

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ВПАДИНЫ ДЕРЮГИНА (ОХОТСКОЕ МОРЕ)

А.Г. Родников, Н.А. Сергеева, Л.П. Забаринская

Геофизический центр РАН, г.Москва

Впадина Дерюгина, расположенная в западной части Охотского моря, выполнена осадками мощностью до 12 км. Она характеризуется повышенными значениями теплового потока, тонкой корой, сейсмической и гидротермальной активностью. Впадина расположена над горячим плюмом в мантии – астеносферным диапиром частичного плавления вещества, обнаруженного в верхней мантии на глубине 20–25 км. Вероятно, что астеносферные диапиры с частичным плавлением вещества представляют собой каналы, по которым горячие мантийные флюиды, несущие продукты дегазации мантии, проникают в осадочные бассейны, обеспечивая преобразование органического вещества, и являются дополнительным источником углеводородов. Западный борт ограничен офиолитовым поясом ультраосновных магматических пород, видимому фиксирующим древнюю (мезозой) субдукционную зону, отделяющую впадину Дерюгина от Восточного Сахалина, представлявшего собой в то время островную дугу с андезитовым магматизмом. За дугой располагался тыловой осадочный трог, в меловой период заполненный вулканогенно-кремнистыми и глинисто-кремнистыми отложениями, в настоящее время образующими складчатое основание Северного Сахалина.

Ключевые слова: кора, верхняя мантия, астеносферный диапир, геодинамика, минерагения, Охотское море.

ВВЕДЕНИЕ

Впадина Дерюгина расположена в западной части Охотского моря (рис.1). На востоке впадина переходит в серию узких (до 10–20 км) субширотных грабенов, образующих Восточно-Дерюгинский осадочный бассейн и заполненных осадками мощностью до 4 км. На западе впадина Дерюгина отделяется от Северного Сахалина Шмидтовским подводным поднятием, сложенным меловыми офиолитовыми комплексами. Впадина Дерюгина оконтурена изобатой 1500 м и простирается на 800 км при ширине 150–200 км. Максимальная глубина 1795 м. Дно впадины представляет собой плоскую абиссальную равнину, слегка расчлененную по краям устьями подводных долин [15]. Впадина выполнена кайнозойскими отложениями мощностью до 12 км.

Задачей работы является описание глубинного строения впадины Дерюгина и ее соотношения с соседним Северо-Сахалинским нефтегазоносным бассейном. Для решения этой задачи построен глубинный геолого-геофизический разрез, пересекающий Северный Сахалин и впадину Дерюгина (рис. 2). Геологический разрез построен по [4, 18, 20, 21], строение коры приводится по [8, 16, 22], строение верхней мантии и астеносферы, значения теплового потока и сейсмичность – по [13, 17].

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

Впадина Дерюгина расположена в сейсмически активном регионе Охотского моря (рис. 1). Распре-

деление эпицентров землетрясений указано по данным каталогов [5, 6, 23]. Подавляющее большинство землетрясений приурочено к Курильской островной дуге. Северо-Сахалинский бассейн расположен над глубинными разломами, к которым приурочены в основном коровые землетрясения. Решения механизма очага для ряда землетрясений в этом районе указывают на взбросовый характер движения (положительный угол скольжения), ориентированного в направлении северо-запад – юго-восток. Землетрясение, произошедшее в мае 1995 г. с магнитудой 7.0, привело к разрушению Нефтегорска. В результате этого катастрофического землетрясения на поверхности земли возник сейсморазрыв север–северо-восточного простираения общей протяженностью до 35 км, приведший к сдвиго-взбросовому перемещению с амплитудой горизонтальной сдвиговой компоненты до 8 м, а вертикальной взбросовой – до 2 м [12]. Сейсмическая активность захватывает западный борт впадины Дерюгина в районе расположения мелового офиолитового пояса, фиксирующего древнюю субдукционную зону. Здесь также распространены, в основном, коровые землетрясения, которые приводят к сдвиго-сбросовым и сдвиго-взбросовым движениям.

