

УДК 551.14:550.8(268-191.2)

## СЕЙСМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНДАМЕНТА КОТЛОВИНЫ ПОДВОДНИКОВ

В. В. Буценко\*, В. А. Поселов, С. М. Жолондз, О. Е. Смирнов

Представлено академиком РАН Г.С. Голицыным 01.03.2019 г.

Поступило 19.02.2019 г.

Цель работ – изучение сейсмических характеристик фундамента котловины Подводников. Основные результаты: сейсмические характеристики фундамента в котловине Подводников, прежде всего его скоростные характеристики 5,9–6,2 км/с, соотношение  $V_p/V_s = 1,71$ , дифракционный характер отражений от фундамента свидетельствуют о континентальной природе котловины и указывают на то, что её тектоническое развитие началось на доокеаническом этапе эволюции Арктики.

*Ключевые слова:* Арктика, котловина Подводников, сейсмические зондирования МОВ-МПВ, продольные и обменные отражённые и рефрагированные волны, лучевое и математическое моделирование, фундамент.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524884429-433>

В настоящее время нет единого мнения о структуре и типе земной коры котловины Подводников. Одни авторы утверждают, что она подстилается утонённой континентальной корой [1, 5, 7], другие – интерпретируют котловину как океаническую структуру [6]. Существуют публикации, в которых предполагается, что фундамент в котловине представлен эксгумированной серпентизированной мантией [8]. В предлагаемой работе рассмотрены сейсмические характеристики фундамента котловины Подводников, необходимые для понимания её тектонического происхождения.

Под географическим термином котловина Подводников авторы понимают две батиметрические террасы – верхнюю, примыкающую к Восточно-Сибирскому шельфу и структурно связанную с глубоководным продолжением Северо-Чукотского прогиба – прогибом Вилькицкого [4], и нижнюю (Arlis Gap).

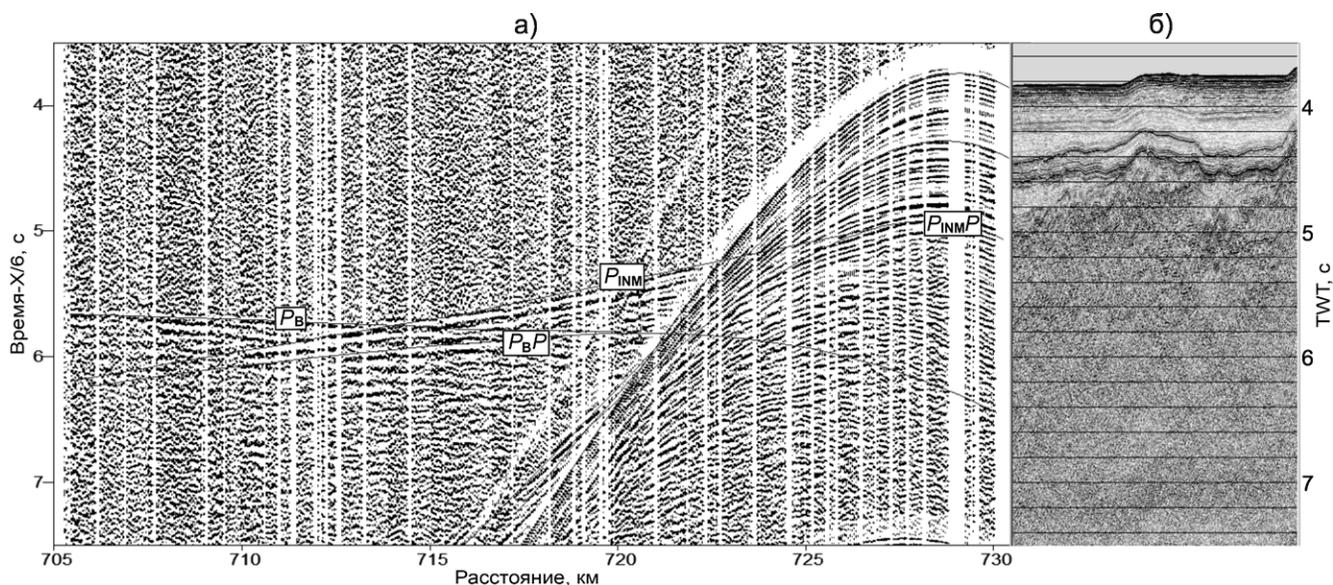
Модель волнового поля, типичная для котловины Подводников, указывает на существование промежуточного комплекса между стратифицированными осадками и кристаллическим основанием (кровлей верхней коры). Эту модель иллюстрирует сейсмическая запись зондирования МОВ-МПВ (рис. 1а). В ближней зоне сейсмограммы (офсеты < 6 км) яркий рефлектор  $P_{\text{INM}}P$  отделяет запись регулярных высокочастотных рефлекторов от более низкочастотной, с фрагментарной регулярностью, записи в

