



TECTONIC ZONING OF THE SEDIMENTARY COVER OF THE SEA OF OKHOTSK BASED ON LITHOPHYSICAL, STRUCTURAL AND STRUCTURAL-LITHOPHYSICAL INDICATORS

V. P. Semakin, A. V. Kochergin, T. I. Pitina

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract: In terms of tectonics, the Sea of Okhotsk (Fig.1) is the epi-Mesozoic Okhotsk plate comprising the heterogeneous basement that is mainly pre-Cenozoic (the lower structural stage) and the sedimentary cover that is mainly represented by the Paleogene-Neogenic-Quaternary deposits with the Upper Cretaceous sedimentary rocks observed locally without a visible hiatus (the upper structural stage).

Results of *tectonic zoning of the sedimentary cover based on lithophysical indicators* (Fig. 2) are represented in the format of maps showing lithophysical complexes (LC) within the limits of four regional seismo-stratigraphic complexes/structural layers (RSSC I–IV) corresponding to the following time intervals: the pre-Oligocene K_2 – $P_{1,2}$ (RSSC I), the Oligocene – Lower Miocene P_3 – N_1^1 (RSSC II), the Lower-Mid Miocene N_1^{1-2} (RSSC III), and the Upper Miocene – Pliocene N_1^3 – N_2 (RSSC IV). Diverse lithological-facies associations composing the RSSCs are grouped into the following lithophysical complexes (LC): 1 – coal-bearing silty-clayey-sandy terrigenous, 2 – sandy-silty-clayey terrigenous, 3 – silty-clayey-siliceous, and 4 – sandy-silty-clayey volcanic [Sergeyev, 2006].

Tectonic zoning of the sedimentary cover based on structural indicators is carried out with reference to the sediment-thickness map [Sergeyev, 2006], including a significantly revised segment showing the area of the Deryugin basin [Semakin, Kochergin, 2013]. Results of such zoning are represented in the format of a structural-tectonic map (Fig. 3) showing orientations and morphology of the structural elements of the sedimentary cover, the thickness of the sedimentary cover, and amplitudes of relative uplifts and troughs.

With reference to the structural-tectonic map (see Fig 3), the structural elements of different orders are grouped by their sizes, spatial positions and orientations and thus comprise tectonic systems (Fig. 4), structural zones (Fig. 5) that include relative uplifts and troughs that are considered as structural elements of smaller sizes (Fig. 6)

Tectonic zoning of the sedimentary cover based on the structural-lithophysical indicators (Fig. 7–10) is carried out with reference to the maps of the lithophysical complexes of the four regional seismo-stratigraphic complexes/structural layers (see Fig. 2) and the map of high-order structural elements in the sedimentary cover (see Fig. 6).

Key words: sedimentary cover, tectonic system, structural zone, structural element, uplift, trough, the Sea of Okhotsk.

Recommended by E.V. Sklyarov

Citation: Semakin V.P., Kochergin A.V., Pitina T.I. 2014. Tectonic zoning of the sedimentary cover of the Sea of Okhotsk based on the lithophysical, structural and structural-lithophysical indicators. *Geodynamics & Tectonophysics* 5 (4), 1059–1075. doi:10.5800/GT-2014-5-4-0168.

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ОХОТСКОГО МОРЯ ПО ЛИТОФИЗИЧЕСКИМ, СТРУКТУРНЫМ И СТРУКТУРНО-ЛИТОФИЗИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

В. П. Семакин, А. В. Кочергин, Т. И. Питина

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Аннотация: Охотское море (рис. 1) в тектоническом отношении рассматривается как Охотоморская эпимезозойская плита, в строении которой выделяются гетерогенный фундамент, преимущественно докайнозойского возраста (нижний структурный этаж), и осадочный чехол, представленный в основном палеоген-неоген-четвертичными отложениями и на отдельных участках без видимого перерыва – нормально-осадочными образованиями верхнего мела (верхний структурный этаж).

Тектоническое районирование осадочного чехла по литофизическим признакам (рис. 2) выполнено в форме карт литофизических комплексов в рамках четырех региональных сейсмостратиграфических комплексов (РССК I-IV – структурных ярусов), соответствующих следующим временным интервалам: доолигоценый K_2 – P_{1-2} (РССК I), олигоцен-нижнемиоценовый P_3 – N_1^1 (РССК II), нижне-среднемиоценовый N_1^{1-2} (РССК III) и верхнемиоцен-плиоценовый N_1^3 – N_2 (РССК IV). Поскольку РССК включают в себя разные вещественно-фациальные ассоциации, то для их дифференциации введены следующие литофизические комплексы (ЛК): 1 – алеврито-глинисто-песчаный терригенный с углями, 2 – песчано-алеврито-глинистый терригенный, 3 – алеврито-глинисто-кремнистый и 4 – песчано-алеврито-глинистый вулканогенный [Sergeyev, 2006].

Тектоническое районирование осадочного чехла по структурным признакам проведено на базе карты мощности осадочного чехла [Sergeyev, 2006] существенно уточненной для района впадины Дерюгина [Semakin, Kochergin, 2013], в результате чего составлена структурно-тектоническая карта (рис. 3, 3а), которая отражает ориентировку структурных элементов осадочного чехла, их морфологию, мощность осадков и амплитуды относительных поднятий и прогибов.

На основе структурно-тектонической карты (рис. 3), в зависимости от размеров, пространственного положения и ориентировки структурных элементов разных порядков, проведено их объединение в тектонические системы (рис. 4) и структурные зоны (рис. 5), включающие более мелкие по размерам структурные элементы в форме относительных поднятий и прогибов (рис. 6).

Тектоническое районирование осадочного чехла по структурно-литофизическим признакам (рис. 7–10) выполнено на основании карт литофизических комплексов четырех региональных сейсмостратиграфических комплексов (структурных ярусов) (рис. 2) и карты высокопорядковых структурных элементов осадочного чехла (рис. 6).

Ключевые слова: осадочный чехол, тектоническая система, структурная зона, структурный элемент, поднятие, прогиб, Охотское море.

1. ВВЕДЕНИЕ

Результатами ранее проведенных исследований установлено, что Охотское море (рис. 1) характеризуется высоким уровнем содержания метана [Kulinich, Obzhirov, 2003; Obzhirov et al., 1999; Obzhirov et al., 2012], интенсивной барит-карбонатной минерализацией [Astakhova, Sorochinskaya, 2001; Kulinich, Obzhirov, 2003; Obzhirov et al., 1999], наличием железо-марганцевых образований [Astakhova, Sattarova, 2005], ртути [Astakhov et al., 2007] и других рудных элементов [Astakhov et al., 2005]. В Охотском море выявлены газовые гидраты [Obzhirov et al., 2007; Telegin, 2011; Veselov et al., 2000], а с целью оценки углеводородного потенциала в Охотоморском регионе выделены и описаны в рамках четырех региональных сейсмостратиграфических комплексов (РССК I-IV) десять осадочно-породных бассейнов (ОПБ) [Sergeyev, 2006]. Однако ОПБ охарактеризованы без привлечения картографических материалов. Выделение и характеристика осадочно-породных бассейнов на акватории находятся в тесной зависимости от детальности геолого-геофизической изученности. С учетом вышеприведенного, нами впервые для всей территории Охотского моря выполнено комплексное тектоническое районирование осадочного чехла по литофизическим, структурным и

структурно-литофизическим признакам. Районирование осадочного чехла по структурным признакам проведено также для островного склона Курильского желоба. Подобный принцип тектонического районирования осадочного чехла предложен и апробирован нами ранее на примере района впадины Дерюгина (Охотское море) [Semakin, Kochergin, 2013].

2. ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ОХОТСКОГО МОРЯ ПО ЛИТОФИЗИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

Указанное тектоническое районирование базируется в основном на материалах палеогеографических схем литофизических комплексов, опубликованных в [Sergeyev, 2006], при этом черно-белые палеогеографические схемы путем компьютерной обработки преобразованы в цветные карты литофизических комплексов, которые использованы для тектонического районирования осадочного чехла как по литофизическим, так и по структурно-литофизическим признакам (см. раздел 4).

В осадочном чехле Охотского моря выделено четыре региональных сейсмостратиграфических комплекса (РССК I-IV), соответствующих следующим времен-

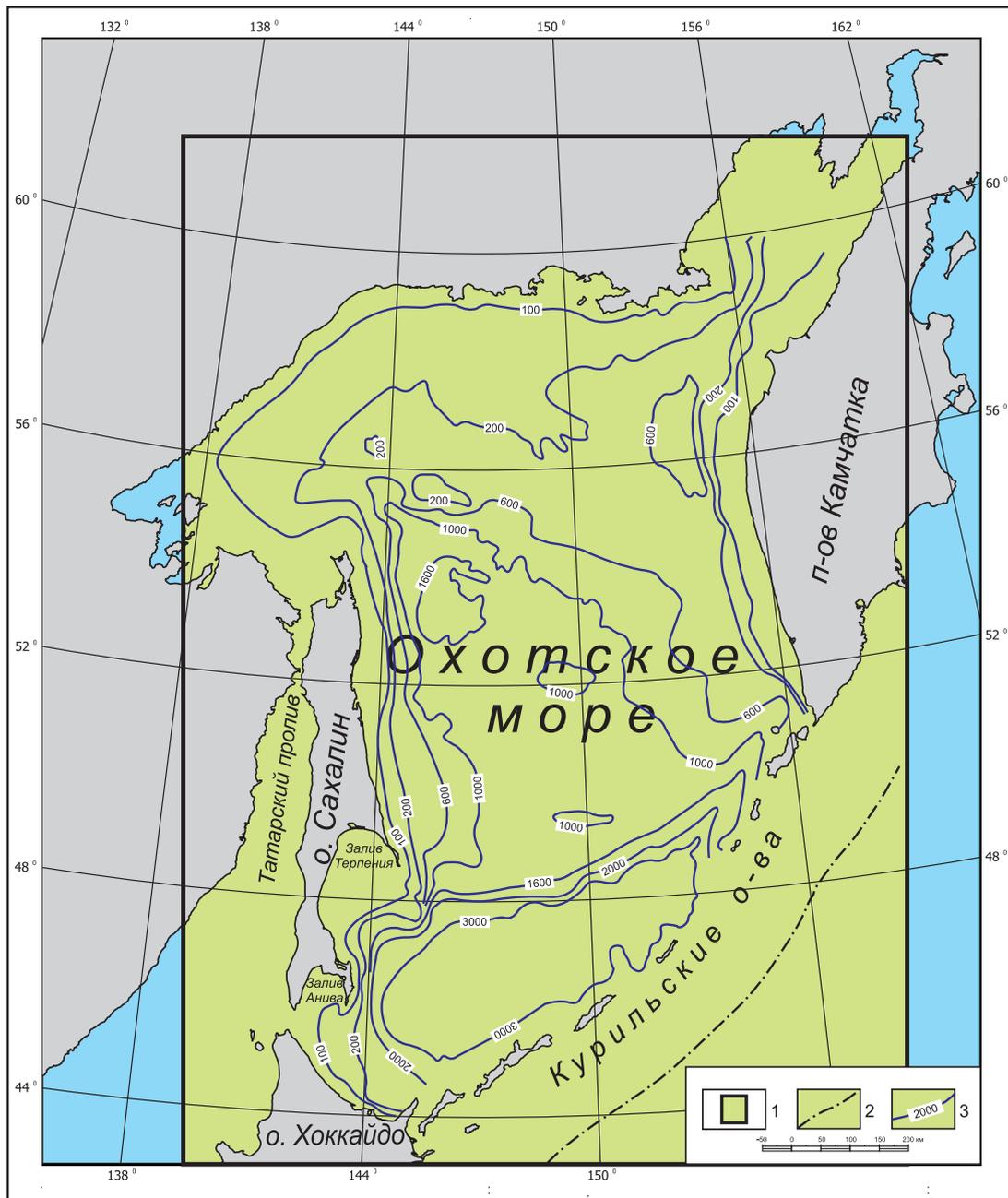


Рис. 1. Схема расположения района исследований.