Тепловой поток высок в пределах глубоководных впадин и трогов: в Татарском проливе – 123–132 мВт/м², во впадине Дерюгина достигает 200 мВт/м², в Курильской котловине – 346–354 мВт/м². Наиболее низкие значения, достигающие 22 мВт/м²,

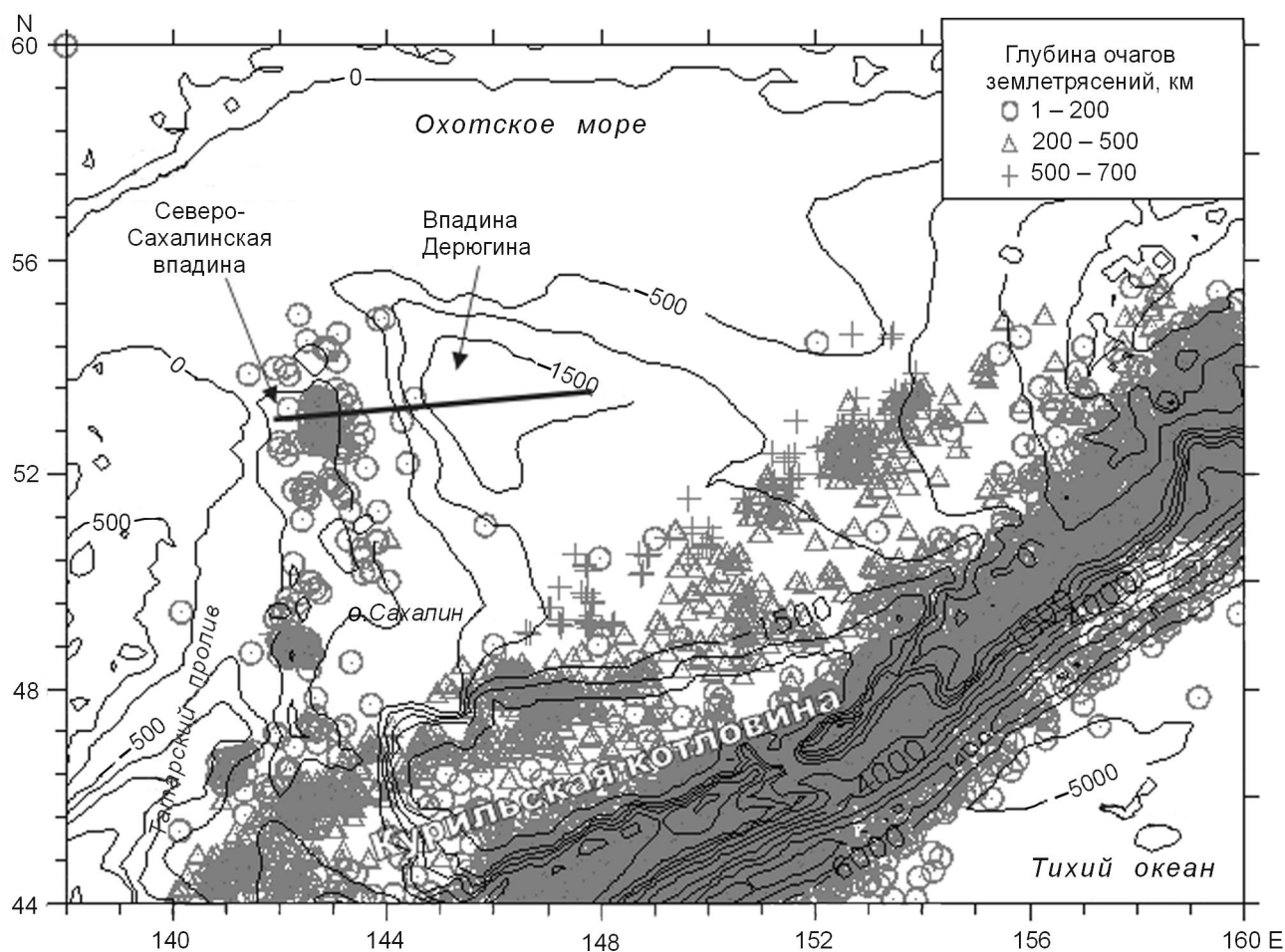


Рис. 1. Батиметрическая схема впадины Дерюгина с распределением эпицентров землетрясений. Прямая линия – расположение глубинного разреза.

наблюдаются в Курило-Камчатском глубоководном желобе. Средние значения теплового потока в пределах Северо-Сахалинского бассейна составляют 76 мВт/м^2 [13, 17].

