтяных залежей является северный фланг Западно-Камчатского шельфа (два участка), где известны прямые геохимические признаки нефтенакпления, а для газовых залежей — южный фланг шельфа и прилегающая территория полуострова (Колпаковский и Ичинский прогибы с известными месторождениями газа).

Работа выполнена в соответствии с темой научных исследований, утвержденной государственным заданием Министерства науки и высшего образования: «Общие закономерности и региональные особенности экологии, геологии, глубинного строения, реологии, палеогеодинамики и металлогении тектоносферы Восточной Азии в сравнении с Дальневосточным регионом России(2024–2026)» (№ гос. регистрации FWUG-2024-0004/1021062311240-7-1.5.6;1.5.5.1).

Список литературы [References]

Ванин В.А. Перспективы шельфа Северо-Западной Камчатки в свете новых обобщений // Экспозиция. Нефть Газ. 2022. № 7. С. 20–24. <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2022-7-20-24> [Vanin V.A. Prospects of the North-West Kamchatka in the light of new generalizations // Exposition. Oil Gas. 2022. № 7. P. 20–24 (in Russian)].

Вассоевич Н.Б. Теория осадочно-миграционного происхождения нефти // Известия АН СССР. Сер. Геология. 1967. № 11. С. 135–156 [Vassoevich N.B. Theory of the sedimentary and migratory origin of the oil // Izvestiya AN USSR. Ser. Geology. 1967. № 11. P. 135–136 (in Russian)].

Веселов О.В. Геотермия тектосферы Японо-Охотоморского региона. Дисс. канд. геол.-мин. Наук. 2005. Хабаровск: ИТИГ ДВО РАН. 200 с. [Veselov O.V. Geothermics of the Japan-Okhotsk Sea region. Diss. of the geol.-min. sciences. 2005. Khabarovsk: ITIG DVO RAN. 200 p. (in Russian)].

Викунин А.В. Введение в физику земли. Учебное пособие для геофизических специальностей. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2004. 234 с. [Vikulina A.V. Introduction to the Earth Physics. Manuel for geophysical professions. Petropavlovsk-Kamchatskiy: Institute of volcanology and seismology DVO RAN, 2004. 239 p. (in Russian)].

Горнов П.Ю. Сейсмичность, границы и тепловое поле литосферных плит Северо-Востока Евразии // Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска. Южно-Сахалинск, 2015. С. 55–59 [Gornov P.Yu. Seismicity, boundaries, and the heat flow field of lithospheric plates of the

North East Asia // Geodynamic processes and nature disasters. Neftegor'sk experience. Yuzhno-Sakhalinsk. 2015. P. 55–59 (in Russian)].

Исаев В.И., Коржов Ю.В., Лобова Г.А., Попов С.А. Нефтегазоносность Дальнего Востока и Западной Сибири по данным гравиметрии, геотермии и геохимии. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 383 с. [Isaev V.I., Korzhov Yu.V., Lobova G.F., Popov S.A. Oil-gas bearing of the Far East and Western Siberia by data of gravitation measurements, geothermics and geochemics. Tomsk: Izdatelstvo of TPU, 2011. 383 p. (in Russian)].

Кирюхина Т.А., Соловьёва А.А., Санникова И.А., Франчук А.А. Геохимические предпосылки нефтегазоносности кайнозойских отложений западнокамчатского шельфа // Научно-технический сборник. Вести газовой науки. 2017. Т. 31. № 3. С. 151–161 [Kiryukhina T.A., Solov'eva A.A., Sannikova I.F., Franchuk A.A. Geochemical prerequisites of the oil-gas bearing of Cenozoic sediments of the Western Kamchatka shelf // Science-technical collection. Vesti gazovoy nauki. 2017. V. 31. № 3. P. 151–161 (in Russian)].

Коваленко Д.В. Модель тектонической аккреции островодужных территорий Камчатки и юга Корякии // Геотектоника. 2001. № 5. С. 76–91 [Kovalenko L.V. Model of the tectonic accretion of arc-island terranes of the Kamchatka and South Koryakia // Geotectonics. 2001. № 5. P. 76–91 (in Russian)].

Корчагин О.В. Особенности размещения углеводородов на Западной Камчатке и прилегающем шельфе: прогноз перспективных объектов поисковых работ // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2020. № 4–5. С. 16–22 [Korchagin O.V. Features of a placement of hydrocarbon manifestations on the Western Kamchatka and adjacent shelf // Mineral resources of the Russia. Ekonomika I upravlenie. 2020. № 4–5. P. 16–22 (in Russian)].

