

РУДНЫЕ, НЕФТЕГАЗОВЫЕ РАЙОНЫ ЮЖНО-ОХОТСКОЙ ПРОВИНЦИИ И ГЛУБИННАЯ ГЕОДИНАМИКА

В.Г. Хомич, Н.Г. Борискина

ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: khomich79@mail.ru, boriskina2000@mail.ru

Поступила в редакцию 26 марта 2020 г.

В Южно-Охотской провинции – на островах Сахалин, Кунашир, Итуруп, Уруп и окружающих морских акваториях – известно много проявлений редко-, благороднометалльного, иного оруденения, а также нефтегазовых полей, залежей газогидратов, обособленных участков активной эмиссии водно-углеводородных газов. Проявления и месторождения твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых контролируются скрытыми глубинными разломными зонами трансформного типа: Носаппу (Тускарора), Итуруп, и Уруп. Эти долгоживущие протяженные (более 1000 км) зоны выделены на СЗ окраине Тихоокеанской мегаплиты у ЮВ фланга Курило-Камчатского трога. Сейсмотомографическими методами установлено их продолжение к западу от сейсмофокальной зоны в океанском слэбе, погруженном в транзитную зону мантии. Разломы обеспечивали на участках сосдвигового растяжения активное формирование дренажных каналов как для проникновения морской воды в литосферу с последующей серпентизацией ее ультрамафитов, так и для декомпрессионной генерации восходящих мантийно-абиогенных флюидно-тепловых потоков. Последние проникали из подслэбовой астеносферы в надсубдукционный мантийный клин и подлитосферную мантию, где обуславливали развитие процессов метасоматоза. Последующая миграция потоков инициировала создание первичных магматических резервуаров в низах континентальной литосферы, а в земной коре – промежуточных и периферических очагов. Внедрение расплавов из очагов в консолидированную земную кору приводило к формированию абиссальных, гипабиссальных интрузивных массивов, сводово-купольных поднятий и магматогенно-рудных (рудно-магматических) систем преимущественно среди пород доплиоценового основания. Концентрирование залежей нефти и газа в основном из мантийно-абиогенных углеводородов, содержащих ртуть, золото, рений, элементы платиновой группы, происходило в осадочных бассейнах кайнозоя среди коллекторов под флюидоупорами также за счет глубинных под- и надслэбовых флюидных потоков.

Ключевые слова: глубинные разломы, благороднометалльное оруденение, нефтегазовые поля, мантийно-абиогенные флюидные потоки, Южно-Охотская провинция.

ВВЕДЕНИЕ

Южно-Охотская провинция, называемая иногда Сахалин-Южно-Курильским сектором Охотоморья, характеризуется в минерагеническом отношении широким спектром проявлений многометалльного (Hg, As, Cu, Pb, Zn, Sn, W, Au, Pt, Pd, Ir, Os, Ru, Re, In, Ge) эндогенного оруденения и десятков месторождений угля, нефти, газа и газогидратов [15, 52, 65, 72, 73]. В Охотском море кроме газогидратных залежей периодически фиксируются мощные выбросы (потоки, струи, факелы) природных газов [25, 26, 73]. На акватории моря установлена синхронность активизации таких углеводородсодержащих газовых струй и крупных глубинных землетрясений. Их гипоцентры

расположены в транзитной зоне мантии на глубинах до 600–700 км. Важно, что и среди проявлений эндогенного оруденения региона установлено присутствие битумов и битумоидов [13].

Поскольку углеводородная (УВ) специализация рудо- и нефтегазообразующих процессов установлена во многих регионах мира [40], постольку вышеприведенные сведения послужили основанием к специальному синтезу материалов по общей минерагении провинции для выяснения вероятных геолого-геодинамических причин сложного линейно-поясового и арально-узлового размещения рудных и нефтегазовых районов Южного Охотоморья. Считаем необходимым привлечение для обозначенного синтеза результатов

сейсмотомографических исследований региона [19, 33] и данных расшифровок фокальных механизмов землетрясений на его площади [25, 26].

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ПРОВИНЦИИ

Южное Охотоморье является частью крупного региона, геодинамическое положение которого, исходя из его размеров, мощности земной коры, особенностей строения, магматизма и металлогении, продолжает дискутироваться. Одни исследователи рассматривают его как островную часть «...континентальной кайнозойской окраины западно-тихоокеанского типа...» [12], другие – как особую «орогенно-конвергентно-коллизонную окраинноморскую» разновидность литосферных плит [10, 11, 27, 70]. И те, и другие констатируют наличие здесь микроконтинентов, разновеликих геоблоков, обычно погруженных на морское дно или (и) под кайнозойский чехол местных складчатых систем рифтогенного и синсдвигового происхождения.

Согласно новейшим геодинамическим моделям [30] на развитие Южного Охотоморья повлияла подлитосферная верхнемантийная конвекция в виде возвратного потока вещества в сторону Курило-Камчатской зоны субдукции. Существованием конвекции объясняется отодвигание (откат) ранних зон субдукции от края азиатского материка (вместе с островными дугами) и образование под влиянием растяжения континентальной литосферы и сопутствующего этому рифтогенеза окраинно-морских бассейнов.

Исследованиями последних десятилетий в южной части Охотоморского региона (о-ва Сахалин, Кунашир, Итуруп, Уруп) выделен широкий спектр структурных элементов разного масштаба (рис. 1). Для региона характерна неравномерность (фрагментарность) проявленности мантийно-коровых интрузивных, субвулканических образований, субаквальных и субаэральных эффузивно-пирокластических толщ и нестандартная «многоликая» минерагения.

Докайнозойские образования известны на островах Малой Курильской гряды (МКГ), в Западно- и Восточно-Сахалинском складчатых поясах, где они представлены сложно дислоцированными и неоднократно метаморфизованными позднепалеозойско-триас-юрско-датскими отложениями.

Существенно усложняют строение региона кайнозойские осадочные бассейны и задуговые рифты, сопряженные с синсдвиговыми зонами, а также вулканические, вулкано-плутонические пояса. В определенной степени эту сложность помогают раскрыть результаты наземных и морских геофизических и сейсмотомографических исследований [43, 50, 58, 59, 65].