1 – район исследований; 2 – ось Курильского желоба; 3 – изобаты.

Fig. 1. The location scheme of the area under study.

1 – the location of the area under study; 2 – axis of the Kuril trench; 3 – isobaths.

ным интервалам: доолигоценый K_2 – P_{1-2} (РССК I), олигоцен-нижнемиоценовый – P_3 – N_1^1 (РССК II), нижне-среднемиоценовый – N_1^{1-2} (РССК III) и верхнемиоцен-плиоценовый – N_1^3 – N_2 (РССК IV), которые в тектоническом отношении рассматриваются нами как структурные ярусы. Поскольку РССК включают в себя разные вещественно-фациальные ассоциации, для их дифференциации введены следующие литофизические комплексы (ЛК): 1 – алеврито-глинисто-песчаный тер-

ригенный с углями, 2 – песчано-алеврито-глинистый терригенный, 3 – алеврито-глинисто-кремнистый и 4 – песчано-алеврито-глинистый вулканогенный [Sergeev, 2006].

Тектоническое районирование осадочного чехла Охотского моря по литофизическим признакам выполнено в форме карт литофизических комплексов в рамках четырех региональных сеймостратиграфических комплексов (структурных ярусов) (рис. 2).

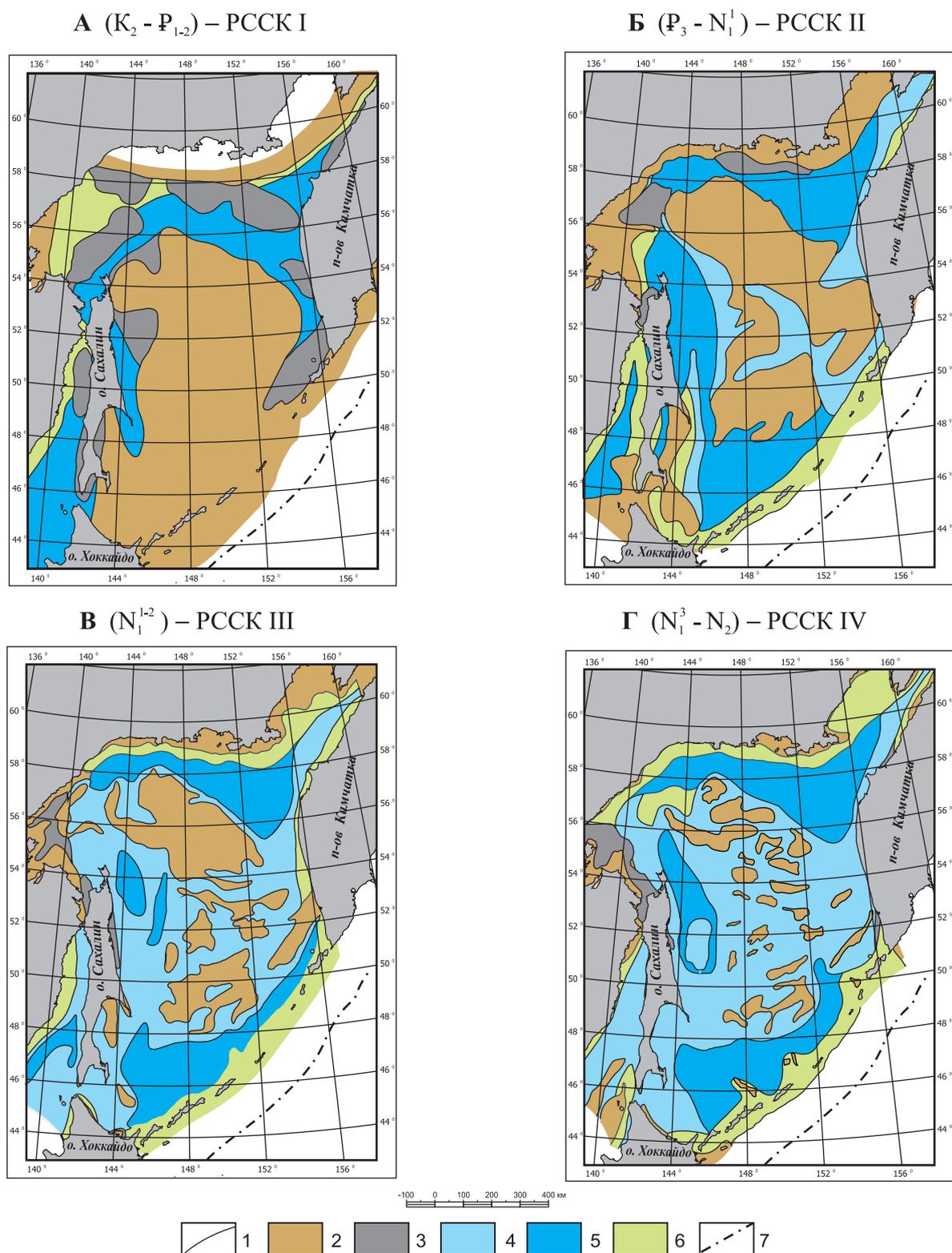


Рис. 2. Тектоническое районирование осадочного чехла Охотского моря по литофизическим признакам.

А, Б, В, Г – карты литофизических комплексов в рамках региональных сейсмостратиграфических комплексов (структурных ярусов) четырёх временных интервалов. 1 – границы литофизических комплексов; 2 – области отсутствия отложений; 3–6 – литофизические комплексы: 3 – алеврито-глинисто-песчаный терригенный с углями, 4 – песчано-алеврито-глинистый терригенный, 5 – алеврито-глинисто-кремнистый, 6 – песчано-алеврито-глинистый вулканогенный; 7 – ось Курильского желоба.

Fig 2. Tectonic zoning of the sedimentary cover of the Sea of Okhotsk based on lithophysical indicator.

А, Б, В, Г – maps of lithophysical complexes within the limits of regional seismo-stratigraphical complexes / structural layers of the four time intervals. 1 – boundaries of lithophysical complexes; 2 – areas barren of sediments; 3–6 – lithophysical complexes: 3 – silty-clayey-sandy terrigenous with coals, 4 – sandy-silty-clayey terrigenous, 5 – silty-clayey-siliceous, 6 – sandy-silty-clayey volcanic; 7 – axis of the Kurile trench.

3. ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ОХОТСКОГО МОРЯ И ОСТРОВНОГО СКЛОНА КУРИЛЬСКОГО ЖЕЛОБА ПО СТРУКТУРНЫМ ПРИЗНАКАМ

3.1. СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ КАРТА ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

Тектоническое районирование осадочного чехла по структурным признакам проведено на базе карты мощности осадочного чехла Охотского моря и островного склона Курильского желоба [Sergeyev, 2006]. В результате составлена структурно-тектоническая карта (рис. 3), которая, в отличие от ранее опубликованной подобной карты [Sergeyev, 2006], существенно уточнена для района впадины Дерюгина [Semakin, Kochergin, 2013], а также на прилегающих участках. Для района заливов Терпения и Анива приведена врезка в увеличенном масштабе (см. рис. 3а), границы которой показаны на рис. 3.

При построении карты (см. рис. 3) в качестве исходной («структурной») поверхности принята поверхность акустического фундамента. На карте оконтурены выходы акустического фундамента на поверхность дна, проведены оси относительных поднятий и прогибов, выделены подножья флексур и тектонических уступов акустического фундамента. Карта отражает ориентировку структурных элементов осадочного чехла, их морфологию, мощность осадков и амплитуды относительных поднятий и прогибов.

На основе структурно-тектонической карты (см. рис. 3) в зависимости от размеров, пространственного положения и ориентировки структурных элементов разных порядков проведено их объединение в тектонические системы (рис. 4), в пределах которых выделены структурные зоны (рис. 5), включающие более мелкие по размерам структурные элементы в форме относительных поднятий и прогибов (рис. 6).

3.2. СХЕМА ТЕКТОНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

На территории Охотского моря и островного склона Курильского желоба в осадочном чехле нами выделяются следующие шесть тектонических систем: I – Прибрежно-Материковая, II – Прикамчатская, III – Присахалинская, IV – Центрально-Охотская, V – Курило-Южно-Охотская и VI – Восточно-Курильская (см. рис. 4).

В рамках тектонических систем выделено 29 структурных зон (см. рис. 5).

3.3. СХЕМА СТРУКТУРНЫХ ЗОН ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

В Прибрежно-Материковой системе (I на рис. 4) выделено 5 структурных зон (см. рис. 5), из которых Шантарская зона (1 на рис. 5) вытянута в северо-восточном направлении, тогда как формы остальных зон (2–5 на рис. 5) близки к изометричным. Прикам-

чатская тектоническая система (II на рис. 4) включает три зоны (6, 7 и 8 на рис. 5), из которых ориентировка первых двух зон в общем соответствует направлению западной береговой линии Камчатки, а Южно-Камчатская зона (8 на рис. 5) в большей своей части имеет юго-западное направление. В Присахалинской системе (III на рис. 4) выделено 8 зон (9–16 на рис. 5), из которых узкая Восточно-Сахалинская зона (10 на рис. 5) имеет довольно сложные очертания, но в целом вытянута в северо-северо-западном направлении. Северо-Сахалинская зона (9 на рис. 5) ориентирована в северо-северо-западном направлении и с юго-востока ограничивается Южно-Дерюгинской зоной (11 на рис. 5), которая вытянута в северо-восточном направлении. Центрально-Сахалинская зона (12 на рис. 5) по аналогии с Северо-Сахалинской зоной (9 на рис. 5) с юго-востока также ограничивается поперечной Присклоновой зоной (13 на рис. 5), отчетливо ориентированной в северо-восточном направлении. Очертания структурных зон 14, 15, 16 (см. рис. 5) близки к изометричным.