Лимаренко В.И. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Сахалинской области (с прибрежным шельфом) на 15.12.2020 г. ФГБУ «Росгеолфонд». 2020. 9 с. <https://rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202104/b9106f1ec905b4c6d7911d255a6f3d32.pdf> [Limarenko V.I. Reference about a state and prospects of using of the mineral- raw materials base of the Sakhalin Area (with adjacent shelf) on 15.12.2020. FGBU «Rosgeolfond». 2020. 9 p. (in Russian)].

Петрищевский А.М. Тектоническая интерпретация плотностных неоднородностей в земной коре и верхней мантии Камчатки // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. № 1. С. 31–46 [Petrishchevsky A.M. Tectonic interpreting of density inhomogeneities into the crust and upper mantle of Kamchatka // Tikhookeanskay geologiya. 2006. V. 25. № 1. P. 31–46 (in Russian)].

Петрищевский А.М. Вязкий слой на границе корамантия на Дальнем Востоке // Геотектоника. 2008. № 5. С. 37–48 [Petrishchevsky A.M. A viscous layer at the crust-mantle boundary in the Far East of Russia // Geotectonika. 2008. № 5. P. 37–48 (in Russian)].

Петрищевский А.М. Гравитационный метод оценки реологических свойств земной коры и верхней мантии (в конвергентных и плюмовых структурах

- Северо-Восточной Азии). М.: Наука, 2013а. 192 с. [*Petrishchevsky A.M.* Gravity method for evaluation of rheological properties of the crust and upper mantle (in convergent and plume structures of the North East Asia. Moscow: Nauka, 2013a. 192 p. (in Russian)].
- Петрищевский А.М.* Гравитационные модели двухъярусной коллизии литосферных плит на Северо-Востоке Азии // Геотектоника. 2013б. № 6. С. 60–83 [*Petrishchevsky A.M.* Gravity models of two-level collision of lithospheric plates in Northeast Asia // *Geotectonika*. 2013b. V. 47. № 6. P. 424–443 (in Russian)].
- Петрищевский А.М.* Реологическая и геотермическая характеристика Охотоморского плюма. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 2. С. 65–76 [*Petrishchevsky A.M.* Rheological and geothermic characteristics of the Sea of Okhotsk Plume // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2016. V. 327. № 2. P. 65–76 (in Russian)].
- Петрищевский А.М.* Рифтогенные структуры и нефтегазоносность в реологических гравитационных моделях земной коры. Геофизика. 2019. № 4. С. 42–51 [*Petrishchevsky A.M.* The rift structures and oil-gas bearing in rheological gravity models of the crust // *Geophysics*. 2019. № 4. С. 42–51 (in Russian)].
- Петрищевский А.М.* Одно практическое следствие теорем единственности и эквивалентности обратных задач гравитационного потенциала // Геофизика. 2020. № 4. С. 98–111 [*Petrishchevsky A.M.* One practice consequence from theorems of uniqueness and no uniqueness of inverse gravity problem // *Geophysics*. 2020. № 4. С. 98–111 (in Russian)].
- Петрищевский А.М.* Геометрия и реология плюмов: общие закономерности в вероятностных гравитационных моделях // Вулканология и сейсмология. 2023. № 4. С. 68–86. <https://doi.org/10.31857/S0203030623700141> [*Petrishchevsky A.M.* Plume Geometry and Rheology: General Patterns in Probabilistic Gravity Models // *Vulcanologiya and seismologiya*. 2023. V. 17. № 4. P. 320–337. <https://doi.org/10.1134/S0742046323700161>].
- Петрищевский А.М.* Земная кора и верхняя мантия Южно-Китайского моря (вероятностно-детерминистская модель) // Океанология. 2024а. Т. 64. № 1. С. 78–93. <https://doi.org/10.31857/S0030157424010064> [*Petrishchevsky A.M.* Crust and Upper Mantle of the South China Sea (Probabilistic-deterministic gravity model) // *Oceanologiya*. 2024a. V. 64. № 1. P. 76–80. <https://doi.org/10.1134/S0001437024010090>].
- Петрищевский А.М.* Структуры центрального типа в Южном Сихотэ-Алине в вероятностных гравитационных моделях: глубинное строение, реология, фрактальность и металлогения // Тихоокеанская геология. 2024б. Т. 43. № 3. С. 19–35 [*Petrishchevsky A.M.* Central Type Structures of South Sikhote-Alin in Probabilistic Gravity Models: Deep Structure, Rheology, Hierarchy, Fractality, and Metallogeny // *Tikhookeanskaya geologiya*. 2024b. V. 18. № 3. P. 248–262. <https://doi.org/10.1134/S1819714024700027>].
- Петрищевский А.М., Злобин Т.К.* Плотностная неоднородность тектоносферы Охотоморского региона // Ученые записки Сахалинского государственного университета: Сборник научных статей. 2004. Вып.4. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ. С. 10–20 [*Petrishchevsky A.M., Zlobin T.K.* Density inhomogeneities of the Sea of Okhotsk tectonosphere // *Uchenie zapiski Sakhalinskogo gosudarstvennogo universiteta*. Sbornik nauchikh statey. 2004. №. 4. Yuzhno-Sakhalinsk: Cakh. GU. С. 10–20 (in Russian)].
- Соколов Б.А.* Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. М.: Геос, 1999. 76 с. [*Sokolov B.A.* Fluid-dynamic model of the oil-gas formation. Moscow: GEOS, 1999. 76 p. (in Russian)].
- Соловьев А.В.* Тектоника Западной Камчатки по данным трекового датирования и структурного анализа. В кн.: Западная Камчатка : геологическое развитие в мезозое. М.: Научный мир, 2005. 224 с. [*Solov'ev A.V.* Tectonics of the Western Kamchatka from the trace dating and structure analysis. In Book: Western Kamchatka: geological evolution in Mesozoic. Moscow: Nauchiy Mir, 2005. 224 p. (in Russian)].
- Тузев И.К., Епанешников В.Д., Хаякава М.* Геотермия. Региональные проблемы. Моделирование. Практические приложения. М.: Недра, 1995. 303 с. [*Tuevov I.K., Epaneshnikov V.I., Khayakawa M.* Geothermics. Regional problems. Modelling. Practics. Appendixes. Moscow: Nedra, 1995. 303 p. (in Russian)].
- Харахинов В.В., Астафьев Д.А., Калита М.А.* Возможности открытия новых месторождений углеводородов на шельфах Сахалина и Западной Камчатки // Научно-технический сборник — вести газовой науки. 2015. Т. 22. № 2. С. 21–35 [*Kharakhinov V.V., Astaf'ev D.A., Kalita M.A.* Possibilities of a discovering of new hydro-carbon deposits on the Sakhalin and Western Kamchatka shelf // *Science-technical collection. Vesti gazovoy nauki*. 2015. V. 22. № 2. P. 21–35 (in Russian)].
- Хуторской М.Д.* Применение трехмерного температурного моделирования для расчета условий катагенеза органического вещества // Литология и полезные ископаемые. 2008. № 4. С. 441–452 [*Khutorskoy M.D.* Using of the 3D temperature analysis for calculation of the catagenesis conditions of organic material // *Litology and useful fossils*. 2008. № 4. P. 441–452. (in Russian)].
- Шакиров Р.Б.* Газогеохимические поля окраинных морей Восточной Азии М.: ГЕОС, 2018. 341 с. [*Shakirov R.B.* Gas-geochemical fields of margin seas of Asia. Moscow: GEOS, 2018. 341 p. (in Russian)].
- Шapiro М.Н.* Позднемеловая Ачайваам-Валагинская вулканическая дуга (Камчатка) и кинематика плит Северной пачифики // Геотектоника. 1995. № 1. С. 58–70. [*Shapiro M.N.* Late Cretaceous Achaivaam-Valaginskaya arc (Kamchatka) and the plate kinematics of Northern Pacific // *Geotectonika*. 1995. № 1. P. 58–70. (in Russian)].
- Evans G.C.* Application of Poincare's sweeping-out process // *Mathematic*. 1933. V. 19. P. 457–461.