В Южно-Охотской провинции наиболее крупными геоморфолого-геологическими системами яв-

ляются Хоккайдо-Сахалинская, Немуро-Курильская и, заключенная между ними, глубоководная котловина (рис. 1). По возрасту и степени деформированности геологические образования Хоккайдо-Сахалинской складчато-надвиговой системы разделяют на палеозой-мезозой-палеоценовый фундамент и эоцен-плейстоценовый чехол [9]. Для фундамента системы характерны террейны разной геодинамической природы (табл. 1), разграниченные крупными разломными зонами с шовными сдвиги-надвигами [11, 12, 20, 48, 50].

В системе выделено несколько террейнов, группирующихся вблизи Камуикотан-Центрально-Сахалинской (Тынь-Поронайской) субдукционной сутуры. К западу от нее выделяют Иезо-Западно-Сахалинский и Ребун-Кабато-Монеронский, а к востоку – Токоро-Набильский и Восточно-Сахалинский составной террейны. В последнем выделяют аллохтонные блоки широкого возрастного диапазона из эффузивных (толеиты, ферробазальты) покровов, бескорневых глыб верхнепалеозойских известняков и кремневых триас-нижнемеловых пачек, претерпевших глаукофан-зеленосланцевый метаморфизм. Центральная (протяженностью 300 км) и северная части острова перекрыты миоцен-плиоценовыми терригенными отложениями верхнего структурного этажа.

Центрально-Сахалинская (Тынь-Поронайская) сутура, реконструированная предшественниками по геолого-геофизическим материалам, представлена одноименным взбросо-надвигом. Она выражена в геофизических полях (рис. 2) гравитационными максимумами, градиентными зонами поля силы тяжести разной степени отчетливости [58]. Положительные магнитные аномалии, выявленные около сутуры [50], напоминают те линейные зоны, что свойственны трансформным разломам на океанской плите у Курило-Камчатского желоба. Для Центрально-Сахалинского взбросо-надвига характерна также повышенная сейсмичность, присутствие газо-, нефтепроявлений и действующих грязевых вулканов [42, 65, 69, 72]. В настоящее время сутура выступает как сейсmodинамический экран между западными и восточными террейнами о. Сахалин, перераспределяя действие полей напряжения субдуцирующей Тихоокеанской и перекрывающей Амурской континентальной плит [11, 26, 48]. По данным современной модификации метода магнитотеллурического зондирования она представляет собой крутопадающую флюидонасыщенную разломную систему, достигающую астеносферы [42].

Как полагают А.И. Ханчук с соавторами [64], на о-ве Сахалин продолжают некоторые Сихотэ-Алинские террейны. В частности, в западной и центральной частях острова документируются фрагмен-

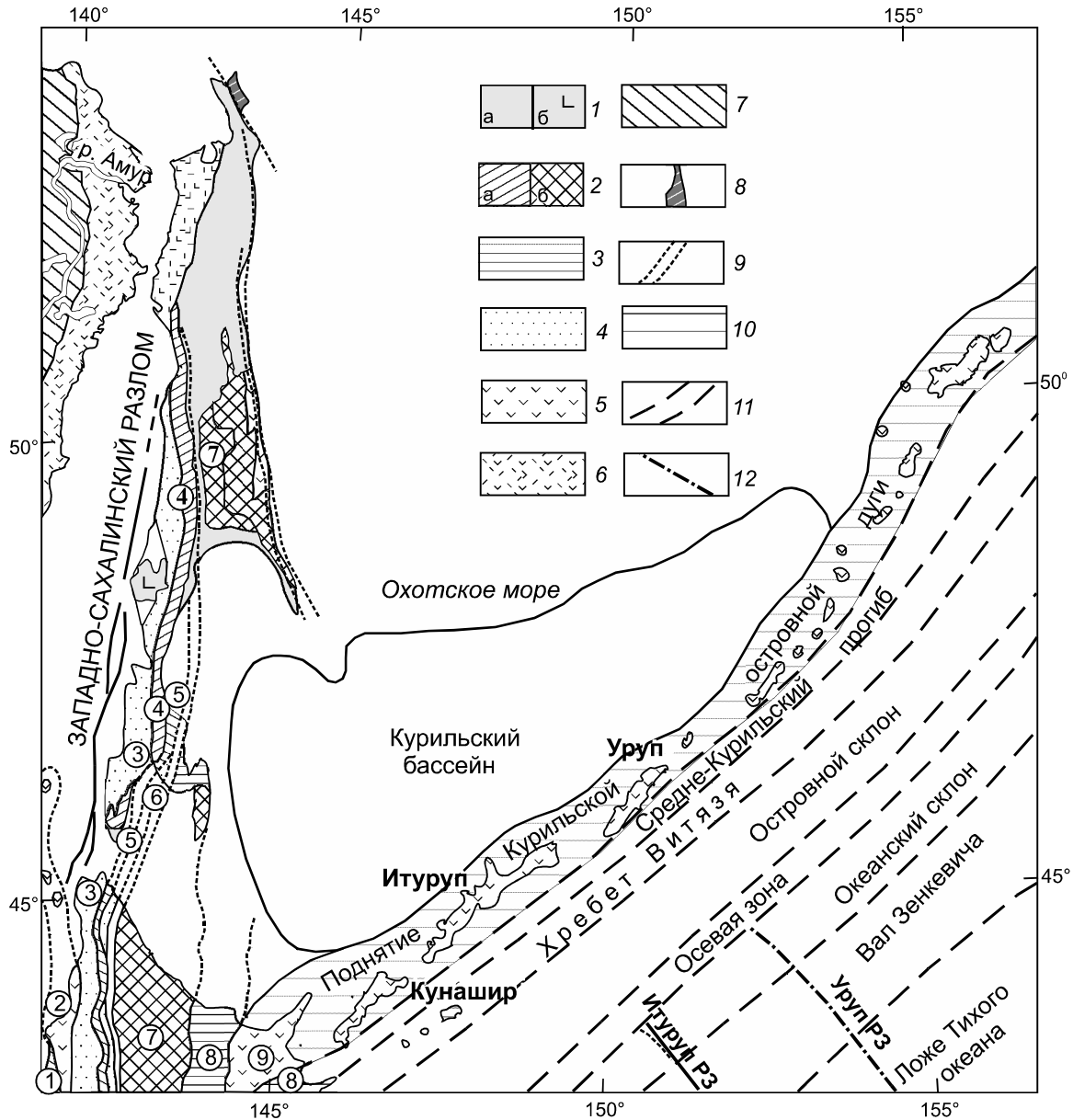


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Хоккайдо-Сахалин-Курильского Охотоморья. По [1, 8, 9, 12, 20, 87] с изменениями и дополнениями.