В магнитном поле отчетливо выражена Восточно-Сахалинская положительная магнитная аномалия, достигающая значений $1200\text{--}1400 \text{ нТ}$ и фиксирующая Восточно-Сахалинский офиолитовый пояс, отделяющий впадину Дерюгина от Северного Сахалина. Впадина Дерюгина, трог Татарского пролива и Курильская котловина в основном характеризуются слабо отрицательными аномалиями до -200 нТ , связанными с немагнитными осадочными породами, выполняющими впадины [17].

Гравитационное поле характеризуется резко контрастным строением в районе современных и древних зон субдукции и относительно плавными изменениями в осадочных впадинах. Впадина Дерюгина отличается спокойным полем слабо отрицательных и слабо положительных аномалий силы тя-

жести. К западу от впадины в области континентального склона Сахалина выделяются градиентные зоны, вероятно фиксирующие распространенные здесь офиолитовые комплексы, отделяющие впадину Дерюгина от Северо-Сахалинского нефтегазоносного бассейна [17].

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРЫ

Глубинное строение региона Охотского моря отличается от сопредельных континентальных и океанических областей, кора которых характеризуется сравнительно ровным рельефом поверхности Мохоровичича и толщиной для континента в среднем $35\text{--}45 \text{ км}$ и океана – $6\text{--}10 \text{ км}$. Земная кора переходной зоны отличается сильно дифференцированной мощностью от 10 до 40 км , сложным рельефом поверхности Мохоровичича, граничные скорости вдоль которой варьируют от $7,8 \text{ км/с}$ до $8,1 \text{ км/с}$ [2].

Верхняя мантия под Охотским морем характеризуется как горизонтальными, так и значительными

ми вертикальными неоднородностями. По данным сейсмической томографии [1, 19], в верхней мантии под Охотским морем отмечаются пониженные значения сейсмических скоростей, а в Курильской котловине на основе электромагнитных исследований в верхней мантии в интервале глубин 30–65 км выделен слой с удельной проводимостью 0,3–0,5 См/м и интегральной проводимостью около 15000 См [9].

Астеносфера в верхней мантии выделена по геотермическим данным [17]. И.К. Туезовым и Е.П. Епанешниковым [17] для оценки глубинных температур использован геотермический метод, основанный на решении уравнений теплопроводности для реальных моделей литосферы. Верхняя поверхность астеносферы принята за 1000°–1200°С – температуру плавления пород верхней мантии [13]. На основе этих расчетов, астеносфера располагается в верхней мантии в Охотском море на глубине 50–70 км, а под Северо-Западной котловиной Тихого океана на глубине около 100 км [17]. От астеносферы отходят диапиры частичного плавления вещества, которые достигают глубины 20–30 км под осадочным трогом Татарского пролива,

впадиной Дерюгина и Курильской котловиной, обуславливая активный тектонический режим, проявляющийся в вулканической, сейсмической и гидротермальной деятельности. Под Северо-Сахалинской осадочной впадиной, содержащей почти все нефтегазовые месторождения Сахалина, астеносфера расположена на глубине около 70 км [17].

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Впадина Дерюгина (рис. 2) выполнена кайнозойскими, преимущественно глубоководными, морскими терригенными и кремнисто-терригенными отложениями толщиной до 12 км. *Оligоцен–нижнемиоценовый* комплекс, составляющий нижнюю часть осадочной толщи и слагающий отдельные изолированные рифтовые грабены, сформировался в глубоководных бассейнах в условиях некомпенсированного осадконакопления. Мощность этих отложений составляет 3–5 км. Верхняя часть разреза сложена *миоцен–четвертичными* осадками, выполняющими крупные прогибы, отделенные от поднятий листрическими сбросами. Верхи разреза сложены диатомовыми пелитами с

