

РОЛЬ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ПАРЫ ОСТРОВНАЯ ДУГА – ЖЕЛОБ В ФОРМИРОВАНИИ И РАЗМЕЩЕНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ФЛЮИДОВ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Р.М. Юркова, Б.И. Воронин
Институт проблем нефти и газа РАН, e-mail: bivtmyrzb@mtu-net.ru

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Статья написана по материалам изучения всех комплексов офиолитов и вулканогенно-осадочных формаций, в том числе нефтегазоносных, залегающих во фронтальных частях островных палеодуг в пределах северо-западной активной континентальной окраины Тихого океана: Сахалин, Камчатка, Корякский хребет, остров Карагинский, хребет Ширшова в Беринговом море. Рассмотрены различные геодинамические типы палеодуг: 1) зрелая приматериковая (п-ов Мамет на Камчатке, готерив-баррем); 2) развитая приокеаническая (хр. Кумроч на Камчатке, кампан-палеоцен); 3) примитивная приокеаническая (Восточный Сахалин, альб-сантон, п-ов Карагинский, маастрихт-палеоцен).

Установлено, что нефтегазоносные комплексы с промышленными месторождениями нефти и газа, так же как и диапировые внедрения офиолитов, приурочены к преддуговой зоне примитивной палеодуги Северного Сахалина. Залежи нефти и газа сосредоточены в осадочных комплексах, сформированных в позднепалеогеновых – неогеновых наложенных приразломных прогибах в поздние этапы развития предостроводужных палеозон при нарушении их структуры субмеридиональными правыми сдвигами, сопряженными с взбросо-сбросами северо-восточного и северо-западного простирания. Как показал структурно-формационный анализ, наложенные прогибы образовались в условиях значительной структурной перестройки предостроводужной палеозоны в результате закрытия (замыкания) желоба. Впадина Дерюгина в акватории Охотского моря представляет остаточную часть желоба глубиной 12 км с осадками позднекайнозойского времени.

МАНТИЙНАЯ СЕРПЕНТИНИЗАЦИЯ И ПОДЪЁМ ОФИОЛИТОВОГО ДИАПИРА

Ранее детальными комплексными исследованиями обоснованы мантийные условия ранней серпентинизации ультрабазитов (Юркова, 2002). В процессе ранней петельчатой безмагнетитовой серпентинизации за счёт оливина образовались антигорит с параметром

элементарной ячейки $a=35,5\text{\AA}$ и природный сплав железо – никель состава тэнита (35–40 ат.% Ni) в виде мельчайших (2–5 мкм) включений в антигорите. В антигорите и оливине установлены наиболее высокие содержания H_2 (800 и 230 ммоль/кг) и метана (30 ммоль/кг) и присутствие окиси углерода. Образование антигорита в условиях мантийной серпентинизации на глубинах 40–50 км (до 100 км) подтверждено экспериментальными, термодинамическими ($T=450\text{--}600\text{ }^\circ\text{C}$, $P=13\text{--}16$ кбар) и балансовыми расчетами (Слуцкий, Хитаров, 1984 г.; Юркова, 2002).

Начальные генерации серпентинов ранней безмагнетитовой серпентинизации представлены в апогарцбургитовых серпентинитах, характерных для центральных ненарушенных частей дунит-гарцбургитового массива площадью 42 км², который рассматривается как наиболее древний мантийный комплекс офиолитов. Массив представлен на п-ове Шмидта и выведен на поверхность в результате подъёма офиолитового диапира в зоне перехода примитивная (ранняя) дуга – желоб над сейсмофокальной зоной. Судя по данным аэромагнитных и гравиметрических съёмки, массив ультрабазитов п-ова Шмидта имеет почти вертикальное залегание и уходит корнями до верхней мантии. Продолжение диапира или колонны диапиров в акватории Охотского моря фиксируется зонами интенсивных (2000 гамм) положительных магнитных аномалий. С магнитной аномалией совпадает гравитационная аномалия в редукции Буге интенсивностью 88 мгк (Объяснительная записка, 2000). Верхние границы магнитовозмущающих тел основного и ультраосновного состава залегают на глубине 10 км, что сопоставимо с глубинами дна глубоководных желобов, в частности Марианского глубоководного желоба, связанного с примитивной островной дугой. Нижние границы магнитных аномалий фиксируются при пересчёте на глубину 30 км. Часть кромок уходит в верхнюю мантию.