1 – седиментационные толщи кайнозоя (а), орловские платобазальты, плейстоцен (б); 2 – докайнозойское основание Хоккайдо-Сахалинской орогенной системы: верхнемеловое (а), палеозой-мезозойское (б); 3 – Токоро-Немура-Озерский островодужный террейн, кампан-эоценовый; 4–5 – террейны аккреционных призм: 4 – турбидитовых бассейнов, 5 – островодужных систем; 6 – Восточно-Сихотэ-Алинский вулcano-плутонический пояс; 7 – Сихотэ-Алинская складчатая область; 8 – субдукционный метаморфический комплекс; 9 – шовные сдвиговые зоны; 10 – островодужное поднятие; 11 – границы геоморфологических зон Курило-Камчатского трога; 12 – разломные зоны трансформного типа. Цифры в кружках – названия, возраст террейнов и шовных зон Хоккайдо-Сахалинской орогенной системы (см. табл. 1): 1 – Ошима, аккреционный, юра; 2 – Ребун-Кабато-Монеронский островодужный, мел; 3–4 – Сорачи-Эдзо-Западно-Сахалинский, турбидитовый апт-палеоцен, баррем-палеоцен; 5 – Камуикотан-Сусунайский субдукционный метаморфический, мел-среднеэоцен; 6 – Идоннаппу-Мерейская шовная сдвиговая зона; 7 – Хидака-Тонино-Анивский, аккреционный поздний мел-эоцен; 8–9 – Токоро-Немура-Озерский, островодужный, кампан-раннеэоценовый.

ты аккреционной призмы Монерон-Самаргинской раннемеловой островной дуги. Судя по отсутствию несогласий между турбидитовыми верхнесеноман-кампанскими и мелководными маастрихт-кайнозой-

скими отложениями Западно-Сахалинского прогиба, они принадлежат единому разрезу пологой моноклинали, возникшей на жестком фундаменте континентального склона.

Таблица 1. Сравнительная характеристика террейнов (тектонических поясов) Хоккайдо-Сахалинской складчато-надвиговой системы. По [8, 11, 12, 20].

		о. Сахалин		
		о. Хоккайдо		
Вещественные ассоциации геологических комплексов, их возраст и присутствие наложенных магматических образований		Тип, возраст, название террейнов		
2		3		
10		4		
		5		
1	Покровы орловских платобазальтов, плиоцен, миоцен-четвертичные терригенные отложения	Неоавтохтон		
9	Конгломераты, туфотурбидиты, флиш с силлами долеритов и потоками островодужных энсиматических вулканитов, перекрытые средне-верхнеэоценовым неоавтохтоном	Островодужный, энсиматический кампан-средне-позднеэоценовый, НЕМУРО	Островодужный ВОСТОЧНО-САХАЛИН-СКИЙ (Терпения), кампан-эоценовый	Комплексы пермско-сеноманской океанической коры позднемелового-палеоценового чехла окраинного моря с фрагментами кампан-раннеэоценовой островодужной системы, Вавайской
8	Туфотурбидиты, конгломераты, турбидиты, кремнисто-вулканогенные породы океанических островов, умеренно метаморфизованные базальты, 85 Ma	Энсиматической островной дуги и аккреционных призм преддугового прогиба, юрско-позднемеловой, кампан-раннеэоценовый, ТОКОРО	Энсиматической островной дуги, кампан-раннеэоценовый, ОЗЕРСКИЙ	Частично ороговитованной (вблизи тел эоценовых гранитоидов) зоной меланжа в основании. перекрытые чехлом из верхнеэоцен-нижнемиоценовых отложений
7	Турбидиты, терригенный меланж с блоками берриас-туронских яшм, зеленокаменных пород, известняков, гемипелагические кремнистые сланцы, базальты типа срединно-океанических хребтов Габбро-диорит-гранитные интрузивы I типа, 56±6 Ma, высокоглиноземистые тоналиты S типа, 35–17 Ma	Аккреционный-окрайно-континентальный с включениями коллизионных метаморфитов, позднемеловой-раннеэоценовый, ХИДАКА	Аккреционный окраинно-континентальный с включениями метаморфитов, апт-маастрихтский-средне-позднеэоценовый, ТОНИНО-АНИВСКИЙ	Турбидитовые меланж-олистостромовые комплексы, полигенные микститы с тектоническими клиньями юрско-раннемеловых пород океанических поднятий. Прорваны среднеэоценовыми (40.8, 34.7 Ma, K-Ar), раннеэоценовыми гранитами S-типа и перекрыты (в депрессиях) угленосными субконтинентальными отложениями нижнего-среднего миоцена, в основании которых развиты мощные коры выветривания
6	Узкие протяженные крутопадающие пластины турбидитов, олистостромов и меланжей с крупными телами океанических базальтов, включениями пермских, триасовых известняков, триасово-юрских яшм, радиоляритов, туфосилицилитов, кремнистых сланцев, серпентинитов валанжина-баррема и апт-альба, перекрытые офиолитовым (периодититы) аллохтоном. Разновременные сдвиговые дислокации: ранние левосторонние и поздние (миоцен) правосторонние. Возраст инициальных метаморфитов: 96–94, 71–66, 58.5–35.1 Ma	Шовная (сдвиговая) зона, баррем-альб-кампан-данний, ИДОННАПУ	Шовная (сдвиговая) зона, МЕРЕЙСКАЯ	Сдвиговые швы с левоуклиственными выходами меланжированных офиолитов и высокобарических метаморфитов (западное крыло). В центре и у восточного крыла швы разделяют аккреционные и турбидитовые субтеррейны мела-раннего палеоцена

Таблица 1. (Окончание).