Центрально-Охотская система (IV на рис. 4) насчитывает 7 структурных зон (17–23 на рис. 5), которые условно можно разделить на две группы. В первую группу входят зоны Центрально-Охотская (17 на рис. 5), Кашеваровская (18), ТИНРО (19) и Срединно-Охотская (20). Зоны Центрально-Охотская (17) и Кашеваровская (18) отчетливо ориентированы в северо-западном направлении, зона ТИНРО (19) – в субмеридиональном, а Срединно-Охотская (20) – в субширотном направлении. Во вторую группу входят зоны Института Океанологии (21 на рис. 5) и Академии Наук СССР (23 на рис. 5), имеющие очертания, близкие к изометричным, которые разделены относительно узкой Макаровской зоной (22 на рис. 5), ориентированной в северо-восточном направлении. В состав Курило-Южно-Охотской системы (V на рис. 4) входят три зоны – Охотско-Северо-Курильская (см. 24 на рис. 5), Охотско-Центрально-Курильская (25) и Хоккайдо-Южно-Курильская (26), из которых зоны 24 и 26 в целом совпадают с направлением островов Большой Курильской гряды, а ориентация зоны 25 в общем близка к широтной. Восточно-Курильская система (VI на рис. 4) включает две протяженные зоны – Северо-Курильскую (27 на рис. 5) и Южно-Курильскую (29), ориентированные в соответствии с направлениями желоба и островов Большой Курильской гряды, разделенных узкой Поперечной зоной (28 на рис. 5), которая является своеобразной границей, несколько изменяющей простираемость зон 27 и 29.

3.4. КАРТА СТРУКТУРНЫХ ЗОН И ВЫСОКОПОРЯДКОВЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

Указанная карта (рис. 6) составлена на базе структурно-тектонической карты (см. рис. 3) и схемы структурных зон (см. рис. 5). На карте проведены границы структурных зон (условные границы второго типа

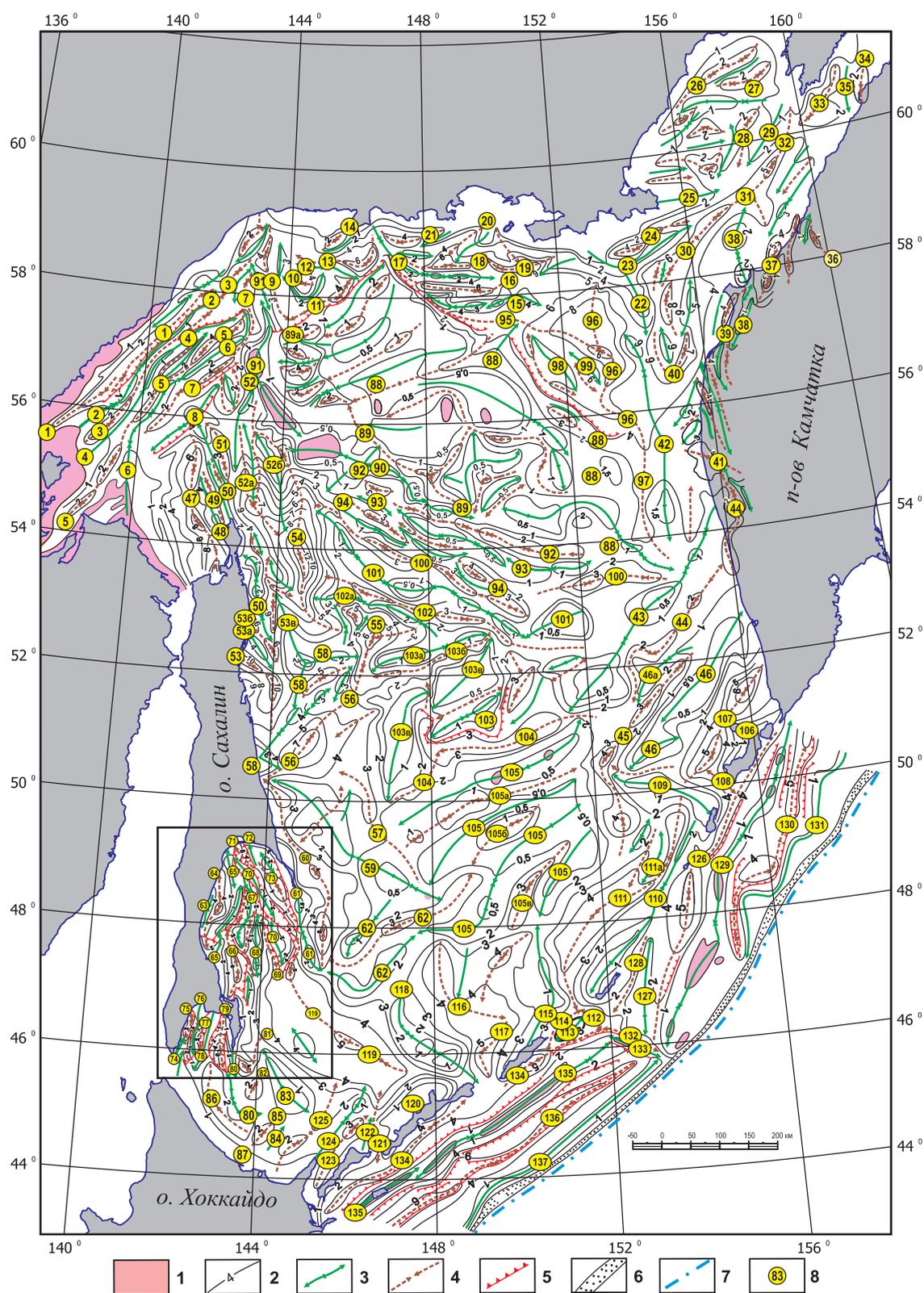


Рис. 3. Структурно-тектоническая карта осадочного чехла Охотского моря и островного склона Курильского жёлоба.

1 – выходы акустического фундамента на дно моря; 2 – изопахиты (в км); 3 – оси относительных поднятий; 4 – оси относительных прогибов; 5 – подножья флексур и тектонических уступов фундамента; 6 – Курильская аккреционная призма; 7 – ось Курильского жёлоба; 8 – номера высокопорядковых структурных элементов (соответствуют номерам на рис. 3а, 5–10).

Fig. 3. The structural-tectonic map of the sedimentary cover of the Sea of Okhotsk and the island slope of the Kuril trench.

1 – seafloor exposures of the acoustic basement; 2 – isopachs (km); 3 – axes of relative uplifts; 4 – axes of relative troughs; 5 – foot of flexures and tectonic scarps of the basement; 6 – Kuril accretion prism; 7 – axis of the Kuril trench; 8 – numbers of high-order structural elements (same as in Figures 3a, 5–10).

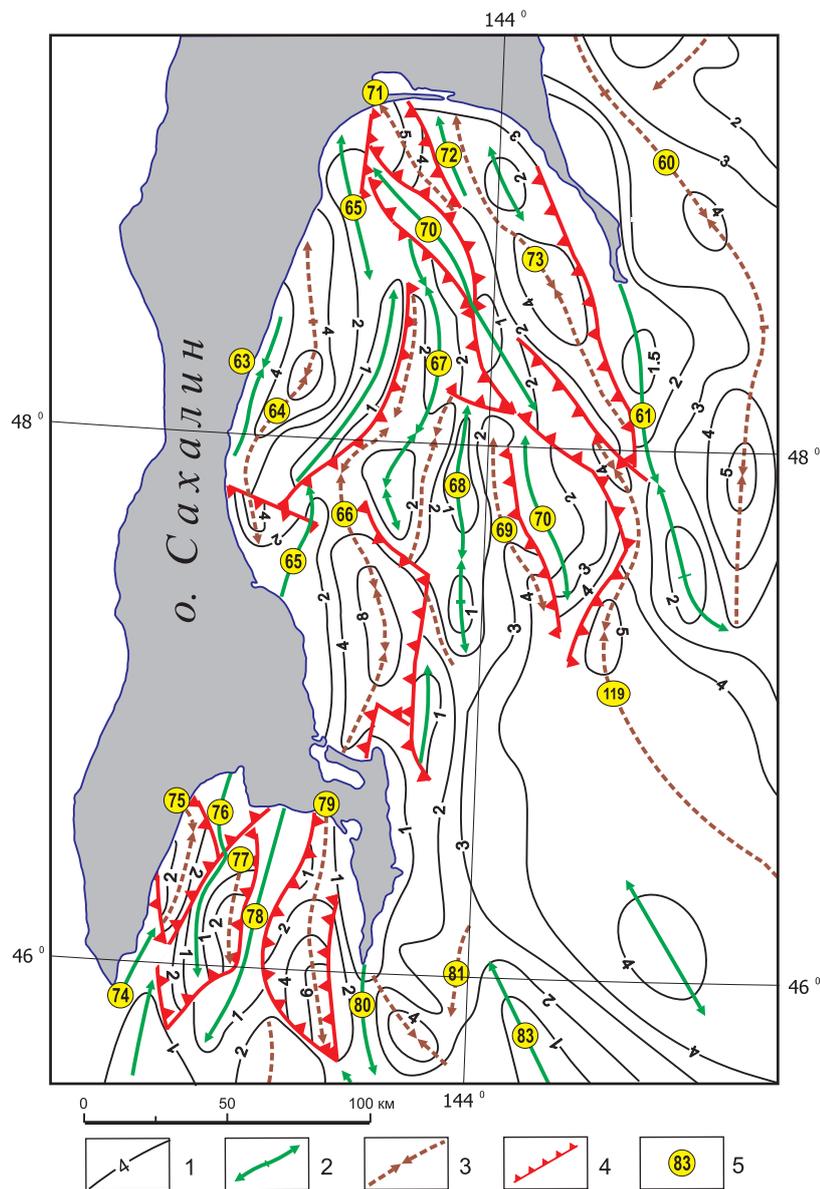


Рис. 3а. Врезка к рисунку 3.