Начало серпентинизации связано с внутрислойным растворением ортопироксена и оливина. Это обусловлено нарушением установившегося в ультрабазитах флюидно-минерального равновесия в результате пластических перемещений ультрабазитового мантийного вещества, возможно в связи со сменой ротационного режима Земли.

А.Е. Рингвуд обосновывает существование в глубинных условиях новой фазы плотного водного магнезиального силиката, экспериментально подтверждённого, имеющего состав $\text{Mg}_7\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})_6$ и плотность 2,96 г/см (Рингвуд, 1981). Силикат устойчив в интервале от $T=500\text{ }^\circ\text{C}$ и $P=50$ кбар до $T=1300\text{ }^\circ\text{C}$ и $P=130$ кбар. В случае его расплавления может быть

получена магма водного пироксенита. Этот расплав, по мнению А.Е. Рингвуда, мигрирует в клин над сейсмофокальной зоной, порождая различные типы толеитовой, известково-щелочной, в том числе бонинитовой магмы, характерной для дайкового и вулканического комплексов меловой примитивной дуги о-ва Сахалин.

Серпентинитовые слои литосферной мантии на глубинах 40–50 км, по данным Г. Буалло (1985), характеризуются пониженными скоростями прохождения продольных сейсмических волн: 7,8–7,9 км/с вместо 8,1–8,2 км/с в выше- и нижележащих слоях. Подъём диапиров приурочен к зоне перехода примитивная островная дуга – желоб над сейсмофокальной зоной. Эта зона, по данным Л.М. Балакиной (1987), представляет область дифференцированных, преимущественно субвертикальных перемещений литосферных масс. Область наиболее интенсивных движений такого рода в литосфере (опускание в тыловой части дуги и поднятие во фронтальной) располагается под островным склоном желоба. Это приводит к подъёму слоев с мантийной сейсмической меткой (8,2 км/с) и обеспечивает в этой зоне наиболее высокую сейсмичность.

На глубине 40–50 км наблюдается резкое выполаживание зоны Заварицкого–Беньоффа, трассируемой очагами землетрясений (Буалло, 1985). В этой области проявлены силы растяжения и скольжения и тем самым предопределён срыв верхних частей литосферной мантии с подъемом диапира или диапиров, флюидонасыщенных пластичных серпентинитов. Диапировые внедрения серпентинизированных ультрабазитов во фронтальных частях островных дуг над сейсмофокальной зоной с формированием слоев глубинного (30 км) биметасоматоза подтверждаются исследователями для Японской и Марианской островодужных систем (рис. 1 приведён в соответствии с работами Maruyama, 1997; Maekawa et al., 2001).

Серпентиниты в результате адиабатического всплывания разогретого пластичного глубинного вещества к поверхности, сопровождаемого декомпрессией и интенсивным плавлением, были пронизаны полициклическими разноглубинными магматическими комплексами: лерцолитовым, полосчатым, габброидным, дайковым, спилит-кератофировым. Наиболее выразительными индикаторами подъёма офиолитов служат биметасоматические контактово-реакционные (при взаимодействии с серпентинитами) слои, которые возникали на различных стадиях формирования офиолитов: от высокотемпературных ($T=900$ °С) и глубинных (в полосчатом расслоенном комплексе через серию разнотемпературных и разноглубинных родингитов на контакте

серпентинитов с породами габброидного, дайкового и вулканоплутонического спилит-кератофирового комплексов) до апотуфовых и апофлишоидных метасоматитов (350–160 °С) пограничных вулканогенно-осадочных серий (Юркова, Воронин, 2006).