1	2	3	4	5
5	Высоко-, умеренно- и низкобарические сланцы, офиолитовой, метапелитовой природы, серпентинитовый меланж, линзы, пластины зеленых сланцев и кварцитов. Возраст сланцев (Ma): низкобарических 50–45, умеренно-высокобарических 107–51, высокобарических 145–101, высокобарических диафторитов 126–123	Субдукционный метаморфический, юрско-эоценовый, КАМУИКОГАН	Субдукционный метаморфический, мел-среднеэоценовый, СУСУНАЙСКИЙ	Разновозрастные апотерригенные меланжированные метаморфические образования с пластами зеленых сланцев, кварцитов, мраморизованных известняков, с метафиолитовыми прогнотизмами и зонами деформированных серпентинитов, а также доверхнемеловых вулканогенно-кремнисто-терригенных пород и средне-верхнемеловых турбидитов и олистостром, участками перекрытые чехлом верхнеэоцен-олигоцен-раннемиоценового автохтона
4	Циклически построенный разрез субаркозовых отложений, турбидитов и офиолитовой кластики	Турбидитовый бассейн преддугтового прогиба, готерив (альб-турон-коньяк-кампан)-маастрихт-палеоценовый, ЭДЗО (ИЕЗО)	Турбидитовый бассейн окраинно-континентального прогиба, апт-маастрихт-палеоцен, ЗАПАДНО-САХАЛИНСКИЙ	Турбидиты, прибрежно-морские и параллические отложения из субаркозовых граувак с примесью пирокластики кислого состава, перекрытые с угловым несогласием (на востоке террейна) эоцен-олигоценовыми вулканогенно-осадочными толщами. Прорван поясом палеоценовых даек биогитовых риолитов
3	Меланжированные толеиты и субщелочные океанические базальты, красные яшмы, зеленые кремни, кислые туфы, кремнеобломочные и вулканокластические породы, офиолитовый аллохтон и серпентинитовый меланж	Океанического плагио, валанжин-готеривский, СОРАЧИ	?	?
2	Лавы, гиалокластиты толеитовых андезитов и базальтов, вулканогенно-осадочные породы. Возраст 101.3±2.7 Ma (K-Ar)	Приконтинентально-островодужный раннемеловой (берриас-баррем), РЕБУН-КАБАТО	Островодужный, мел-палеоценовый (берриас-альб-даний), МОНЕРОНСКИЙ	Тектонически расслоенные островодужные толеиты, известково-щелочные вулканиты среднего-основного состава (141–118 Ma) с маломощными пачками вулканогенно-осадочных пород, перекрытые сеноман-датской (103–86, 77–59 Ma) вулканогенно-осадочной толщей
1	Аркозовые турбидиты, терригенный меланж с экзотическими блоками (C ₃ -I ₁) известняков, яшм, океанических базальтов и кремнистых алевролитов	Аккреционный, юрский, ОШИМА	?	?

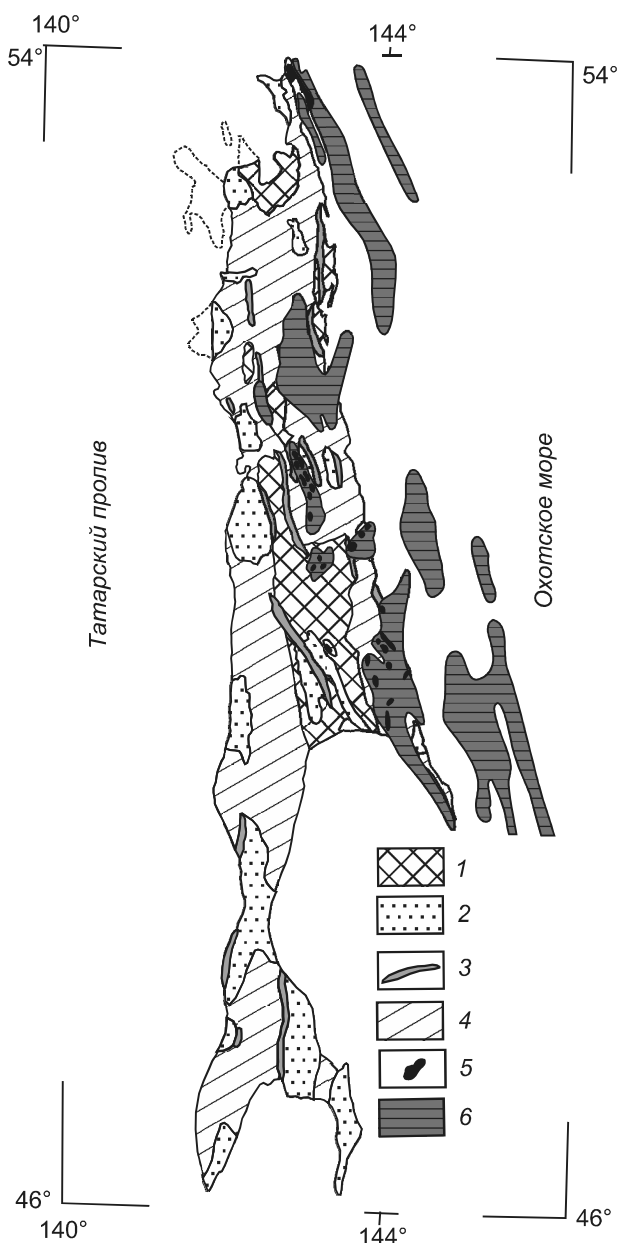


Рис. 2. Схема геофизических аномалий о. Сахалин. По [50, 58].

1–4 – параметры поля силы тяжести: гравиметрические минимумы (1), максимумы (2), ступени (3), промежуточных значений (4); 5 – перидотит-гарцбургит-габбро-норитовые массивы; 6 – положительные магнитные аномалии.

Восточно-Сахалинскую зону разнофациальных гемипелагических отложений некоторые тектонисты рассматривают в качестве фрагмента (террейна) мел-палеогеновой аккреционной призмы, также возникшей при формировании Кемско-Самаргинской островной вулканической дуги Сихотэ-Алиня и Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса [22]. Они считают, что ее структура формирова-

лась в результате двуединого процесса: фронтальной аккреции и тектонического подслаивания по вторичным надвигам, а затем перекрытия отложениями покровного комплекса.