1 – изопахиты (в км); 2 – оси относительных поднятий; 3 – оси относительных прогибов; 4 – подножья флексур и тектонических уступов фундамента; 5 – номера высокопорядковых структурных элементов (соответствуют номерам на рис. 3, 5–10).

Fig. 3a. Inset to Fig. 3.

1 – isopachs (km); 2 – axes of relative uplifts; 3 – axes of relative troughs; 4 – foot of flexures and tectonic scarps of the basement; 5 – numbers of high-order structural elements (same as in Figures 3, 5–10).

[Kosygin, 1974]), западная граница высокопорядковых структурных элементов в Кашеваровской зоне (см. 89а на рис. 6), оси относительных поднятий и прогибов, а также показаны подножья флексур и тектонических уступов фундамента.

В северной части Северо-Сахалинской зоны (9 на рис. 6) субмеридионально ориентированные высокопорядковые структурные элементы 47, 50, 51 и другие почти под прямым углом контактируют со структурными элементами 7 и 8, ориентированными в северо-восточном направлении и входящими в состав Шан-

тарской зоны (1 на рис. 6), т.е. здесь устанавливается система разломов северо-восточного простирания (см. рис. 3 и 6).

На юге Северо-Сахалинской зоны (9 на рис. 6) структурные элементы 53-53в под углами подходят к структурным элементам 58, входящим в состав Южно-Дерюгинской зоны – 11. Аналогичная картина наблюдается также в районе сочленения структурных элементов 59 и 61 (Центрально-Сахалинская зона – 12) со структурными элементами 62 (Присклоновая зона – 13).

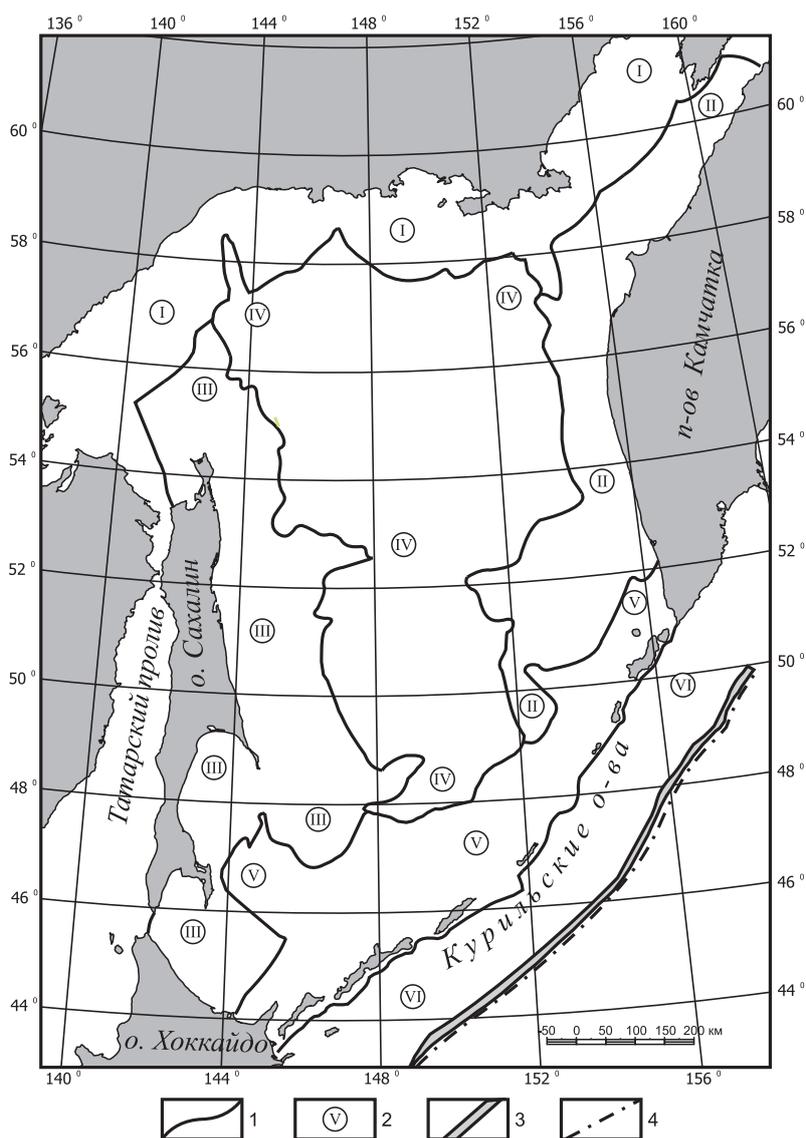


Рис. 4. Схема тектонических систем осадочного чехла Охотского моря и островного склона Курильского желоба.

1 – границы тектонических систем (условные границы второго типа [Kosygin, 1974]); 2 – номера тектонических систем; 3 – Курильская аккреционная призма; 4 – ось Курильского желоба. Тектонические системы: I – Прибрежно-Материковая, II – Прикамчатская, III – Присахалинская, IV – Центрально-Охотская, V – Курило-Южно-Охотская, VI – Восточно-Курильская.

Fig. 4. The scheme showing tectonic systems of the sedimentary cover of the Sea of Okhotsk and the island slope of the Kuril trench.

1 – boundaries of tectonic systems (arbitrary boundaries of type 2 [Kosygin, 1974]); 2 – numbers of tectonic systems; 3 – Kuril accretion prism; 4 – axis of the Kuril trench. Tectonic systems: I – Coastal-Continental, II – Near-Kamchatka, III – Near-Sakhalin, IV – Central Okhotsk, V – Kuril-South Okhotsk, VI – East Kuril.

В Кашеваровской зоне – 18 – высокопорядковые структурные элементы 92, 93 и 94 на их северо-западных окончаниях теряют свое морфологическое выражение и переходят в расширенную северо-западную часть поднятия – 90 (см. рис. 3 и 6). Высокопорядковые структурные элементы 100, 101, 102 и 102а, входящие в Срединно-Охотскую зону (20 на рис. 6), на западе почти под прямым углом ограничиваются Восточно-Сахалинской зоной (10 на рис. 6) и соответ-

ственно прогибом 54, имеющим здесь меридиональное простирание.

Для всех относительно протяженных (удлиненных) структурных зон характерна конформная ориентация с высокопорядковыми структурными элементами, расположенными в их пределах (см. рис. 6). К таким зонам, ориентированным в северо-восточном направлении, относятся следующие: Шантарская – 1 с высокопорядковыми структурными элементами – 1–8

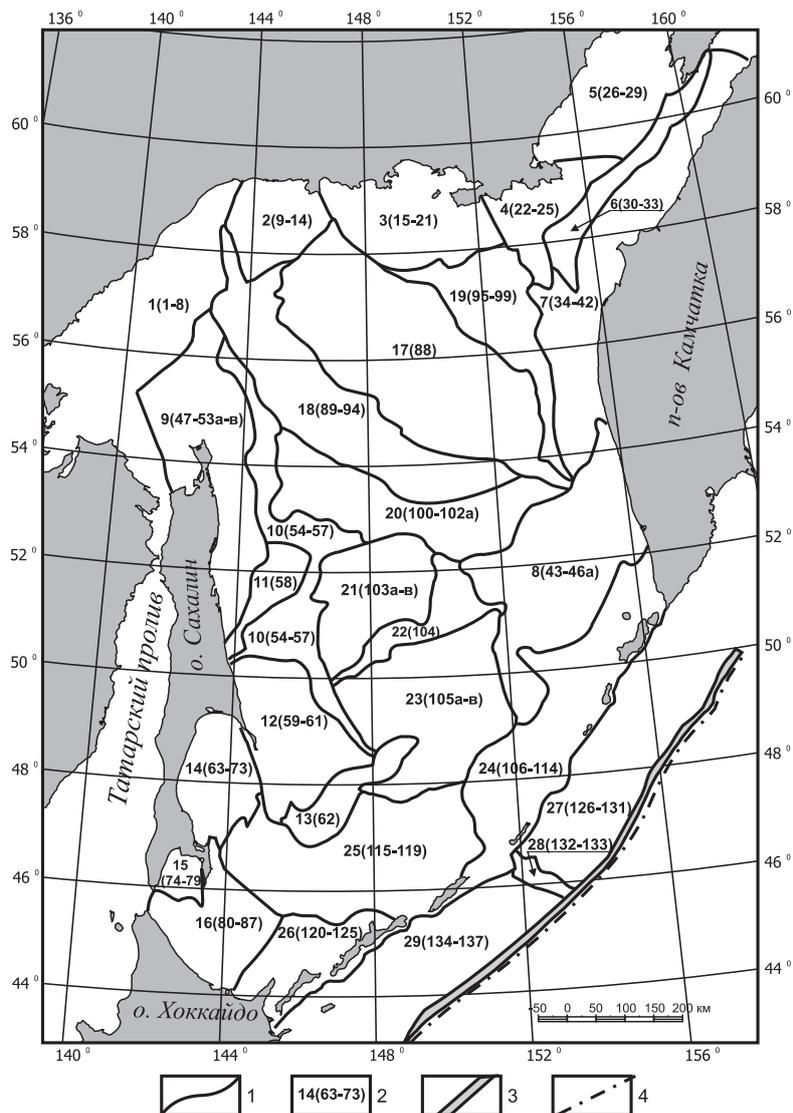


Рис. 5. Схема структурных зон осадочного чехла Охотского моря и островного склона Курильского желоба.

1 – границы структурных зон (условные границы второго типа [Kosygin, 1974]); 2 – 1–29 – номера структурных зон, номера 1–137 (в скобках) соответствуют номерам высокопорядковых структурных элементов в пределах структурных зон и на рис. 3, 3а, 6–10; 3 – Курильская аккреционная призма; 4 – ось Курильского желоба. *Структурные зоны в пределах тектонических систем. I. Прибрежно-Материковая система* (зоны 1–5): 1 (1–8) – Шантарская, 2 (9–14) – Охотско-Кухтуйская, 3 (15–21) – Магаданская, 4 (22–25) – Пьягинская, 5 (26–29) – Гижигинская. *II. Прикамчатская система* (зоны 6–8): 6 (30–33) – Шелиховско-Пенжинская, 7 (34–42) – Западно-Камчатская, 8 (43–46) – Южно-Камчатская. *III. Присахалинская система* (зоны 9–16): 9 (47–53 а–в) – Северо-Сахалинская, 10 (54–57) – Восточно-Сахалинская, 11 (58) – Южно-Дерюгинская, 12 (59–61) – Центрально-Сахалинская, 13 (62) – Присклоновая, 14 (63–73) – Залива Терпения, 15 (74–79) – Залива Анива, 16 (80–87) – Тонино-Хоккайдская. *IV. Центрально-Охотская система* (зоны 17–23): 17 (88) – Центрально-Охотская, 18 (89–94) – Кашеваровская, 19 (95–99) – ТИПРО, 20 (100–102а) – Срединно-Охотская, 21 (103а–в) – Института Океанологии, 22 (104) – Макаровская, 23 (105а–в) – Академии Наук СССР. *V. Курило-Южно-Охотская система* (зоны 24–26): 24 (106–114) – Охотско-Северо-Курильская, 25 (115–119) – Охотско-Центрально-Курильская, 26 (120–125) – Хоккайдо-Южно-Курильская. *VI. Восточно-Курильская система* (зоны 27–29): 27 (126–131) – Северо-Курильская, 28 (132–133) – Поперечная, 29 (134–137) – Южно-Курильская.