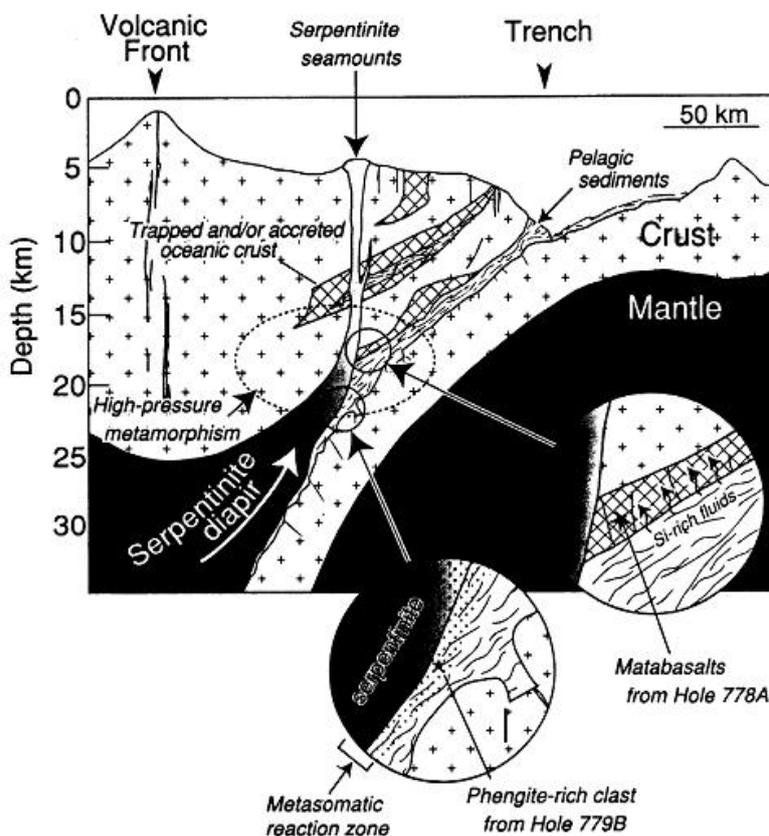


Рис. 1. Схематический профиль, показывающий строение системы Марианская дуга–желоб, дан в соответствии с (Maekawa et al., 2001)

Экранирование вышеперечисленных комплексов серпентинитами способствовало сохранению в перекристаллизованных породах высоких содержаний европия (0,226 г/т) и относительно низких отношений изотопов стронция (0,70384), характерных для комплексов островных дуг. С протрудированием блоков офиолитов в предостроводужные осадочные комплексы, сформированные автокинетическими потоками, связаны биметасоматические изменения песчано-глинистых пород и туфов в зонах субвертикальных контактов их с серпентинитами. Образование биметасоматических слоев, судя по особенностям кристаллической структуры ксонотлита $[(K_{0.02}Na_{0.04}Ca_{5.76}Mg_{0.09}Fe^{2+}_{0.06}Si_{5.96}Al_{0.04})O_{18}(OH)_2]$ с параметром $c=14\text{\AA}$, происходило при температурах 350 °С. Эти принципиально новые данные объяснимы только с позиций диапирового становления офиолитовой ассоциации. Следует отметить, что протрудирующие в зонах

разломов мантийные серпентиниты, пронизанные пакетами “дайка в дайке”, отличаются наиболее высоким содержанием водорода (до 500 ммоль/кг). Это заставляет связывать дополнительное поступление восстановительных флюидов с дайковыми каналами.

МИГРАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ФЛЮИДОВ И ОБРАЗОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ НЕФТИ

Формирование офиолитовой ассоциации в целом происходило в единой флюидонасыщенной магматическо-метаморфической геотермальной системе. Это способствовало активному преобразованию магмы, пород и углеводородных флюидов. При этом серпентиниты экранировали углеводородные флюиды, создавая природную автоклавную ситуацию. Флюидное сверхдавление обеспечило подъём диапира, гидроразрыв перекрывающих слоев, а также преобразование углеводородов, формирование гомологов метана: этана, пропана, бутана, пентана, гексана и др. при реакции типа $2\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 + \text{H}_2$. Эти углеводороды, взаимодействуя при каталитической активности тонкодисперсных серпентинитов и железо-никелевых соединений (тэзит, пентландит, магнетиты), в условиях постоянно повышенных температур ($T > 350$ °C) вследствие стадийного магматизма формировали все групповые компоненты нефти: нормальные алканы, изоалканы, нафтены, ароматические углеводороды. Убедительные экспериментальные и термодинамические свидетельства абиогенного образования всех групповых компонентов нефти (из H_2 , CO, CO_2) при температурах 200–500 °C и широком диапазоне давлений на бифункциональных катализаторах показаны в работах (Кулакова, Руденко, 2003; Ионе, 2006).