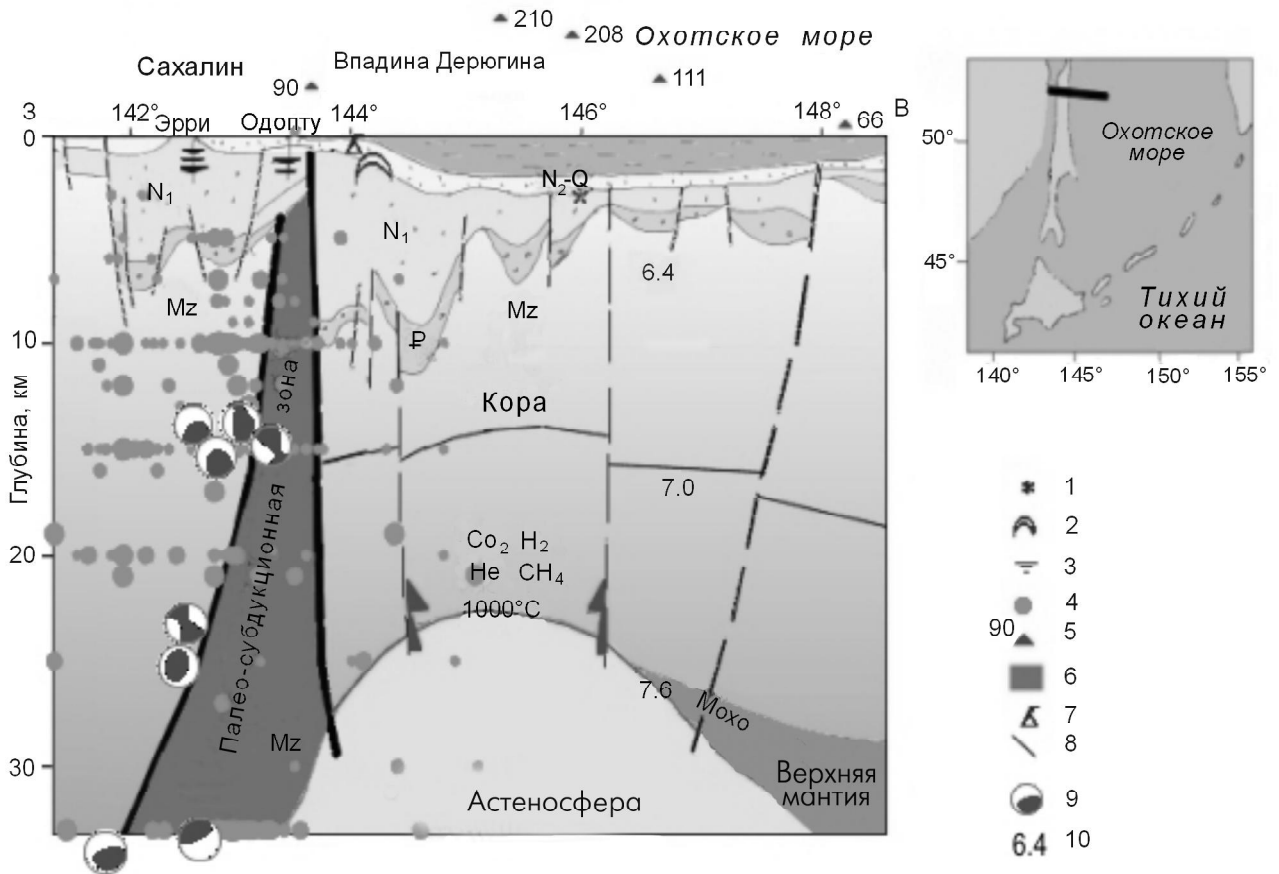


Рис. 2. Глубинное строение впадины Дерюгина.

1 – бариты, сульфиды; 2 – газогидраты; 3 – нефтегазовые месторождения; 4 – гипоцентры землетрясений; 5 – тепловой поток (мВт/м²); 6 – офиолитовый пояс; 7 – грязевые вулканы; 8 – разломы; 9 – решения механизма очагов землетрясений; 10 – скорости сейсмических волн в км/с.

прослоями пирокластических пород [17]. Слоистая толща впадины Дерюгина повсеместно смята в складки и разбита разломами, осложняющими борта впадины [20]. Разломы отражают современную тектоническую активность региона, обусловленную, по-видимому, глубинными процессами. Активная современная тектоника подчеркивается высокими значениями теплового потока, достигающими 200 мВт/м^2 , и сейсмическими проявлениями, приуроченными, в основном к западному борту впадины Дерюгина, где простирается древняя сейсмофокальная зона. Мощный осадочный чехол впадины залегает на неровной поверхности акустического фундамента со скоростями сейсмических волн $6,2\text{--}6,4 \text{ км/с}$. Скорости по поверхности Мохо пониженные до $7,6 \text{ км/с}$ [22]. Толщина фундамента незначительная – не больше 10 км, обусловленная процессами растяжения и последующего прогибания. Предполагается, что фундамент сложен мезозойскими океаническими вулканогенно-кремнистыми и глинистыми образованиями, которые обнажаются на Сахалине и Западной Камчатке [17].