Fig. 5. The scheme showing structural zones of the sedimentary cover of the Sea of Okhotsk and the island slope of the Kuril trench.

1 – boundaries of structural zones (second-type conditional boundaries [Kosygin, 1974]); 2 – numbers of structural zones (1–29), numbers from 1 to 137 (in round brackets) correspond to the numbers of high-order structural elements of structural zones and numbers in Figures 3, 3a, 6–10; 3 – Kuril accretion prism; 4 – axis of the Kuril trench. *Structural zones within the limits of tectonic systems: I. Coastal-continental system* (zones 1–5): 1 (1–8) – Shantar, 2 (9–14) – Okhotsk-Kukhtui, 3 (15–21) – Magadan, 4 (22–25) – Pyagin, 5 (26–29) – Gizhigin. *II. Near-Kamchatka system* (zones 6–8): 6 (30–33) – Shelikhov-Penzhin, 7 (34–42) – West Kamchatka, 8 (43–46) – South Kamchatka. *III. Near-Sakhalin system* (zones 9–16): 9 (47–53 a–v) – North Sakhalin, 10 (54–57) – East Sakhalin, 11 (58) – South Deryugin, 12 (59–61) – Central Sakhalin, 13 (62) – Near-Slope, 14 (63–73) – Terpeniya Bay, 15 (74–79) – Aniva Bay, 16 (80–87) – Tonino-Hokkaido. *IV. Central Okhotsk system* (zones 17–23): 17 (88) – Central Okhotsk, 18 (89–94) – Kashevarov, 19 (95–99) – TINRO, 20 (100–102a) – Middle Okhotsk, 21 (103a–v) – Institute of Oceanology, 22 (104) – Makarov, 23 (105a–v) – the USSR Academy of Sciences. *V. Kuril-South Okhotsk system* (zones 24–26): 24 (106–114) – Okhotsk-North Kuril, 25 (115–119) – Okhotsk-Central Kuril, 26 (120–125) – Hokkaido-South Kuril. *VI. East Kuril system* (zones 27–29): 27 (126–131) – North Kuril, 28 (132–133) – Transversal, 29 (134–137) – South Kuril.

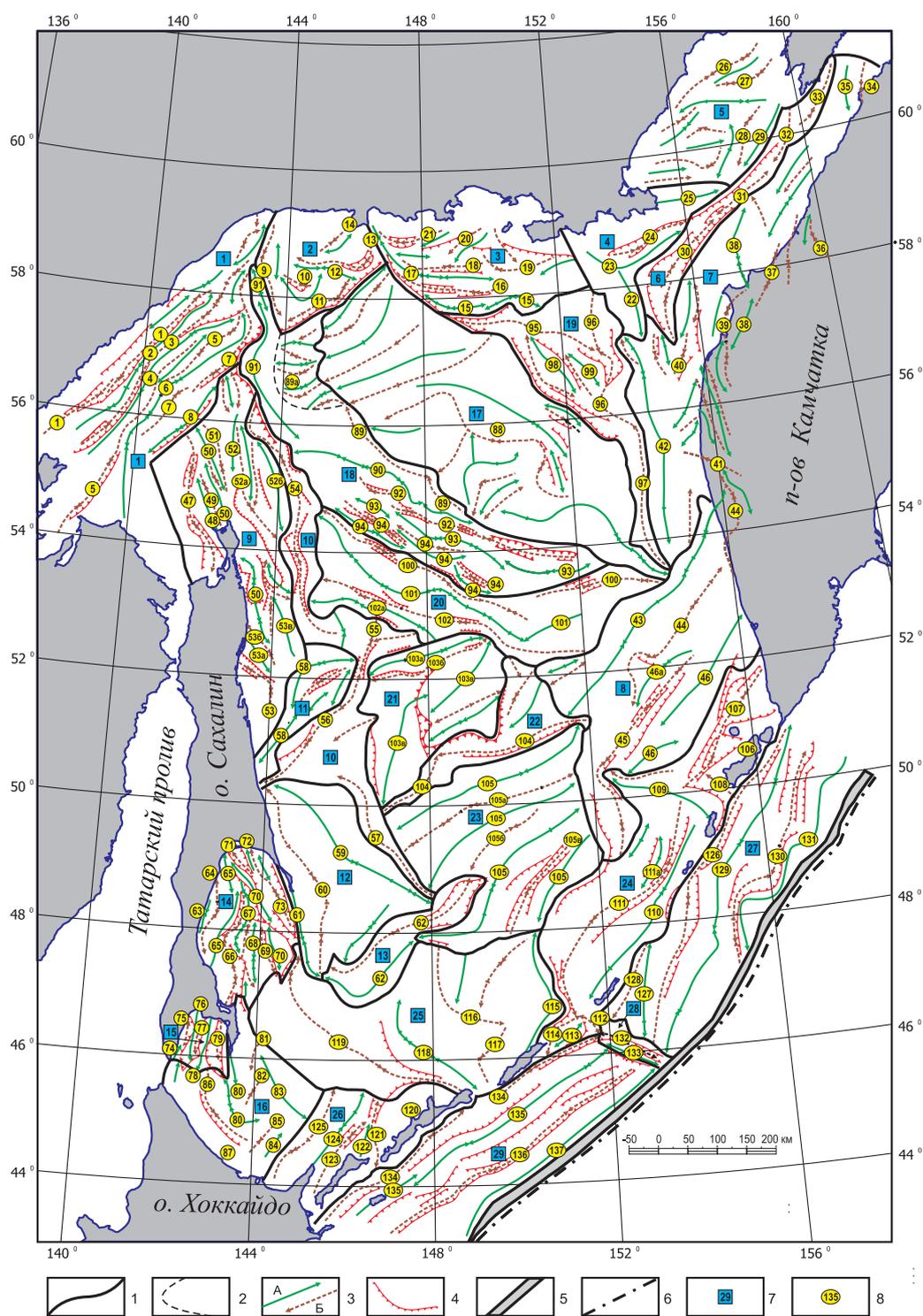


Рис. 6. Карта структурных зон и высокопорядковых структурных элементов осадочного чехла Охотского моря и островно-го склона Курильского жёлоба.

1 – границы структурных зон (см. рис. 5); 2 – западная граница высокопорядковых структурных элементов в Кашеваровской структурной зоне (см. 89а на рис. 6); 3 – оси относительных поднятий (А) и оси относительных прогибов (Б); 4 – подножья флексур и тектонических уступов фундамента; 5 – Курильская аккреционная призма; 6 – ось Курильского жёлоба; 7 – номера структурных зон (соответствуют номерам на рис. 5); 8 – номера высокопорядковых структурных элементов (соответствуют номерам на рис. 3, 3а, 5, 7–10).

Fig. 6. The map showing structural zones and high-order structural elements in the sedimentary cover of the Sea of Okhotsk and the island slope of the Kuril trench.

1 – boundaries of structural zones (see Fig. 5); 2 – western boundary of high-order structural elements in Kashevarov structural zone (see 89a in Fig. 6); 3 – axes of relative uplifts (A) and axes of relative troughs (B); 4 – foot of flexures and tectonic scarps of the basement; 5 – Kuril accretion prism; 6 – axis of the Kuril trench; 7 – numbers of structural zones (same as in Figure 5); 8 – numbers of high-order structural elements (same as in Figures 3, 3a, 5, 7–10).

(см. рис. 6), Шелиховско-Пенжинская – 6 и соответственно 30–33, Западно-Камчатская – 7 (34–42), Южно-Камчатская – 8 (43–46), Охотско-Северо-Курильская – 24 (106–114), Хоккайдо-Южно-Курильская – 26 (121–125), Северо-Курильская – 27 (126–131), Южно-Курильская – 29 (134–137) и менее протяженные зоны Южно-Дерюгинская – 11 (58), Присклоновая – 13 (62) и Макаровская – 22 (104). В ряде указанных зон намечается левокулисное расположение следующих высокопорядковых структурных элементов (см. рис. 6): 5 и 7 (Шантарская зона – 1), 32–33 (Шелиховско-Пенжинская зона – 6), 103в (зона Института Океанологии – 21), поднятия в юго-восточной части Южно-Дерюгинской зоны – 11, 135 (Южно-Курильская зона – 29) и др.

В структурных зонах, ориентированных в субмеридиональном и северо-западном направлениях, следующие высокопорядковые структурные элементы обычно образуют правый кулисный ряд (см. рис. 6): 54 (Восточно-Сахалинская зона – 10), 90, 93, 94 (Кашеваровская зона – 18). Однако наряду с указанными, следующие структурные элементы формируют также и левый кулисный ряд: 53, 53а, 53б, 50, поднятие 53в и структурные элементы, расположенные к северу от него (Северо-Сахалинская зона – 9).

Центрально-Охотская структурная зона (17 на рис. 6), отчетливо ориентированная в северо-западном направлении, характеризуется небольшими мощностями осадочных отложений в прогибах (0.5–1.0 км) (см. рис. 3). В юго-восточной половине зоны относительно протяженные структурные элементы в целом ориентированы в северо-западном направлении. В северо-западной половине зоны структурные элементы ориентированы в основном на юго-запад, т.е. поперек зоны, причем осевые линии некоторых структурных элементов продолжают в соседней Кашеваровской зоне, где мощность осадков в прогибах достигает 2–4 км (см. рис. 3 и 89а на рис. 6). В структурных зонах Института Океанологии (21 на рис. 6) и Академии Наук СССР (23 на рис. 6), где мощность в прогибах лишь в единичных случаях достигает 2–3 км (соответственно 103б и 105в на рис. 3), высокопорядковые структурные элементы ориентированы в основном в юго-западном направлении.

4. ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ОХОТСКОГО МОРЯ ПО СТРУКТУРНО-ЛИТОФИЗИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

Указанное тектоническое районирование выполнено на основании карты структурных зон и высокопорядковых структурных элементов осадочного чехла (см. рис. 6), а также карт литофизических комплексов четырех региональных сейсмостратиграфических комплексов (РССК I–IV) (структурных ярусов), соответствующих следующим временным интервалам:

K_2-P_{1-2} ; $P_3-N_1^1$; N_1^{1-2} и $N_1^3-N_2$ (см. рис. 2). В результате составлено четыре карты (рис. 7–10), каждая из которых показывает пространственное соотношение литофизических комплексов соответствующих структурных ярусов (сейсмостратиграфических комплексов) со структурными зонами и высокопорядковыми структурными элементами осадочного чехла.

Для примера рассмотрим наличие или отсутствие литофизических комплексов в пределах Дерюгинского прогиба (см. 54 на рис. 3 и 6) в рамках четырех структурных ярусов (рис. 7–10).

В доолигоценное время (K_2-P_{1-2}) на большей части территории Дерюгинского прогиба (см. 54 на рис. 7) осадочные отложения не накапливались и лишь на небольших участках в южной и северной его частях формировались отложения алеврито-глинисто-песчаного терригенного с углями литофизического комплекса (ЛК), а в крайней северо-западной части прогиба отлагались также породы алеврито-глинисто-кремнистого ЛК.

В олигоцен-нижнемиоценовое время ($P_3-N_1^1$) (см. рис. 8) практически на всей территории Дерюгинского прогиба (54) происходило осадконакопление пород алеврито-глинисто-кремнистого ЛК, и лишь в крайней северной его части на небольшом участке отлагались породы песчано-алеврито-глинистого терригенного ЛК.

В нижне-среднемиоценовое время (N_1^{1-2}) (см. рис. 9) в северной и крайней юго-восточной частях Дерюгинского прогиба (54) несколько расширились площади осадконакопления пород песчано-алеврито-глинистого терригенного ЛК за счет сокращения участков отложений алеврито-глинисто-кремнистого ЛК, породы которого продолжали господствовать на остальной преобладающей части прогиба.

В верхнемиоцен-плиоценовое время ($N_1^3-N_2$) (см. рис. 10) в северной части прогиба (54) продолжалось увеличение площади осадконакопления пород песчано-алеврито-глинистого терригенного ЛК, тогда как на остальной части прогиба продолжалось формирование отложений алеврито-глинисто-кремнистого ЛК.

Подобным образом можно получать информацию об осадочных образованиях для любого необходимого структурного элемента.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для территории Охотского моря впервые проведено комплексное тектоническое районирование осадочного чехла по литофизическим, структурным и структурно-литофизическим признакам. Районирование осадочного чехла по структурным признакам выполнено также для островного склона Курильского желоба (см. рис. 3–6).

2. Тектоническое районирование осадочного чехла по литофизическим признакам осуществлено в виде

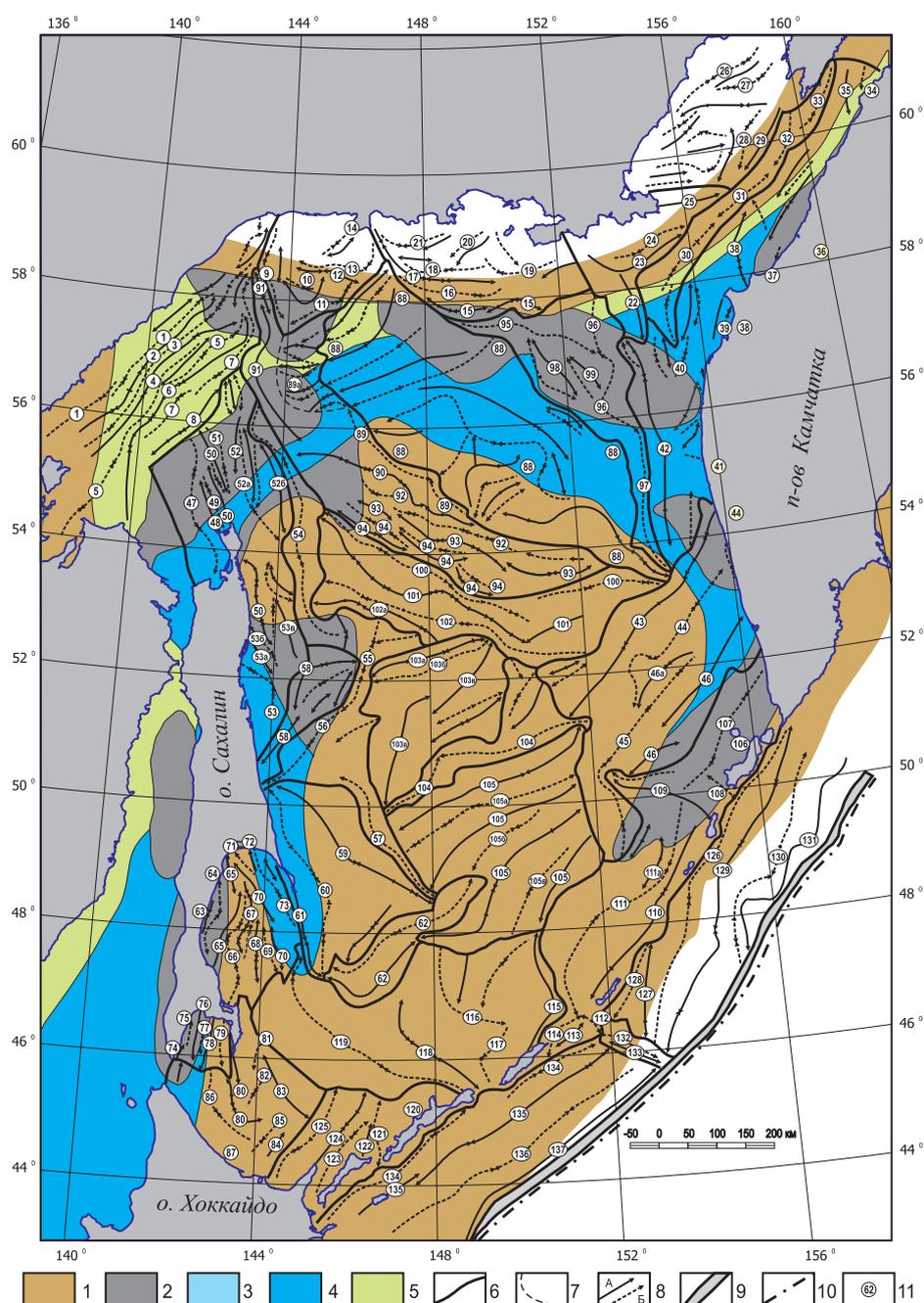


Рис. 7. Карта соотношения литофизических комплексов доолигоценного (K_2-P_{1-2}) сейсмостратиграфического комплекса – РССК I (структурного яруса) (см. рис. 2, А) со структурными зонами и с высокопорядковыми структурными элементами осадочного чехла Охотского моря (см. рис. 6).

1 – область отсутствия отложений (в период K_2-P_{1-2}); 2–5 – литофизические комплексы: 2 – алеврито-глинисто-песчаный терригенный с углями, 3 – песчано-алеврито-глинистый терригенный, 4 – алеврито-глинисто-кремнистый, 5 – песчано-алеврито-глинистый вулканогенный; 6 – границы структурных зон (см. рис. 5, 6); 7 – западная граница высокопорядковых структурных элементов в Кашеваровской структурной зоне (см. 89а на рис. 6, 7); 8 – оси относительных поднятий (А) и оси относительных прогибов (Б); 9 – Курильская аккреционная призма; 10 – ось Курильского желоба; 11 – номера высокопорядковых структурных элементов (соответствуют номерам на рис. 3, 3а, 5, 6, 8–10).

Fig. 7. The map of correlations between lithophysical complexes of the pre-Oligocene (K_2-P_{1-2}) seismo-stratigraphic complex / structural layer (RSSC I) (see Fig. 2A) and structural zones and high-order structural elements in the sedimentary cover of the Sea of Okhotsk (see Fig. 6).

1 – areas barren of sediments (during K_2-P_{1-2}); 2–5 – lithophysical complexes: 2 – silty-clayey-sandy terrigenous with coals, 3 – sandy-silty-clayey terrigenous, 4 – silty-clayey-siliceous, 5 – sandy-silty-clayey volcanic; 6 – boundaries of structural zones (see Fig. 5, 6); 7 – western boundary of high-order structural elements in Kashevarov structural zone (see 89a in Figures 6, 7); 8 – axes of relative uplifts (A) and axes of relative troughs (B); 9 – Kuril accretion prism; 10 – axis of the Kuril trench; 11 – numbers of high-order structural elements (same as in Figures 3, 3a, 5, 6, 8–10).