Высокая сейсмическая подвижность предостроводужных палеозон способствовала нарушению целостности серпентинитовых слоёв и эмиграции углеводородных флюидов. Проявления сейсмичности возможны в условиях высокой аккумуляции флюидов в очаговых зонах землетрясений, их концентрации в сжатом виде, что приводит к высоким поровым давлениям, подъёму углеводородных экструзий и интрузий и миграции углеводородов по сдвиговым разломам в магматические и осадочные ловушки присдвигового неогенового прогиба в завершающие этапы становления офиолитов (для Сахалина – в плиоцене). Антиклинальные ловушки нефти и газа в неогеновом осадочном бассейне формировались одновременно с накоплением осадков. Большинство из них были сформированы к концу верхнего миоцена (Юркова, 1972). По минеральным индикаторам установлено двухэтапное заполнение ловушек нефтью в позднем плиоцене и

постплиоцене, что совпадает по времени с завершающими этапами становления офиолитов (Юркова, Воронин, 2006). Процессы передвижения нефти в капиллярных системах при землетрясении усиливаются не только из-за сотрясения, но и вследствие изменения электрических полей, вызывающих электроосмос. Все эти процессы имеют дальнопластовый характер. Существенная роль в преобразованиях вещества принадлежит энергии сдвиговых деформаций. По расчётам, сделанным в работе А.Н. Дмитриевского и И.А. Володина (2006), пробегающие раз в сутки по сдвиговому разлому волновые (солитоновые) энергетические импульсы формируют кумулятивный эффект повышенной энергетики, который и приводит к описанным физико-химическим преобразованиям пород и флюидов и обеспечивает миграцию последних.

Следует отметить, что до настоящего времени большие скопления восстановительных флюидов (водород, метан и др.) сохранились в серпентинитовых флюидопорах Нижнетагильского массива гипербазитов на глубине 500 м (Заварицкий, 1925). Интерес к поискам нефти и газа, связанных с серпентинитами, прогнозировал исследователь Охотоморской нефтегазоносной провинции В.В. Харахинов (1998 г.). По его мнению, протрузии серпентинитов на всем протяжении Восточно-Сахалинского разлома, перекрытые глинистыми породами уйнинско-дагинского комплекса миоцена, могут содержать залежи нефти и газа. При этом поступление по дизъюнктивным проницаемым зонам глубинных абиогенных углеводородов может увеличивать нефтегазоносный потенциал бассейнов и формировать при определенных условиях самостоятельные месторождения, что подтверждено данными бурения. Судя по данным изучения флюидогеодинамики региона (Равдоникас, 1990), в рассматриваемой зоне вплоть до настоящего времени продолжается сток и разгрузка глубинных эндогенных флюидов в гравитационно-конвекционном и компрессионном режимах при не полностью завершённом подъеме офиолитового диапира в Охотском море. Этот режим обеспечил формирование газоконденсатных и газовых залежей в Охотском море в результате миграции и преобразования углеводородных флюидов по оперяющим офиолитовый диапир сдвиговым разломам (рис. 2). Большая часть газогидратов сосредоточена на восточном склоне о-ва Сахалин, в зоне подъёма офиолитового диапира