На восточном побережье у южного (п-ов Терпения) и северного (п-ов Шмидта) окончаний острова в полосе шириной 20–30 км обнажены юрско-поздне-меловые офиолиты. Они имеют тектонические границы как с Восточно-Сахалинским конседиментационным прогибом на востоке, так и с Набильским субтеррейном на западе [65]. У мыса Шельтинга среди магматических образований закартирован автохтонный габбро-перидотитовый плутон (1.0×1.5 км), окруженный покровами низкокальциевых и низкотитанистых бонинитов, магнезиальных двупироксеновых андезитов, дацитов, риолитов и их туфов, имеющий тектонические контакты с вмещающими породами [7]. Некоторые тектонисты причисляют его к образованиям кумулятивной серии [48], а петрологи – к полигенным [34]. Серпентинизированные гипербазиты перекрыты высокотитанистыми толеитовыми пиллоу-базальтами с прослоями яшм и альб-сенонских радиоляритов [10]. Возраст (K-Ar) габброноритов апикальной части расслоенного массива – 143.7 Ма, риолитов его обрамления – 140 Ма, дацитов – 100 Ма, секущих тел субщелочных базальтов – 97 и 74 Ма, а выявленной поблизости серии параллельных крутопадающих даек магнезиально-хромистых кварцевых диоритов – 67 Ма [10]. В целом считается, что бонинит-габбро-перидотитовый вулканоплутонический комплекс (ВПК) приурочен к крупной сквозьлитосферной тектонической зоне северо-западной ориентации, разделяющей стратифицированные терригенные отложения разного облика и возраста. К югу от ВПК распространены песчано-глинистые сероцветные сенонские (88–65 Ма) граувакки котиковской серии, а к северу – зеленоцветные юрские (170–150 Ма) туфоалевролиты ракетинской свиты [7, 10]. Еще один крупный – Березовский – и несколько мелких габбро-перидотитовых массивов этого же ВПК трассируют северо-западное простирание сквозьлитосферной зоны (рис. 2). По материалам U-Pb цирконометрии, возраст березовских габброноритов, габбродиоритов и диоритов 169–154 Ма [56].

Относительно молодое – эоценовое – время становления местных постааккреционных массивов гранитоидов лангерийского, анивского и охотского комплексов подтверждено U-Pb датированием по цирконам: ~37–36, ~41–40 и ~44–42 Ма, соответственно [4, 20]. Самый же молодой эпизод постааккреционного магматизма (22–21 Ма) и возможной экзугмации интрузивов (~20–17 Ма) установлен методом трекового датирования апатитов [78].

Примыкающая с востока к о. Сахалин Южно-Охотская (Курильская) глубоководная впадина (котловина, $800 \times 50-300$ км), с мел?-олигоцен-миоцен-четвертичными отложениями, мощностью до 4–7 км, причисляется многими тектонистами к типичным задуговым бассейнам, возникшим под влиянием субдукционных процессов, развивавшимся в системе Курило-Камчатский желоб – островная Большемурильская гряда (БКГ) [8, 12]. Другие исследователи настаивают на ее рифтогенном происхождении [56].

На островах южного звена Курильской островодужной системы (КОС), расположенных восточнее и юго-восточнее впадины, установлены позднемеловые-палеогеновые и неоген-четвертичные стратифицированные образования [10, 44, 63]. Более древние толщи и небольшие протрузии ультрамафитов [34] преимущественно распространены на островах МКГ и подводном хребте Витязь. Предполагается, что эти толщи участвуют в строении гетерогенного фундамента островов БКГ.

Комплексные региональные геофизические исследования вносят ясность в понимание структуры Южного Охотоморья [43]. Мощность его земной коры изменяется в диапазоне 25–40 км при средней глубине залегания поверхности М более 25 км. Под островами БКГ мощность коры составляет 35–40 км. Она сокращается до 30–35 км под приостровным склоном глубоководного желоба и МКГ. В обоих случаях сиалическая часть коры занимает не более одной трети, а мафическая – две трети ее мощности. Изогипса поверхности Мохо в 30 км замыкается под южной группой островов БКГ. Мощность коры восточнее глубоководного желоба и под Южно-Охотской (Курильской) котловиной не превышает 15–20 км.

Геологические комплексы БКГ, принадлежа разным структурным ярусам, разделены несогласиями. Среди комплексов выделяют зеленотуфовый с гиалокластитами, туффитами и вулканогенно-осадочными отложениями (олигоцен), вулканогенно-кремнисто-диатомовый из тонко-шлишоидно переслаивающихся накоплений с литовитрокластическими туфами переменного состава (нижний-верхний миоцен), базальтоидный (плиоцен), андезитовый (квартер) с туфами кислого состава и современными осадками. Существует мнение о возможной принадлежности четвертичных платобазальтов островов южного звена БКГ к субплатформенным образованиям рифтогенного происхождения [57]. Возраст ВПК этой части БКГ преимущественно олигоцен-миоценовый [14, 28, 51]. По данным абсолютной геохронологии крупные габбро-диорит-плагитогранитные массивы (прасоловский комплекс) возникли в олигоцене: $33.8-30 \pm 2$ Ма (К-Аг, вал), 31 ± 1 Ма (U/Pb, циркон) [51, 79]. Суще-

ственно позднее внедрились субвулканические тела габброидов (16 ± 3 Ма), кварцевых диоритов (11–10.5 Ма), кварцевых порфиров (6 Ма) (К-Аг, вал, [51]). На о. Уруп, по уточненным данным последних лет [28], время становления субвулканических, экструзивных тел и даек кислого состава приходится на $6.6-4.7$ и $7.8 \pm 1.5 - 4.2 \pm 0.9$ Ма (К-Аг вал).

Значительное место в структуре Сахалин-Южнокурильского Охотоморья занимает разрывная тектоника. Системы северо-восточных (курильских), субмеридиональных (хоккайдо-сахалинских) и северо-северо-западных (сахалинских) разломов сопряженно проявились в меле-палеогене и неогене-квартере. Весьма крупная система сквозькоровых разломов северо-западной ориентации выявлена геофизиками в проливе Буссоль. Она разделяет БКГ на два звена: южное Кунашир-Урупское и северное Симушир-Парамуширское. На каждом из островов южного звена также выявлены тектонические зоны северо-западного простирания. Они проявлены, как отмечалось выше, и на о. Сахалин. К такого типа зонам приурочены Шельтингский и Березовский перидотит-пироксенит-габброноритовые ВПК.