промежуточном комплексе. Поверхность последнего отображается на разрезах МОВ-ОГТ как основание стратифицированных отложений (рис. 1б). В дальней зоне сейсмограммы (офсеты > 8 км) в первые вступления выходит интенсивная низкочастотная волна  $P_{\text{INM}}$ , рефрагированная в промежуточном комплексе, по которой надёжно определяется его интервальная скорость (4,7–5,3 км/с в пределах прогиба Вилькицкого). На офсетах > 16 км она сменяется интенсивной низкочастотной волной  $P_B$ , рефрагированной в верхней коре (скорости 5,9–6,2 км/с в пределах котловины Подводников).

Рефлектор  $P_B P$  от верхнекоревой границы в ближней зоне не прослеживается (несмотря на резкий скачок акустической жесткости на границе В). Он наблюдается только в дальней зоне, в закритической области, на офсетах > 12 км. Одним из вероятных объяснений этого феномена может быть существование тонкого гетерогенного слоя между верхней корой и промежуточным комплексом (трещиноватость, выветривание и др. приповерхностной части кристаллической коры) [2]. В случае близких к нормальным углам падения (в ближней зоне) большая часть энергии падающей волны рассеивается неоднородностями гетерогенного слоя. В дальней зоне возникает эффект “волнового спекания” неоднородностей. Физический смысл этого эффекта заключается в том, что в дальней зоне происходит интерференция когерентных “хвостов” дифрагированных волн от отдельных неоднородностей, в результате чего формируется интенсивная многофазная волна, идентичная по кинематике отражённой волне. При этом в ближней зоне амплитуды одиночных дифракций остаются близкими к уровню

*Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга, Москва*

\* E-mail: [vich@vniio.nw.ru](mailto:vich@vniio.nw.ru)



**Рис. 1.** Модель волнового поля котловины Подводников. а) – запись зондирования МОБ-МПВ (зонд. 1 на рис. 3), б) – фрагмент разреза МОБ-ОГТ (проходит через точку зондирования); индексы волн:  $P_{INM}P$  – отражённая от поверхности промежуточного комплекса (основания стратифицированных отложений),  $P_{INM}$  – рефрагированная в промежуточном комплексе,  $P_B P$  – отражённая от верхнекоревой границы (от кристаллического основания),  $P_B$  – рефрагированная в верхней коре; серыми линиями показаны результаты лучевого моделирования (рассчитанные годографы  $P$ -волн).

шума [3]. Такой подход объясняет отсутствие рефлексоров от верхнекоревой границы на разрезах МОБ-ОГТ.