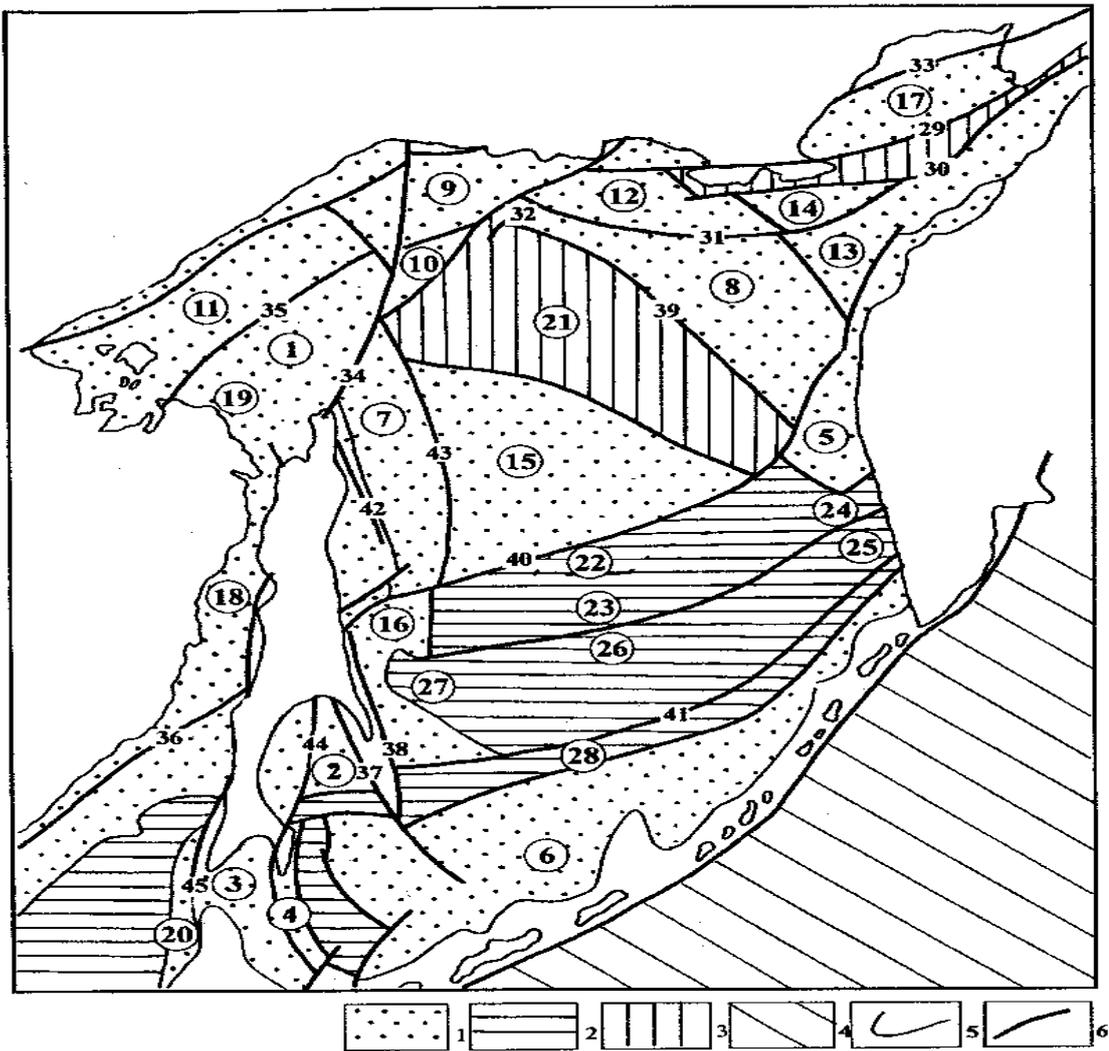


Рис. 2. Схема структурных элементов Охотоморского региона (Объяснительная записка к тектонической карте Охотоморского региона масштаба 1:2500000, 2000)

1 – прогибы; 2 – системы присдвиговых горстов и грабен; 3 – мезозойские блоки, перекрытые маломощным чехлом кайнозойских отложений; 4 – Тихоокеанская плита; 5 – границы структурных элементов; 6 – крупные разломы.

Структурные элементы: 1 – Северо-Сахалинский прогиб; 2 – прогиб залива Терпения; 3 – Анивский прогиб; 4 – Танино-Анивское поднятие; 5 – Прикамчатское поднятие; субокеанические трог и котловины: 6 – Южно-Охотская, 7 – Дерюгинская, 8 – Тинро; рифтогенные прогибы: 9 – Кухтуйский, 10 – Кашеваровский, 11 – Шантарский грабен, 12 – Магаданский прогиб, 13 – Шелиховский грабен, 14 – Пьягинский грабен, 15 – Восточно-Дерюгинский грабен, 16 – Пограничный прогиб, 17 – Гижинская впадина, 18 – Северо-Татарский прогиб, 19 – Амуро-Лиманская подзона, 20 – прогиб Исикари; 21 – Центрально-Охотское поднятие; 22 – поднятие Института Океанологии; 23 – грабен Макарова; 24 – Кольский грабен; 25 – Большерецкое поднятие; 26 – поднятие Академии Наук СССР; 27 – Полевого поднятия; 28 – листрические впадины континентального склона.