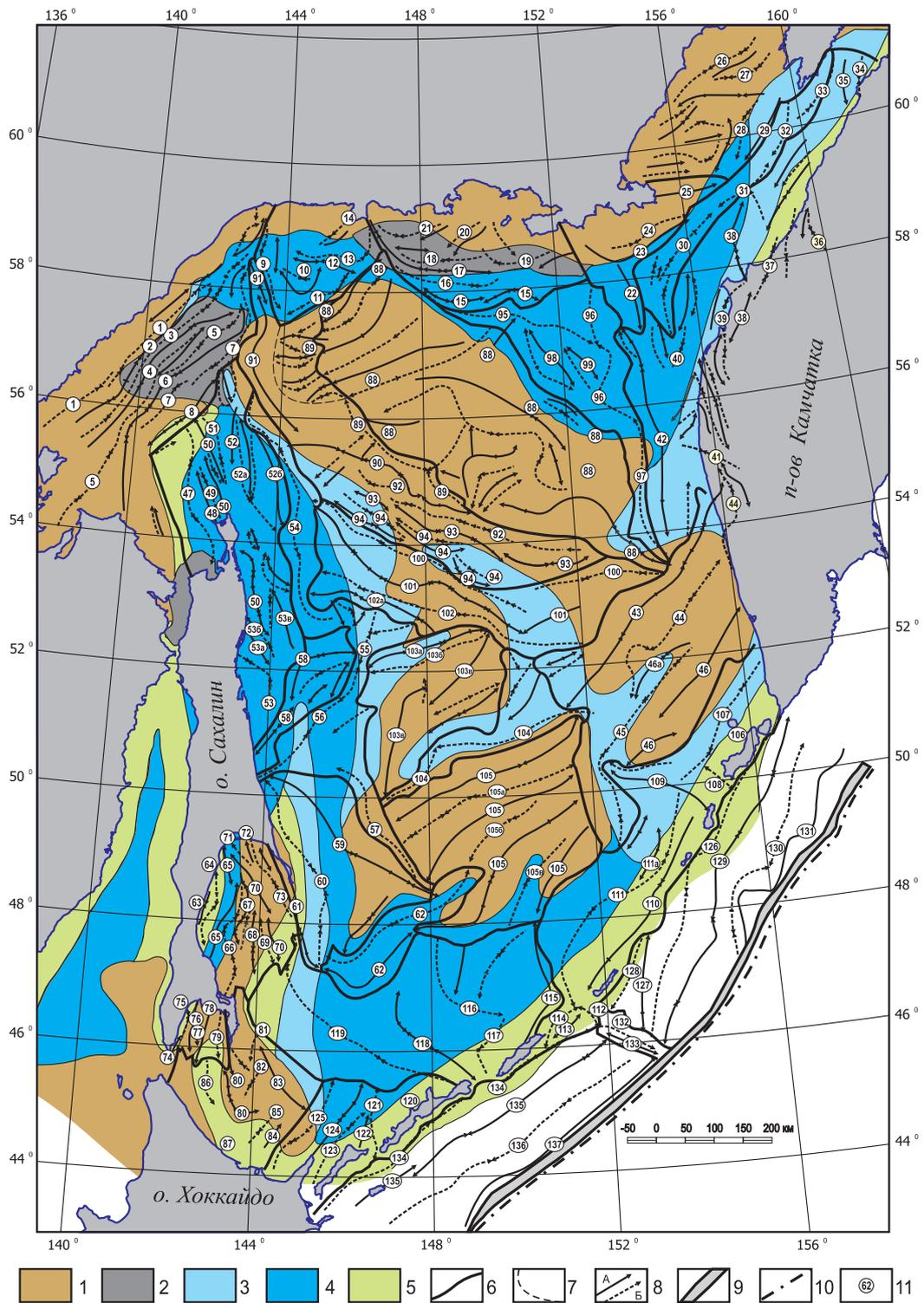


Рис. 8. Карта соотношения литофизических комплексов олигоцен-нижнемиоценового ($P_3-N_1^1$) сейсмостратиграфического комплекса – РССК II (структурного яруса) (см. рис. 2, Б) со структурными зонами и с высокопорядковыми структурными элементами осадочного чехла Охотского моря (см. рис. 6).

1 – область отсутствия отложений (в период $P_3-N_1^1$); остальные условные обозначения на рис. 7.

Fig. 8. The map of correlations between lithophysical complexes of the Oligocene-Lower Miocene ($P_3-N_1^1$) seismo-stratigraphic complex/structural layer (RSSC II) (see Fig. 2, Б) and structural zones and high-order structural elements in the sedimentary cover of the Sea of Okhotsk (see Fig. 6).

1 – areas barren of sediments (during $P_3-N_1^1$). The legend is given in Fig. 7.

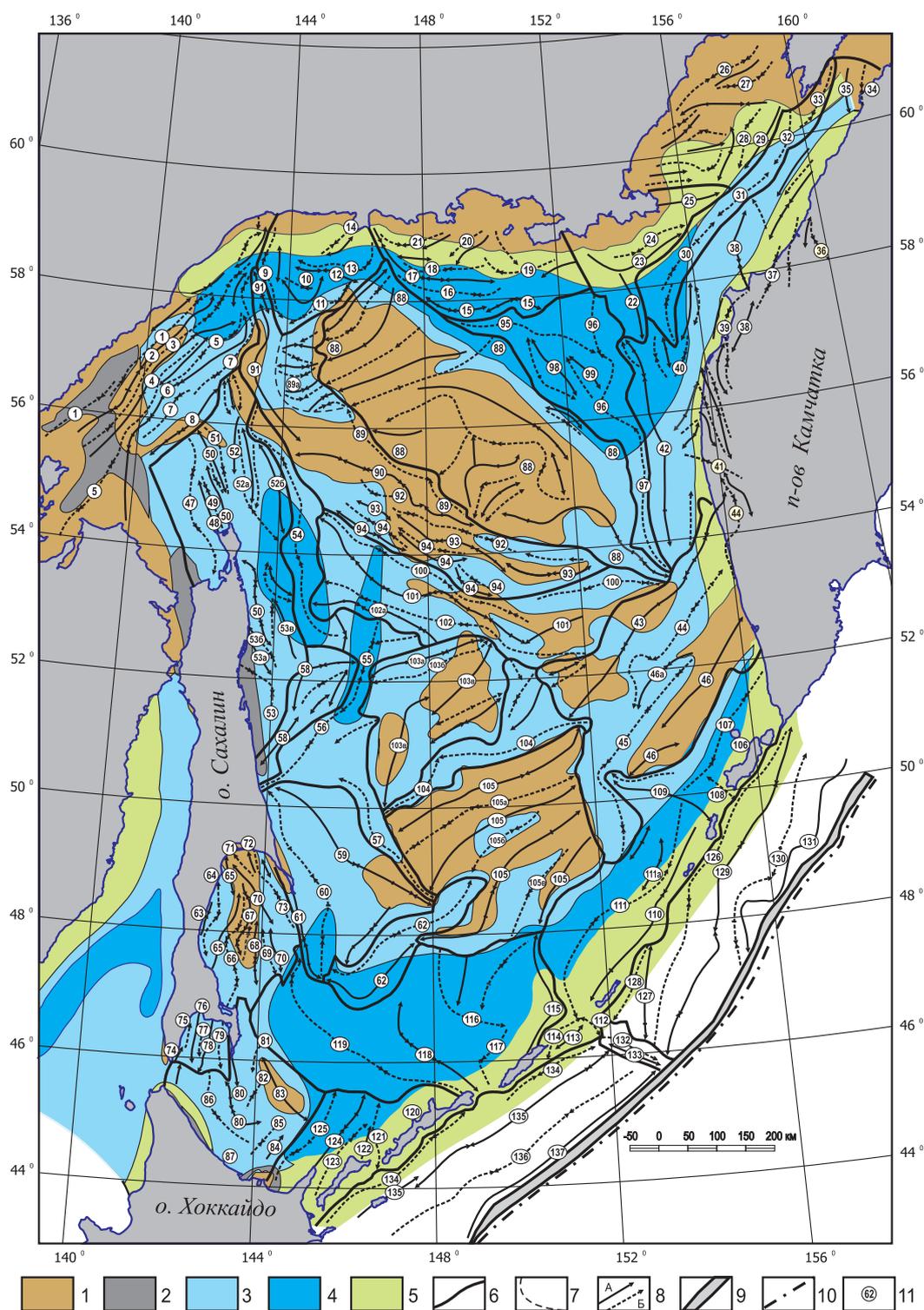


Рис. 9. Карта соотношения литофизических комплексов нижне-среднемиоценового (N_1^{1-2}) сейсмостратиграфического комплекса – РССК III (структурного яруса) (см. рис. 2, B) со структурными зонами и с высокопорядковыми структурными элементами осадочного чехла Охотского моря (см. рис. 6).

1 – область отсутствия отложений (в период N_1^{1-2}); остальные условные обозначения на рис. 7.

Fig. 9. The map of correlations between lithophysical complexes of the Lower-Mid Miocene (N_1^{1-2}) seismo-stratigraphic complex/structural layer (RSSC III) (see Fig. 2, B) and structural zones and high-order structural elements in the sedimentary cover of the Sea of Okhotsk (see Fig. 6).

1 – areas barren of sediments (during N_1^{1-2}). The legend is given in Fig. 7.

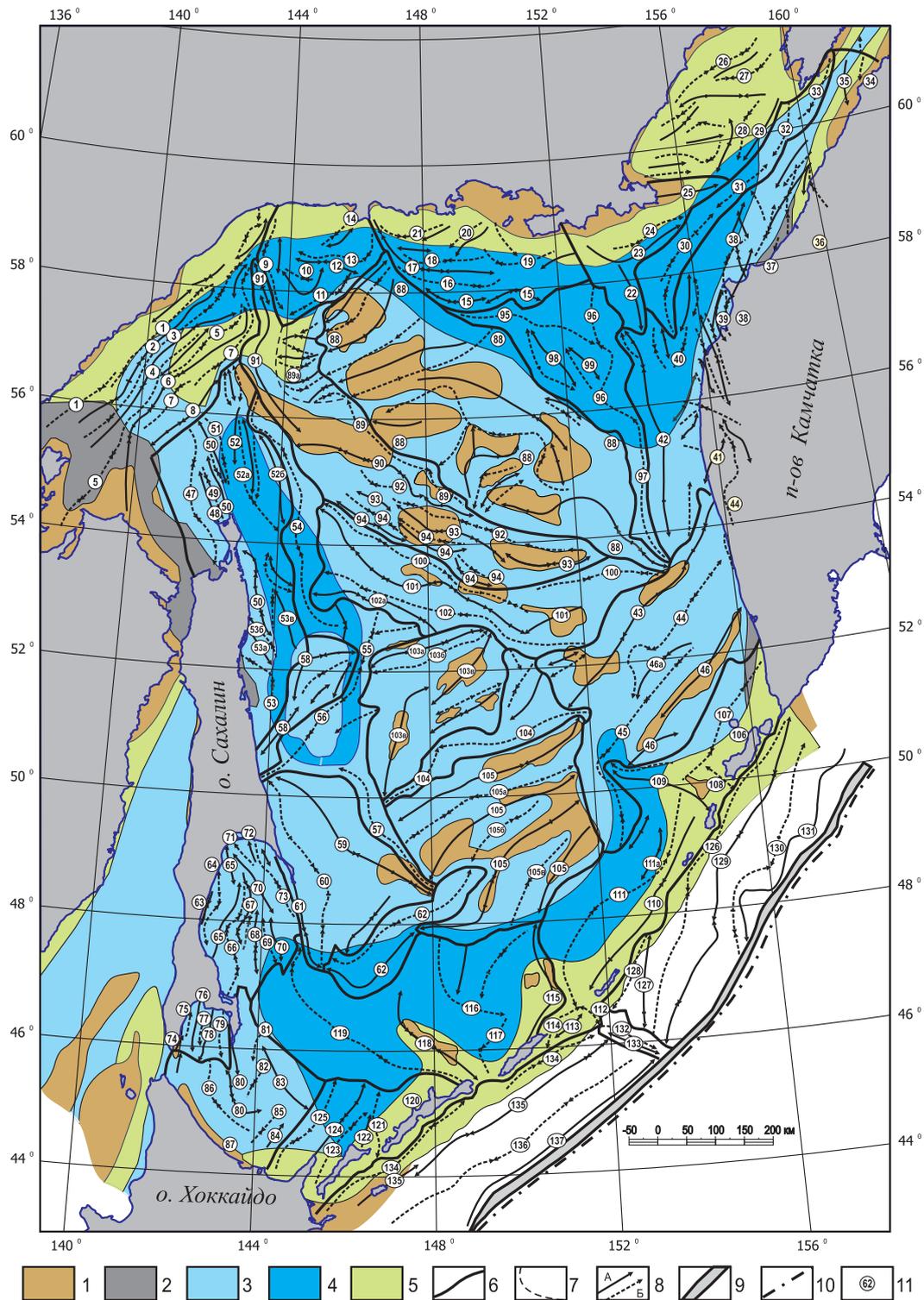


Рис. 10. Карта соотношения литофизических комплексов верхнемиоцен-плиоценового ($N_1^3-N_2$) сейсмостратиграфического комплекса – РССК IV (структурного яруса) (рис. 2, Г) со структурными зонами и с высокопорядковыми структурными элементами осадочного чехла Охотского моря (см. рис. 6).