Тектоническая активность, проявившаяся в регионе Охотского моря, в частности во впадине Дерюгина, обусловлена процессами, протекающими в верхней мантии. Здесь на небольшой глубине $25\text{--}30 \text{ км}$ расположена астеносфера – аномальная горячая мантия, содержащая магматические очаги с высокими температурами, достигающими 1200°C .

Газогеохимические исследования подтверждают активные гидротермальные процессы, протекающие во впадине: вдоль зон разломов отмечается в придонной воде высокое содержание метана, водорода, углекислого газа, гелия и сероводорода. Обнаружена баритовая минерализация. Кроме того, на западном борту впадины Дерюгина на глубине примерно 800 м в керне глинистых осадков обнаружены газогидраты, содержащие в основном метан [10, 14, 20].

ДРЕВНЯЯ СУБДУКЦИОННАЯ ЗОНА – ГРАНИЦА МЕЖДУ ВПАДИНОЙ ДЕРЮГИНА И СЕВЕРНЫМ САХАЛИНОМ

Как уже отмечалось, с запада впадина Дерюгина ограничивается Шмидтовским подводным поднятием, сложенным офиолитовым комплексом пород. На полуострове Шмидта и в Восточно-Сахалинских горах этот офиолитовый комплекс представлен гарцбургитами, дунитами, верлитами, родингитами, габбро и амфиболитами, образующими тонкие офиолитовые пластины, обдуцированные в поздне-меловую эпоху и в конце миоцена на мезозойский фундамент [7, 11, 17]. Предполагается, что офиолитовый комплекс фиксирует положение древней сейсмофокальной зоны – мезозойской зоны субдукции океанической коры Охотского моря под структуры Сахалина. Подтверждением этому служит выделен-

ная В.М. Гранником на Восточном Сахалине поздне-меловая – палеогеновая Восточно-Сахалинская вулканическая дуга, состоящая из фрагментов вулканических островов, междуговых и преддуговых прогибов, аллохтонно залегающих на окраинно-морских образованиях в восточных районах Центрального и Северного Сахалина [3]. Вулканическая дуга сложена андезитами, дацитами, риолитами и их туфами известково-щелочной серии. За вулканической дугой в позднем мезозое на Северном Сахалине располагался тыловой прогиб, сложенный терригенными, кремнистыми и карбонатными породами с отдельными прослоями вулканических образований. Тыловой прогиб, выполненный верхнемеловыми осадочно-вулканогенными формациями, простирался до Восточно-Азиатского вулканического пояса. Реконструированная сейсмофокальная зона состоит из нескольких сколовых поверхностей, толщина ее не менее 80 км , а угол наклона составляет около 45° . Выход зоны на поверхность происходит в средней части континентального склона глубоководного желоба, там, где сейчас прослеживается офиолитовый пояс [3]. Вероятно, что впадина Дерюгина образовалась в кайнозойскую эру на месте древнего глубоководного желоба после завершения субдукции литосферной плиты Охотского моря под Сахалин.