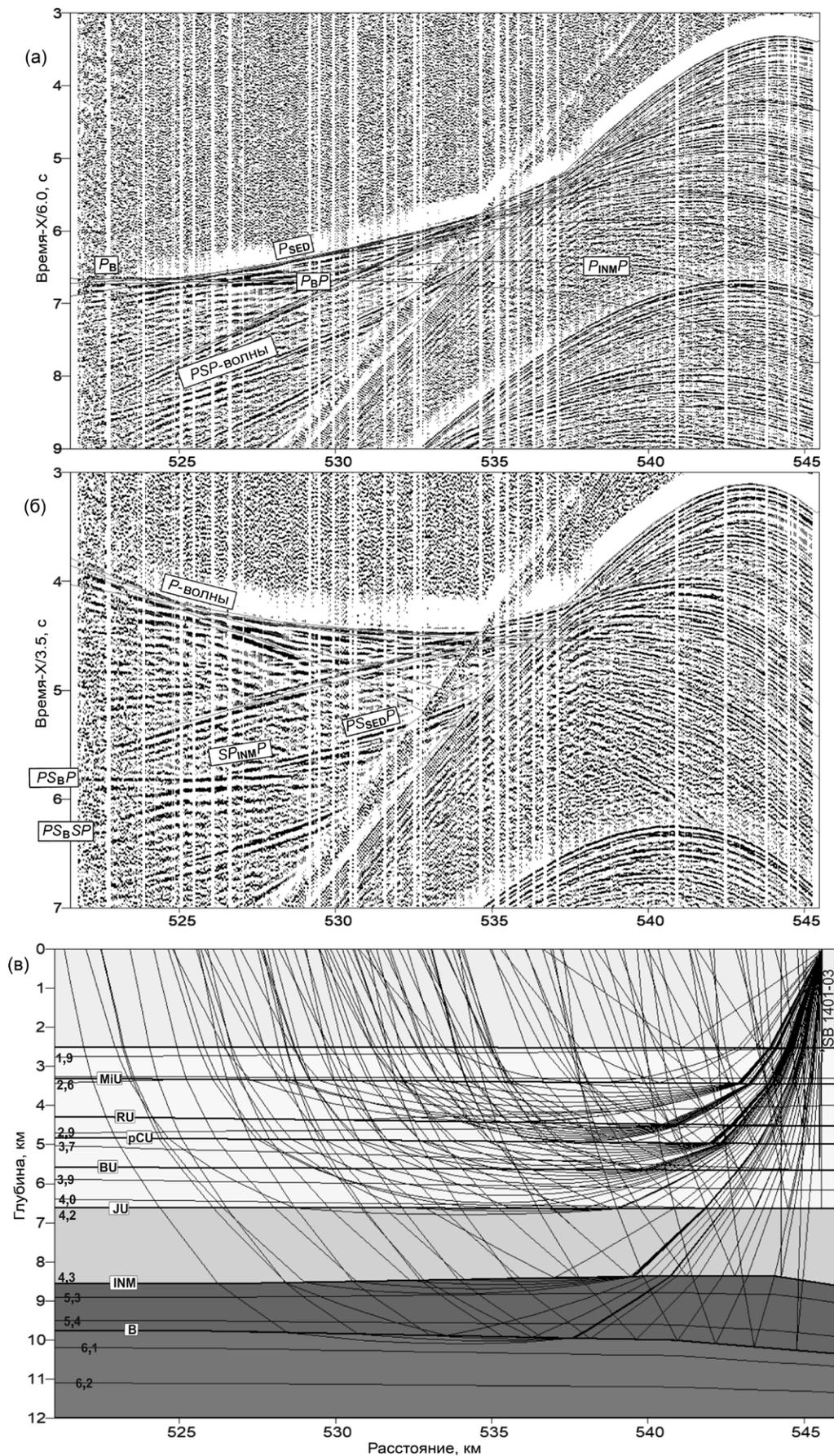
Дифракционная природа волны  $P_B P$  подтверждается математическим 2D-моделированием методом конечных разностей. При численном описании границы В как гладкой скоростной границы I рода на синтетической записи волна  $P_B P$  характеризуется высокими амплитудами как в ближней, так и дальней зонах. При вводе в математическую модель тонкого градиентного слоя между верхней корой и промежуточным комплексом с включением в него диффузных (хаотически ориентированных) среднемасштабных (соизмеримых с радиусом зоны Френеля) элементов [2], волна  $P_B P$  в ближней зоне заметно затухает, а в дальней сохраняет интенсивность.

Теперь рассмотрим характерную модель прогиба Вилькицкого (рис. 2). Она получена средствами лучевого моделирования данных зондирования МОБ-МПВ, согласованных с данными МОБ-ОГТ для учёта влияния рельефа границ на значения скоро-

стей. На сейсмической записи зондирования в дальней зоне в первые вступления выходит продольная волна  $P_B$ , рефрагированная в верхней коре, по которой определяется граничная скорость кристаллического основания; 6,0 км/с – скорость, типичная для верхней континентальной коры (рис. 2а). В последующих вступлениях дальней зоны прослеживаются волны, которые интерпретируются как обменные ( $PSP$ -волны). В частности, на записи видна интенсивная обменная  $PS_B P$  волна, рефрагированная в верхней коре как поперечная волна вертикальной поляризации ( $SV$ -волна). Она характеризуется скоростью 3,5 км/с (рис. 2б), что даёт  $V_p/V_s = 1,71$  – соотношение, типичное для верхней континентальной коры.

Важно отметить, что высокоамплитудные  $PSP$ -волны фиксируются на записях зондирований только в той части котловины Подводников, которая структурно связана с глубоководным продолжением шельфового Северо-Чукотского прогиба – прогибом Вилькицкого. За пределами прогиба Вилькицкого обменные волны не выделяются (рис. 1а). Этот фе-