1 – область отсутствия отложений (в период $N_1^3-N_2$); остальные условные обозначения на рис. 7.

Fig. 10. The map of correlations between lithophysical complexes of the Upper Miocene-Pliocene ($N_1^3-N_2$) seismo-stratigraphical complex/ structural layer (RSSC IV) (see Fig. 2, Г) and structural zones and high-order structural elements in the sedimentary cover of the Sea of Okhotsk (see Fig. 6).

1 – areas barren of sediments (during $N_1^3-N_2$). The legend is given in Fig. 7.

карт литофизических комплексов в рамках четырех региональных сейсмостратиграфических комплексов (РССК I K_2 – P_{1-2} , РССК II P_3 – N_1^1 , РССК III N_1^{1-2} , РССК IV N_1^3 – N_2), которые в тектоническом отношении рассматриваются нами как структурные ярусы, включающие следующие литофизические комплексы: 1 – алеврито-глинисто-песчаный терригенный с углями, 2 – песчано-алеврито-глинистый терригенный, 3 – алеврито-глинисто-кремнистый и 4 – песчано-алеврито-глинистый вулканогенный.

3. Тектоническое районирование осадочного чехла по структурным признакам выполнено в форме структурно-тектонической карты, которая, в отличие от опубликованной в 2006 г. подобной карты, существенно уточнена для района впадины Дерюгина и для прилегающих участков. Карта отражает ориентировку структурных элементов осадочного чехла, их морфологию, мощность осадков и амплитуды относительных поднятий и прогибов. На базе этой карты в зависимости от размеров, пространственного положения и ориентировки структурных элементов разных порядков проведено их объединение в тектонические системы и структурные зоны, включающие более мелкие по размерам структурные элементы в форме относительных

поднятий и прогибов.

4. На основании характера структурных рисунков выявляется, что высокопорядковые структурные элементы, ориентированные в северо-западном и субмеридиональном направлениях, формируют как правый, так и левый кулисный ряд. Структурные элементы северо-восточной ориентировки обычно образуют левый кулисный ряд.

5. Тектоническое районирование осадочного чехла по структурно-литофизическим признакам выполнено на основании карт литофизических комплексов четырех региональных сейсмостратиграфических комплексов (структурных ярусов), а также карты структурных зон и высокопорядковых структурных элементов осадочного чехла.

6. Составленные тектонические карты имеют большое значение для выявления закономерностей распределения рудных полезных ископаемых, газогидратов, нефте- и газопроявлений, а также для характеристики выделенных осадочно-породных бассейнов. Тектонические карты могут дать необходимую информацию как о пространственном распределении различных вещественных комплексов, так и о их тектонической структуре.

6. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Astakhov A.S., Gorbarenko S.A., Bakhareva G.A., Gretskeya E.V., Sattarova V.V., 2005. Distribution and accumulation rate of ore elements in Holocene and Late Glacial sediments of the Deryugin basin, Sea of Okhotsk. *Lithology and Mineral Resources* 40 (2), 97–113. <http://dx.doi.org/10.1007/s10987-005-0012-1>.
- Astakhov A.S., Wallmann K., Ivanov M.V., Kolesov G.M., Sattarova V.V., 2007. Distribution and accumulation rate of Hg in the Upper Quaternary sediments of the Deryugin basin, Sea of Okhotsk. *Geochemistry International* 45 (1), 47–61. <http://dx.doi.org/10.1134/S0016702907010041>.
- Astakhova N.V., Sattarova V.V., 2005. Geochemistry of the ferromanganese nodules in the central part of the Sea of Okhotsk. *Vulkanologiya i Seismologiya (Journal of Volcanology and Seismology)* (3), 29–33 (in Russian) [Астахова Н.В., Саттарова В.В. Геохимия железомарганцевых образований центральной части Охотского моря // *Вулканология и сейсмология*. 2005. № 3. С. 29–33].
- Astakhova N.V., Sorochinskaya A.V., 2001. Hydrothermal formations in the Deryugin basin sediments of the Sea of Okhotsk. *Oceanology* 41 (3), 429–437.
- Kosygin Yu.A., 1974. Principles of Tectonics. Nedra, Moscow, 216 p. (in Russian) [Косыгин Ю.А. Основы тектоники. М.: Недра, 1974. 216 с.].
- Kulinich R.G., Obzhirov A.I., 2003. Barite-carbonate mineralization, methane anomalies, and geophysical fields in the Deryugin basin, the Sea of Okhotsk. *Tikhookeanskaya geologiya (Russian Journal of Pacific Geology)* 22 (4), 35–40 (in Russian) [Кулинич Р.Г., Обжиров А.И. Барит-карбонатная минерализация, аномалии метана и геофизические поля во впадине Дерюгина (Охотское море) // *Тихоокеанская геология*. 2003. Т. 22. № 4. С. 35–40].
- Obzhirov A.I., Astakhova N.V., Lipkina M.I., Vereshchagina O.F., Mishukova G.I., Sorochinskaya A.V., Yugai I.G., 1999. Gas-Geochemical Zoning and Mineral Associations of the Sea of Okhotsk Bottom. Dal'nauka, Vladivostok, 184 p. (in Russian) [Обжиров А.И., Астахова Н.В., Липкина М.И., Верещагина О.Ф., Мишукова Г.И., Сорочинская А.В., Югай И.Г. Газогеохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря. Владивосток: Дальнаука, 1999. 184 с.].
- Obzhirov A.I., Pestrikova N.L., Shakirov R.B., Vereshchagina O.F., Sorochinskaya A.V., Gresov A.I., Ageev A.A., Venikova A.L., Yanovskaya O.S., Korovitskaya E.V. 2007. Gas hydrate fields in the Sea of Okhotsk. *Vestnik DVO RAN* (1), 42–51 (in Russian) [Обжиров А.И., Пестрикова Н.Л., Шакиров Р.Б., Верещагина О.Ф., Сорочинская А.В., Гресов А.И., Агеев А.А., Веникова А.Л., Яновская О.С., Коровицкая Е.В. Районы газогидратопроявления в пределах Охотского моря // *Вестник ДВО РАН*. 2007. № 1. С. 42–51].
- Obzhirov A.I., Shakirov R.B., Maltseva E.V., Gresov A.I., Syrbu N.S., Okulov A.K. 2012. Methane distribution in water and sediments at the East Sakhalin coastal area, shelf and slope of the Sea of Okhotsk. *Vestnik DVO RAN* (6), 32–41 (in Rus-

sian) [Обжиров А.И., Шакиров Р.Б., Мальцева Е.В., Гресов А.И., Сырбу Н.С., Окулов А.К. Распределение метана в воде и донных осадках на восточном сахалинском побережье, шельфе и склоне Охотского моря // Вестник ДВО РАН. 2012. № 6. С. 32–41].

Semakin V.P., Kochergin A.V., 2013. Tectonic zoning of the sedimentary cover in the Deryugin basin of the Sea of Okhotsk based on structural-material (lithophysical) indicators. *Geodynamics & Tectonophysics* 4 (4), 371–386. <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2013-4-4-0107>.

Sergeyev K.F., 2006. Tectonic Zoning and Hydrocarbon Potential of the Okhotsk Sea. Nauka, Moscow, 130 p. (in Russian) [Сергеев К.Ф. Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря. М.: Наука, 2006. 130 с.].

Telegin Yu. A., 2011. Gas-geochemical researches in the Sea of Okhotsk. *Vestnik DVO RAN* (6), 60–63 (in Russian) [Телегин Ю.А. Газохимические исследования в Охотском море // Вестник ДВО РАН. 2011. № 6. С. 60–63].

Veselov O.V., Kudelkin V.V., Chukhontsev V.I., 2000. Specific features of distribution and genesis of gas hydrates in the Sea of Okhotsk. In: The Earth's crust structure and petroleum potential of regions at the North-Western Margin of the Pacific Ocean. Collection of Articles. Yuzhno-Sakhalinsk, Vol. 1, p. 32–37 (in Russian) [Веселов О.В., Куделькин В.В., Чухонцев В.И. Особенности распространения и образования газовых гидратов в Охотском море // Строение земной коры и перспективы нефтегазоносности в регионах северо-западной окраины Тихого океана: Сборник статей. Южно-Сахалинск, 2000. Т. 1. С. 32–37].



Семакин Виктор Петрович, с.н.с., лаб. геодинамики и морской геологии
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1 Б, Россия
Тел.: (4242)793115; ✉ e-mail: veselov@imgg.ru

Semakin, Victor P., Senior Researcher, Lab. of Geodynamics and of Marine Geology
Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS
1 B Nauki street, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia
Tel.: (4242)793115, ✉ e-mail: veselov@imgg.ru



Кочергин Альберт Васильевич, канд. физ.-мат. наук, с.н.с., лаб. геодинамики и морской геологии
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1 Б, Россия
Тел.: (4242)793115; e-mail: kochav@imgg.ru

Kochergin, Albert V., Candidate of Physics and Mathematics, Senior Researcher,
Lab. of Geodynamics and of Marine Geology
Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS
1 B Nauki street, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia
Tel.: (4242)793115; e-mail: kochav@imgg.ru



Питина Татьяна Иосифовна, инженер, лаб. геодинамики и морской геологии
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1 Б, Россия
Тел.: (4242) 793115.

Pitina, Tatyana I., Engineer, Lab. of Geodynamics and of Marine Geology
Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS
1 B Nauki street, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia
Tel.: (4242)793115