СЕВЕРО-САХАЛИНСКИЙ НЕФТЕГАЗОНОСНЫЙ БАССЕЙН

Над древней субдукционной зоной располагается *Северо-Сахалинский осадочный бассейн*, включающий Сахалинский залив, Северный Сахалин и шельф северо-восточного Сахалина. Протяженность его в северо-западном направлении составляет 900 км при ширине в $80\text{--}120 \text{ км}$. Фундамент сложен триас–раннемеловыми вулканогенно-кремнистыми и, в отдельных случаях, поздне-меловыми вулканогенно-осадочными отложениями. Он расположен на глубине до $5\text{--}12 \text{ км}$ в отдельных опущенных блоках, а на обрамляющих и внутренних поднятиях – до $1,5\text{--}3 \text{ км}$. Осадочный бассейн заполнен кайнозойскими отложениями, образованными в рифтовую стадию – нижняя часть, а потом в пострифтовую стадию развития бассейна. Кайнозойские отложения разделены на несколько структурно-стратиграфических комплексов. Раннеолигоценый комплекс общей мощностью более 2 км слагает узкие грабены в западной и юго-восточной частях осадочного бассейна. В позднем олигоцене образовались батиальные кремнисто-глинистые отложения мощностью до $1,5 \text{ км}$. В миоценовую эпоху сформировалась мощная толща (до 10 км в отдельных грабенах) песчано-глинистых отложений. Для плиоценового этапа развития бассейна, как и предыдущих, характерно накопление песчано-глинистых осадков. В результате плиоцен–

четвертичной тектонической активизации сформировались слабой интенсивности пологие пликативные структуры комплекса. Тепловой поток в этом бассейне характеризуется средними значениями, а астеносфера, по данным электромагнитных исследований, расположена на глубине около 70 км [17]. Так как Северо-Сахалинский осадочный бассейн располагался над древней субдукционной зоной, активной в мезозойскую эру, то породы мезозойского фундамента Северного Сахалина вероятно образовывались в условиях задугового бассейна, заполненного в кайнозойскую эру песчано-глинистыми нефтегазоносными отложениями.

ВЫВОДЫ

Впадина Дерюгина образовалась на месте древнего глубоководного желоба после завершения субдукции плиты Охотского моря под Сахалин. За кайнозойскую эру здесь накопились мощные песчано-глинистые отложения. Толщина осадков достигает 12 км. Северо-Сахалинский нефтегазоносный бассейн сформировался на месте существовавшей в мезозойское время задуговой впадины. Для Северо-Сахалинского бассейна отмечаются средние значения теплового потока и толщина коры, превышающая 30 км, а впадина Дерюгина характеризуется повышенными значениями теплового потока, тонкой корой, сейсмической и гидротермальной активностью. Впадина расположена над горячим плюмом в мантии – астеносферным диапиром частичного плавления вещества, обнаруженным на глубине примерно 25 км.