**Рис. 2.** Модель прогиба Вилькицкого. зонд. 2 на рис. 3; а) – запись зондирования в редукции 6,0 км/с, б) – запись зондирования в редукции 3,5 км/с; индексы волн:  $P_{SED}$  – продольные рефрагированные в стратифицированном осадочном чехле,  $P_{INM}P$  – продольная отражённая от поверхности промежуточного комплекса,  $P_B$  – продольная рефрагированная в верхней коре,  $PS_{SED}P$  – обменные рефрагированные в осадочном чехле,  $PS_{INM}P$  – обменная рефрагированная в промежуточном комплексе,  $PS_B P$  – обменная рефрагированная в верхней коре; в) – глубинная скоростная модель; индексы и возраст несогласий (обоснован в [4]): MiU – верхнемиоценовое, RU – региональное предмиоценовое, pCU – посткампанское, BU – брукское, JU – верхнеюрское, INM – поверхность промежуточного комплекса, B – верхнекоревая граница (кристаллическое основание); 5,3 – значения скорости  $P$ -волн в км/с.



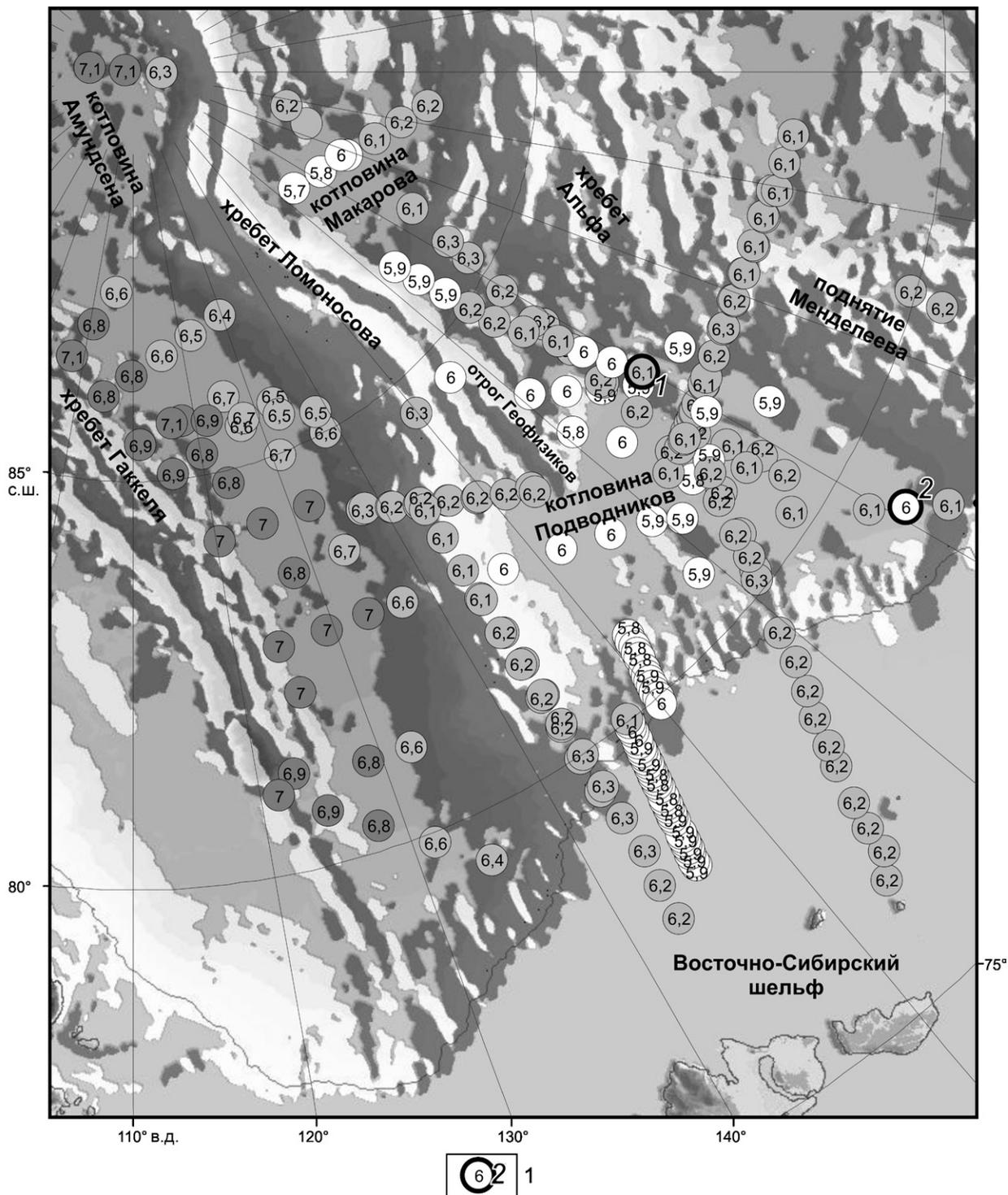


Рис. 3. Схема широкоугольных зондирований МОВ-МПВ в Центрально-Арктической области. 1 – зондирования МОВ-МПВ, рассматриваемые в работе, 6,1 – граничная скорость (км/с) в кристаллическом основании.