На западном берегу Татарского пролива (от берегов Амурского лимана до Ульбанского залива и залива Александры) картируется еще одна широкая (до 160 км) зона разрывов сдвиговой природы СЗ простирания [32]. Зона обладает высокой сейсмоактивностью [61]. Ее установленная протяженность (от о. Сахалин и Амурского лимана до оз. Байкал) превышает 2250 км (рис. 3), совмещаясь с северной границей Амурской плиты [21]. Реальность обозначенных контуров Амурской плиты подтверждается GPS-векторами ее движения на восток в сторону Центрально-Сахалинской сутуры, начиная от оз. Байкал [30].

МИНЕРАЛЬНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ РЕГИОНА

Коренные проявления цветных (W, As, Sb, Hg), редких (Ge, Re), благородных (Au, PGE) металлов известны в разных частях Южного Охотоморья. Они обнаружены преимущественно там, где распространены офиолиты, терригенно-кремнисто-вулканогенные комплексы аккреционных призм с телами метаморфитов амфиболовой, глаукофановой фаций и проявлены субаквальные, субаэральные вулканические, субвулканические, гипабиссальные плутонические комплексы. На о. Сахалин такие плутонические комплексы (охотский, анивский, лангерийский) возникли в эоцене, а на Курилах (прасоловский, северянковский, береговой, малайский) – в олигоцене-неогене [4, 15, 20, 51, 79]. С названными комплексами ассоциируют серно-, медно-цинково-колчеданные, колчеданно-по-

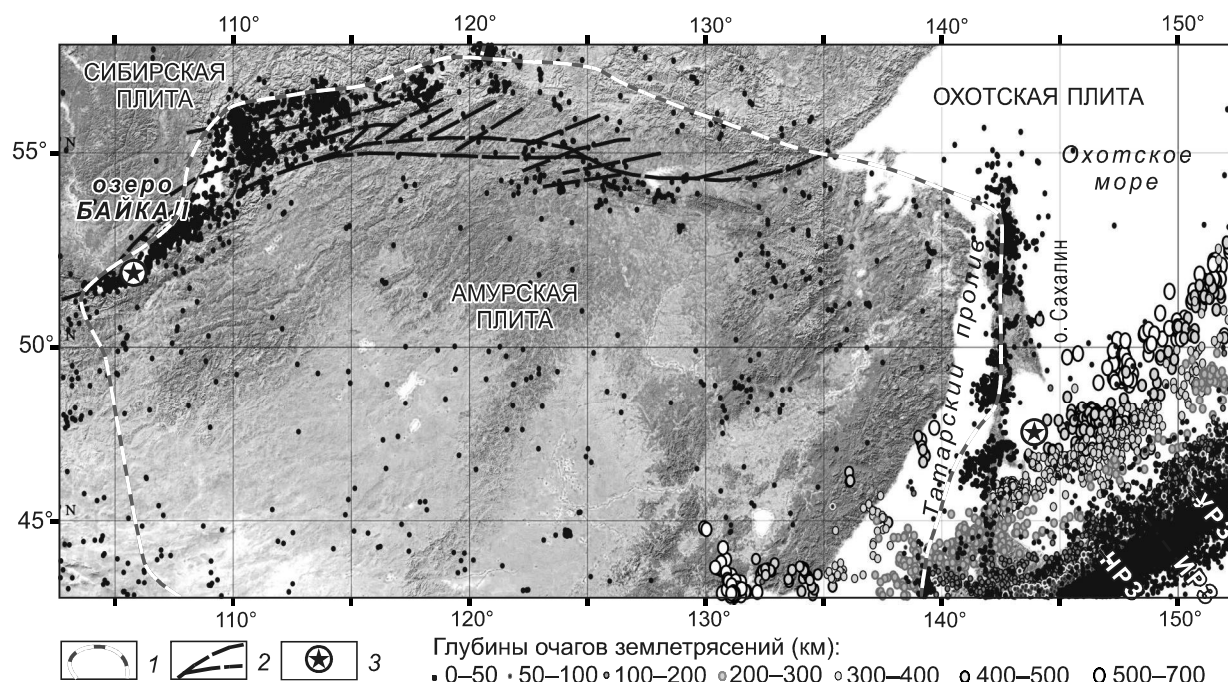


Рис. 3. Карта размещения гипоцентров землетрясений на Востоке Азии и юге Охотоморской провинции, по [Каталог NEIC].

1 – границы плит [21]; 2 – Байкало-Становая тектоническая зона неоген-антропогенных сдвиговых дислокаций [2, 3]; 3 – местоположения синхронных газовых факелов августа 2012 года.

лиметаллические, золото-кварцевые и золото-серебряные, золото-оловянные, вольфрам-киноварные проявления оруденения, сопровождаемые россыпями, шлиховыми ореолами и геохимическими аномалиями. Развернутая характеристика обозначенного спектра проявлений содержится в многочисленных публикациях российских и некоторых зарубежных специалистов [13–15, 28, 29, 62, 76]. Мы остановимся на краткой информации о тех проявлениях редких (Ge, Re) и благородных (Au, Ag, PGE) металлов, которые традиционно представляют повышенный интерес для промышленников и геологоразведчиков.

На о. Сахалин наиболее значительная часть россыпей, ореолов и коренных проявлений Au и PGE сосредоточена в центральной (средней, срединной) его части (рис. 4), на площади Рукутамо-Армуданского пояса (РАП, 180×50 км), иногда называемого рудным районом [6, 15]. С юго-востока к РАП примыкает расположенная на побережье Охотского моря Пионерско-Шельтингская магма-металлогеническая зона северо-западного простирания. Обращают внимание факты преимущественно такой же северо-западной ориентации основных структурных элементов РАП, не вполне согласующиеся с субдолготным простиранием многих других разрывных систем южной части орогена (рис. 1–2). Известные в РАП узлы concentra-

ции шлиховых ореолов и россыпей Au, часто содержащие PGE, встречаются на выступах из метаморфических сланцев докайнозойского основания террейнов с протрузиями мафит-ультрамафитов, интрузивными телами эоценовых габбро-диоритов, гранодиорит-гранитов и дайками андезитов, гранит-порфиров, местами перекрытых неогеновыми вулканокластическими толщами андезит-дацитового состава (рис. 4).