Вероятно, что астеносферные диапиры с частичным плавлением вещества представляют собой каналы, по которым горячие мантийные флюиды, несущие продукты дегазации мантии, проникают в осадочные бассейны, обеспечивая преобразование органического материала, и являются дополнительным источником углеводородов. Западный борт впадины Дерюгина ограничен офиолитовым поясом ультраосновных магматических пород, по-видимому фиксирующим древнюю (мезозой) субдукционную зону, отделяющую впадину от Восточного Сахалина, представлявшего собой в то время островную дугу с андезитовым магматизмом. За дугой располагался тыловой осадочный трог, в меловой период заполненный вулканогенно-кремнистыми и глинисто-кремнистыми отложениями, в настоящее время образующими складчатое основание Северного Сахалина. Можно предположить перспективность на нефть и газ мезозойского фундамента Северо-Сахалинского нефтегазоносного бассейна, сформировавшегося, в основном, в условиях *задуговых впадин*, благоприятных для генерации, аккумуляции и консервации углеводородов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: проекты № 01-05-64400 и № 01-07-90233.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсон Д.Л., Дзевонский А.М. Сейсмическая томография // В мире науки. 1984. № 12. С. 23–34.
2. Глубинное сейсмическое зондирование. Данные по Тихому океану / Ред. И.П.Косминская, А.Г.Родников, Г.И.Семенова. М.: Сов. геофиз. ком. АН СССР, 1987. 103 с.
3. Гранник В.М. Реконструкция сейсмофокальной зоны Восточно-Сахалинской вулканической палеодуги по распределению редкоземельных элементов // Докл. АН. 1999. Т. 366, № 1. С. 79–83.
4. Журавлев А.В. Сравнительная характеристика впадин Дерюгина и ТИНРО Охотского моря // Тихоокеан. геология. 1984. №1. С. 21–28.
5. Землетрясения в СССР в 1962 ... 1991 году / Отв.ред. Н.В.Кондорская. М.: Наука, 1964–1997.
6. Землетрясения Северной Евразии в 1992 ...1995 году / Отв. ред. О.Е.Старовойт. М.: ГС РАН, 1997–2001.
7. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Наука, 1990. Кн. 2. 335 с.
8. Лившиц И.Х. Глубинная структура дальневосточных морей и островных дуг // Труды СахКНИИ. 1972. Вып. 33. С. 168–175.
9. Ляпишев А.М., Сычев П.М., Семенов В.Ю. Структура электропроводности верхней мантии Курильской котловины Охотского моря // Тихоокеан. геология. 1987. № 4. С. 45–55.
10. Обжиров А.И., Астахова Н.В., Липкина М.И., Верещагина О.Ф., Мишукова Г.И. Сорочинская А.В., Югай И.Г. Газо-геохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря. Владивосток: Дальнаука, 1999. 184 с.
11. Рихтер А.В. Структура и тектоническое развитие Сахалина в мезозое. М.: Наука, 1986. 93 с.
12. Рогожин Е.А. Тектоника очаговой зоны нефтегорского землетрясения 27 (28) мая 1995 г. на Сахалине // Геотектоника. 1996. № 2. С. 45–53.
13. Смирнов Я.Б., Сугробов В.М. Земной тепловой поток в Курило-Камчатской и Алеутской провинциях // Вулканология и сейсмология. 1980. № 2. С.3–17.
14. Соловьев В.А., Гинзбург Г.Д., Дуглас В.К. и др. Газовые гидраты Охотского моря // Отеч. геология. 1994. № 2. С. 10–17.
15. Строение дна Охотского моря / Отв. ред. В.В. Белюсов и Г.Б. Удинцев. М.: Наука, 1981. 176 с.
16. Строение земной коры в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану / Отв. ред. Е.И. Гальперин и И.П. Косминская. М.: Наука, 1964. 306 с.
17. Структура и динамика литосферы и астеносферы Охотоморского региона / Отв. ред. А.Г. Родников, И.К. Туезов, В.В. Харахинов. М.: Нац. геофиз. ком., 1996. 338 с.
18. Тектоническая карта Охотоморского региона. 1: 2 500 000 / Ред. Н.А. Богданов и В.Е. Хаин. М.: Ин-т литосферы окраин. и внутр. морей, 2000.

19. Bijwaard H., Spakman W., Engdahl E.R. Closing the gap between regional and global travel time tomography // *J. Geoph. Res.* 1998. V. 103, NB12. P. 30055–30078.
20. Cruise Reports: Komex V and VI. Kuril Okhotsk Sea Marine Experiment / N. Biebow, T. Ludmann, B. Karp, R. Kulinich (eds.). Kiel, 2000. 295 p.
21. Petroleum potential map of Northeast Asia. North-Eastern Sakhalin petroliferous basin. China Petroleum Industry Press, 1998.
22. Piip V.B. Deep seismic refraction cross sections on Sakhalin (Russia) on the data of reinterpretation using 2-D inversion method // *Proc. 30th Int. Geol. Congr.* 1998. V. 20. P. 11–20.
23. Preliminary Determination of Epicenters, NEIC, USGS, 1996–2001.

Поступила в редакцию 11 октября 2001 г.

Рекомендована к печати Р.Г. Кулиничем

A.G. Rodnikov, N.A. Sergeyeva, L.P. Zabarinskaya

The deep structure of the Deryugin basin (Sea of Okhotsk)

The Deryugin basin is a unique structure located in the Sea of Okhotsk. The sediment thickness reaches 12 km. The basin is characterized by increased values of the heat flow, thin crust, and seismic and hydrothermal activity. The basin is located above a hot plume in the mantle, i.e. an asthenospheric diapir detected in the upper mantle at a depth of 20–25 km. The western slope is bounded by an ophiolite belt of ultrabasic magmatic rocks, which apparently determines an ancient (Mesozoic) subduction zone separating the Deryugin basin from Eastern Sakhalin and at the same time representing an island arc with andesite magmatism. Behind the arc, there was a back-arc sedimentary trough which was filled with volcanic siliceous and clayey siliceous sediments in the Cretaceous and which now forms the folded basement of Northern Sakhalin. In this context the assumption is substantiated of good prospects for oil and gas of the sedimentary basins Mesozoic base formed for the major part in the conditions of back-arc basins favorable for generation, accumulation and conservation of hydrocarbons.