ПЕТРИЩЕВСКИЙ

RHEOLOGICAL, THERMOMETRIC AND GEOCHEMICAL SIGNATURES OF OIL AND GAS BEARING CAPACITY OF THE WESTERN KAMCHATKA SHELF

A.M. Petrishchevsky

*Institute of Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, Birobidzhan, Russia, 697016;
e-mail: petris2010@mail.ru*

Received September 17, 2024; revised March 04, 2025; accepted March 25, 2025

The relations of structural, rheological, thermophysical and geochemical characteristics of the Earth's crust of West Kamchatka with the adjacent shelf are studied. This oil-and-gas-bearing region is confined to the region of juxtaposition of the Pacific crust, pushed under Kamchatka, with the Okhotskplate. The lower layer of the Kamchatka crust with lower density is a source of thermal anomalies that provide optimal conditions for catagenesis of oil (temperature 120–130 °C) and gas (temperature 200–00 °C) deposits in the upper layers of the crust. The temperature characteristics of the upper crust of the West Kamchatka shelf are identical to those of the oil and gas bearing area on the northeastern shelf of Sakhalin Island. On the West Kamchatka shelf, zones of reduced density contrast in the lower crust and thermal anomalies are correlated with geochemical signatures of oil and gas accumulation, as well as with gas deposits in the southwest of the peninsula (in the Kolpakovsky Trough). On the southern flank of the West Kamchatka shelf, signs of a central-type structure were found, which divides the West Kamchatka trough into southern gas-bearing and northern oil-bearing zones. Prospects of future oil and gas prospecting in this area are estimated.

Keywords: structure, rheology, temperature, oil, gas, West Kamchatka shelf.