номен с геологических позиций пока объяснить трудно. Не исключено, что для его корректной геологической интерпретации математическое моделирование придётся дополнить физическим моделированием. Но в любом случае выделение интенсивных обменных волн на записях зондирований

МОВ-МПВ, как и прослеживание доверхнеюрских комплексов в стратифицированном осадочном чехле на разрезах МОВ-ОГТ [4], являются сейсмическими признаками для картирования в котловине Подводников глубоководного продолжения Северо-Чукотского прогиба.

На рис. 3 показана схема широкоугольных зондирований в Центрально-Арктической области с указанием граничных скоростей в кристаллическом основании, определённых по рефрагированным  $P_V$ -волнам. Как видно на схеме, значения этих скоростей в котловине Подводников (5,9–6,2 км/с) характерны для верхней континентальной коры и контрастно отличают её от котловины Амундсена, где скорости рефрагированных  $P_V$ -волн (6,8–7,1 км/с) типичны для III-го океанического слоя.

Таким образом, сейсмические характеристики фундамента в бассейне Вилькицкого–Подводников, прежде всего его скоростные характеристики 5,9–6,2 км/с, соотношение  $V_P/V_S=1,71$ , дифракционный характер отражений от фундамента, свидетельствуют о континентальной природе бассейна и указывают на то, что его тектоническое развитие началось на доокеаническом этапе эволюции Арктики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артюшков Е.В., Чехович П.А.* Глубокие осадочные бассейны в акватории российской Арктики: механизмы образования, перспективы нефтегазоносности, обоснование принадлежности к континентальному шельфу // Арктика: экология и экономика. 2015. № 2 (18). С. 26–34.
2. *Караев Н.А., Лукашин Ю.П.* Сейсмическая гетерогенность земной коры в изображениях поля рассеянных волн. М.: ЕАГЕ Геомодель. 2016. С. 43–53.
3. *Половков В.В., Попов Д.А., Мусин М.В.* Природа сейсмических отражений в консолидированной земной коре. Геофизические методы исследования Земли и её недр. Мат. X межд. науч.-практич. конкурс-конф. мол. спец. «Геофизика-2015». 2016. С. 91–101.
4. *Поселов В.А., Буценко В.В., Жолондз С.М., Жолондз А.С., Киреев А.А.* Сейсмостратиграфия осадочного бассейна котловины Подводников и Северо-Чукотского прогиба // ДАН. 2017. Т. 474. № 5. С. 621–624.
5. *Geologic Structures of the Arctic Basin / A. Piskarev, V. Poselov, V. Kaminsky (eds.) / Springer Int. Publ. AG. Part of Springer Nature 2019. 375 p.*
6. *Grantz A., Hart P., Childers V.* Geology and Tectonic Development of the Amerasia and Canada Basins, Arctic Ocean // Arctic Petrol. Geology. London. 2011. № 35. P. 771–799.
7. *Nikishin A.M., Petrov E.I., Malyshev N.A., Ershova V.P.* Rift Systems of the Russian Eastern Arctic Shelf and Arctic Deep-Water Basins: Link Between Geological History and Geodynamics // Geodynamics & tectonophysics. 2017. V. 8. Iss. 1. P. 11–43.
8. *Pease V., Drachev S., Stephenson R., Zhang X.* Arctic Lithosphere – An Overview // Tectonophysics. 2014. V. 628. P. 1–25.

## SEISMIC ATTRIBUTES OF BASEMENT IN PODVODNIKOV BASIN

V. V. Butsenko, V. A. Poselov, S. M. Zholondz, O. E. Smirnov

Presented by Academician of the RAS G.S. Golitsyn March 1, 2019

Received February 19, 2019

*I.S. Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World's Ocean, Moscow, Russian Federation*

The seismic attributes of the basement in the Podvodnikov Basin (primarily its P-wave velocities (5.9–6.2 km/s), the  $V_P/V_S$  ratio (1.71), the characteristic diffraction features of reflections from the basement) indicate the continental origin of the basin and suggest that its tectonic evolution began at the pre-oceanic stage of geological history of the Arctic.

**Keywords:** Arctic, Podvodnikov Basin, seismic reflection/refraction soundings, pressure (P-waves) and converted (PSP-waves) reflection and refraction waves, ray-tracing modeling, basement, mathematical simulation.