Разломные зоны: 29 – Кони-Тайгоносская; 30 – Шелиховская; 31 – Южно-Магаданская; 32 – Лисянская; 33 – Челомджа-Ямская; 34 – Западно-Охотская; 35 – Шантарская; 36 – Восточно-Сихотеалинская; 37 – Вальзинская; 38 – Пограничная; 39 – Кашеваровская; 40 – Центрально-Охотская; 41 – Академическая; 42 – Восточно-Сахалинская; 43 – Восточно-Дерюгинская; 44 – Хоккайдо-Сахалинская; 45 – Западно-Сахалинская

и на склонах палеожелоба, представленного впадиной Дерюгина (рис. 3).

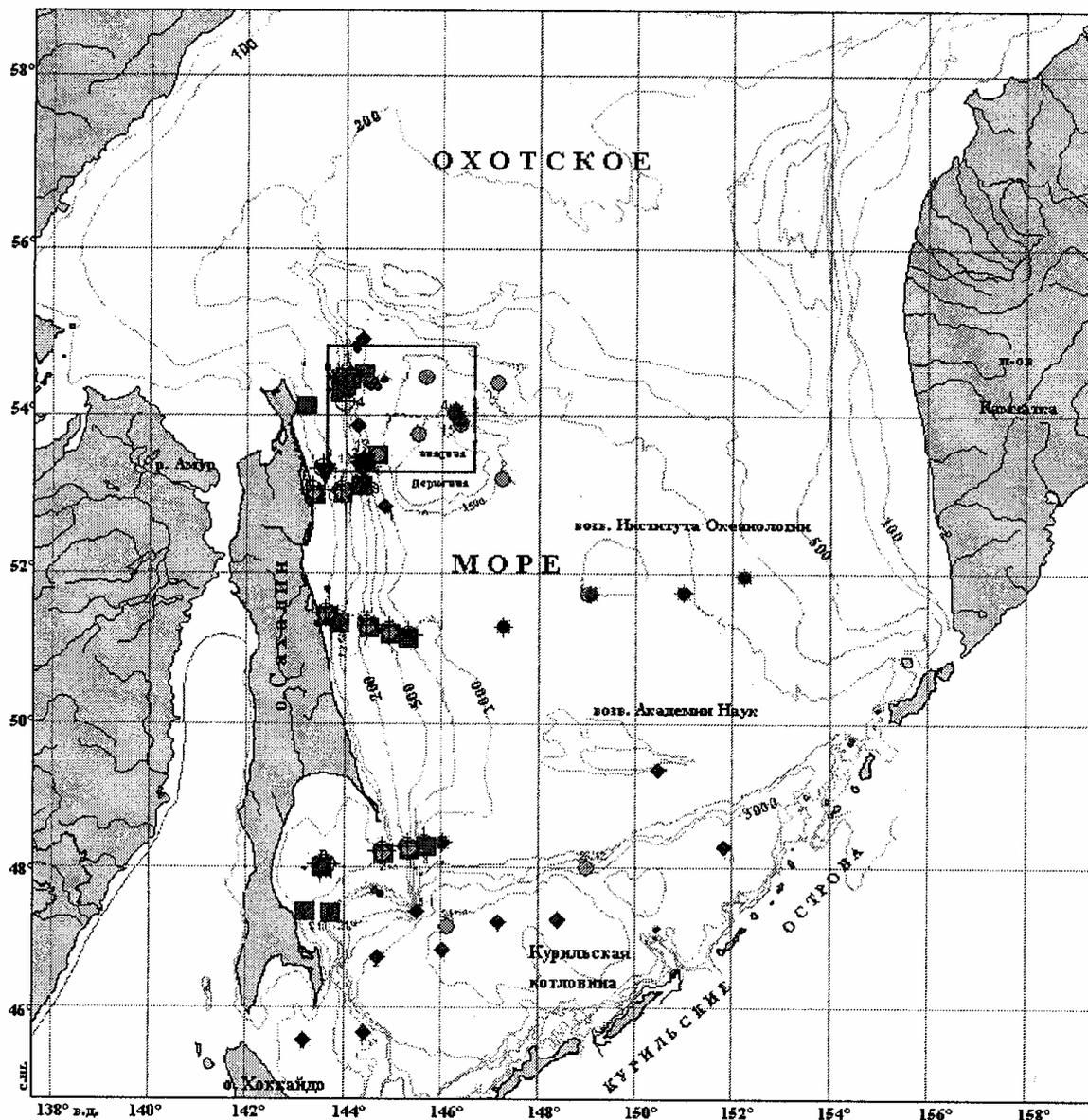


Рис. 3. Район исследований газогидратов и потоков метана в ходе различных экспедиций в Охотском море в 1998–2007 годы (по данным А.И. Обжирова, 2008).