Самым изученным из рудно-россыпных узлов Сахалина является Лангерийский, занимающий центральное положение в РАП. В его россыпях встречались самородки Au весом до 1.5 кг [15]. Коренные источники золота, обычно расположенные среди ореолов гидротермально-метасоматической аргиллизации, ассоциирующих с дайками переменного состава и массивами гранитоидов одноименного комплекса, представлены кварцевыми жилами, халцедон-гидрослюдисто-кварцевыми и карбонатными брекчиями, арсенипирит-альбит-кварцевыми катаклазитами. Все они сопряжены с разломами сдвиговой и взбросо-надвиговой природы.

Пробность Au в россыпях изменяется от высокой (для крупных хорошо окатанных зерен) до низкой (для средних и мелких его частиц). Здесь же, в россыпях и шлиховых ореолах встречаются и сростки золота с кварцем, альбитом, пиритом и ар-

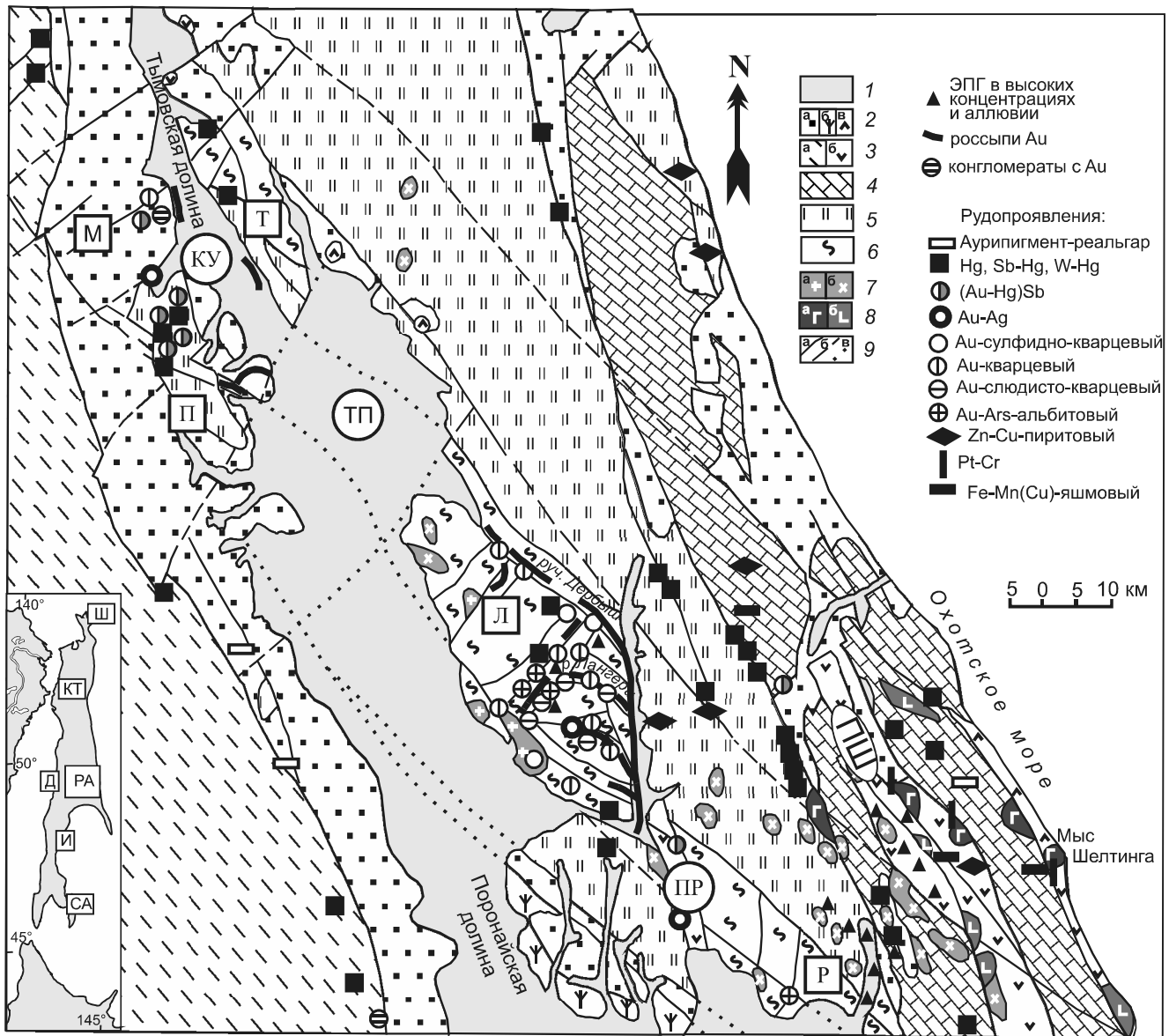


Рис. 4. Геолого-металлогеническая схема Рукутамо-Армуданского рудного района. По [14, 15] с некоторыми изменениями.

1 – четвертичные отложения; 2–4 – вулканогенно-терригенные толщи: 2 – неогена: а – осадочные, б – дацит-трахиандезитовые, в – андезибазальтовые; 3 – позднего мела: а – терригенные, б – андезибазальтовые; 4 – меловые вулканогенно-осадочные известняк-яшмо-спилитовые отложения; 5 – терригенно-кремнисто-вулканогенные отложения юры – мела; б – позднепалеозойские-раннемезозойские метаморфические сланцы (эоцен?); 7–8 – интрузивные массивы: 7 – а – гранитоидов, б – диорит-габброидов; 8 – ультрамафитов: а – дунит-гарцбургитов, б – норит-ортопироксенит-гарцбургитов; 9 – разломы: а – установленные, б – предполагаемые, в – погребенные. Во врезке буквами в рамках обозначены районы размещения россыпей Au и ЭПГ (Ш – п-ов Шмидта, КТ – Комулан-Теньги, РА – Рукутамо-Армуданский, СА – Сусунайско-Анивский), а также проявлений Hg с Au (Д – Докторское, И – Иньское). На основной схеме сдвоенными буквами в овалах обозначены депрессии (ПШ – Пионерско-Шельтингская; ТП – Тымь-Поронайская, КУ – Корчевка-Укладенская, ПР – Первомайская); а буквами в квадратах узлы (Т – Тымовский, М – Малотымовский, П – Палевский; Л – Лангерийский, Р – Рукутамский).