Квадратом обозначен район работ, где обнаружено 11 газогидратсодержащих площадей и более 200 потоков пузырей метана из донных осадков в воду и самый мощный слой газогидратов (34 см). Разными значками обозначены станции (1998–2007)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований сделаны прогнозы относительно залежей нефти и газогидратов в акватории Карагинского и залива Корф в Беринговом море, а также

залежей нефти и газа на суше в районе пос. Тиличики и Хаилино на Камчатке, где недавно происходили землетрясения в палеозоне примитивная островная дуга – желоб. Зона палеосубдукции перед островом Карагинский показана на карте, составленной Н.И. Селиверстовым (1998), на основе комплекса геолого-геофизических данных для акватории Берингова моря.

ЛИТЕРАТУРА

- Арешев Л.Г., Гаврилов В.П., Донг Ч.А. и др. Геология и нефтегазоносность фундамента Зондского шельфа. М.: Нефть и газ, 1997. 276 с.
- Балакина Л.М. Сейсмогенные движения в фокальных зонах на примере Курило–Камчатской дуги // Строение сейсмофокальных зон. М.: Наука, 1987. С.198–209.
- Буало Г. Геология окраин континентов. М.: Мир, 1985. 155 с.
- Дмитриевский А.Н., Володин И.А. Формирование и динамика энергоактивных зон в геологической среде // Докл. РАН. 2006. Т. 411, №3. С. 395–399.
- Заварицкий А.Н. Дунит Нижнетагильского массива на Урале с глубины 500 м // Вестн. Геол. ком. 1925. № 4. С. 35–38.
- Ионе К.Г. Исследование процессов каталитического превращения CO, CO₂, H₂ – газов в земной коре в углеводороды и воду // Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ, парагенезы в системе горючих ископаемых: Тез. докл. Междунар. конф. М.: ГЕОС, 2006. С.115–117.
- Кулакова И.И., Руденко А.П. Свидетельства в пользу абиогенного происхождения нефтяных углеводородов // Генезис нефти и газа. М.: ГЕОС, 2003. С. 170–171.
- Обжиров А.И. Миграция углеводородов из недр к поверхности и формирование нефтегазовых залежей и газогидратов в Охотском море в период сеймотектонических активизаций // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ и их парагенезы. М.: ГЕОС, 2008. С. 359–362.
- Объяснительная записка к тектонической карте Охотоморского региона. Масштаб 1:2 500000. М.: ИЛОВМ РАН, 2000. 193 с.
- Равдоникас О.В. Флюидогеодинамика и нефтегазоносность северо-восточной окраины Азии: Объясн. зап. к карте м-ба 1:1000000. Хабаровск: ДВО АН СССР, 1990. 38 с.
- Рингвуд А.Е. Состав и строение Земли. М.: Наука, 1981. 113 с.

- Селивёрстов Н.И. Строение дна Прикамчатской акватории и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.
- Юркова Р.М. Граувакки неогена Северного Сахалина // Граувакки: Сб. науч. тр. М.: Наука, 1972. С. 154–186.
- Юркова Р.М. Мантийно-коровая серпентинизация ультрабазитов как источник углеводородных флюидов // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. М.: ГЕОС, 2002. С. 98–107.
- Юркова Р.М., Воронин Б.И. Подъём и преобразование мантийных и углеводородных флюидов в связи с формированием офиолитового диапира // Генезис углеводородных флюидов и месторождений. М.: ГЕОС, 2006. С. 56–67.
- Maekawa H., Yamamoto K., Teruaki J., Ueno T., Osada Y. Serpentine seamounts and hydrated mantle wedge in the Jzu-Bonin and Mariana forearc regions // Bull. Earth. Res. Inst. Univ. Tokyo. 2001. V. 76. P. 355–366.
- Maruyama S. Pacific-type orogeny revisited: Miyashiro-type orogeny proposed // The Island Arc. 1997. V. 6. P. 91–120.