сенопиритом. Высокопробное Au иногда содержит следы термального воздействия, корродированности, а его зерна цементируются электрумом. Последний совместно с пиритом, марказитом, баритом и киноварью обнаружен в зоне разлома, отделяющей

метаморфические сланцы от неогеновых осадочно-вулканогенных накоплений Первомайского грабена (рис. 4). Здесь же среди халцедон-гидрослюдистых кварцитов, обнаружены свалы из глыб фестончато-полосчатых кварцев [15].

На северо-западном и юго-восточном флангах РАП, в Малотымовском и Рукутамском узлах, россыпи и ореолы также сопряжены с тектоническими зонами, отделяющими метаморфические сланцы от депрессионных участков распространения неоген-четвертичных отложений. Спектр коренных проявлений благороднометалльного оруденения в этих узлах значительно скромнее Лангерийского. На их площади проявлены в основном ртутная, золото-киноварь-антимонитовая, реже золото-сульфидно-кварцевая (в основном с шеелитом) минерализация. Вместе с тем, в Малотымовском узле на участке местной депрессии, разделяющей горстовые поднятия докайнозойского фундамента, также обнаружены развалы золотоносного колломорфно-полосчатого халцедоновидного кварца с карбонатами и сульфидами Fe, Cu, Zn, Pb и Ag. В ССЗ и ЮЮЗ частях РАП (рис. 4) выявлены участки сосредоточения золотоносных конгломератов с высокопробным (≈ 900 ‰ и более) хорошо окатанным Au [15].

PGE в россыпях района представлены соединениями Ru-Os-Ir, реже самородной, палладистой и железистой Pt [14]. Платиноиды встречаются на участках, где долины рек и ручьев пересекают зоны серпентинизированного меланжа с телами метагабброидов, серпентин-амфиболовых сланцев спилит-диабазовой и дунит-гарцбургитовой формаций. Весьма примечательно, что PGE на отдельных участках обнаружены в плотике из черных серицит-хлорит-кварцевых (TiO_2 до 1.9 %) сланцев, не содержащих офиолитов. В россыпях некоторых ручьев и речек (Дербыш, Горбуша и др.) кроме самородных Cu и Au (обладающих высокой чистотой состава) присутствуют самородки рутениридосмина и ферроплатины. Последняя иногда цементирует корродированные и раздробленные пластинки рутениридосмина с примесями разных PGE, а также Cu, Ni, Fe. В ферроплатине они представлены Ni, Cu, Ru, Ir, Rh, Pd [14]. В пробах из коренных и делювиальных обломков пород также зафиксированы две минерально-геохимические ассоциации: Os-Ir и Pt-Pd. Первая присуща метабазитам, оталькованным, эпидотизированным и сульфидизированным ортосланцам и серпентинизированным гипербазитам. В их хромшпинелидах обнаружены зерна лаурита (RuS_2), Ru-Os-Ir, а в промежутках – Pt, Pd, Rh. Вторая ассоциация (до 0.26 г/т $\Sigma\text{Pt}+\text{Pd}$) свойственна катаклазированным низкоглиноземистым железистым хромититам, гематитизированным кварцитам, окварцованным ортосланцам, метасоматитам по базитам, гипербазитам и метаамфиболитам [15]. По данным В.Я. Данченко, в истоках россыпи р. Горбуша среди лиственизированных и серпентинизированных ультрабазитов вскрыта золото-кварцевая жила, у зальбандов которой найдены зерна

палладистой платины. Габброиды и перидотиты Березовско-Шельтингской зоны также имеют платиноидную Ru-Os-Ir специализацию [14]. В целом, согласно Ф.П. Леснову [34], суммарные количества PGE в породах мафит-ультрамафитовых массивов о. Сахалин изменяются в пределах 8.6–46.0 мг/т, а в хромититах из них – от 693 до 834 мг/т. В их составе обнаружены микрочерны сульфидов изоморфного ряда: лаурит (RuS_2)-эрлихманит (OsS_2) и аварунит (Ni_3Fe), содержащий 71.4 мас. % Ni и 20.7 мас. % Fe [34].

Шлиховые ореолы и россыпи Au южных островов Курильской дуги преимущественно изучены там, где обнаружены коренные проявления Au-Ag минерализации, то есть в основном среди золото-адуляр-кварцевых метасоматитов. Знаки Au на островах Кунашир, Итуруп, Уруп выявлены не только в шлихах, но также на участках побережий, где имеются валунно-галечные развалы рудоносных жильно-метасоматических образований [6, 28, 62]. Исследовано оно и на известном Прасоловском месторождении золото-сульфидно-селенидно-теллуридных руд с As, Cu, Zn, Pb, Sb, Hg [29, 76, 83].

Значимые (до 1 г/т) концентрации PGE обнаружены на Курильских островах в рудах Валентиновского (о. Кунашир) колчеданно-полиметаллического месторождения и местных залежах серно-колчеданных (с опалитами) руд [15]. По данным Л.П. Разина [47], содержания (г/т) PGE в последних достигают: Ir – 0.6, Os – 0.3, Ru – 0.17, Rh – 0.053, Pt – 0.17, Pd – 0.57.

Весьма примечательной особенностью южных Курил является золото-платиноидная металлоносность термальных источников. Гидрогеохимическим и геохимическим опробованием многочисленных сольфатар и гидросольфатар – производных прижерловой деятельности вулканов Менделеева и Головнина (о. Кунашир, рис. 5) – доказана реальность существования здесь нового нетрадиционного источника комплексного благороднометалльного (Au, PGE) сырья [47]. Масштабы его концентрации сопоставимы с размерами промышленно перспективных месторождений традиционных типов (табл. 2). Для обоих вулканов присущ толеитовый тренд дифференциации платоэффузивов андезитобазальтового (для экстрезивных куполов – андезит-дацитового) состава. Такие эффузивы вулканологи относят к производным верхнемантийной родоначальной мафитовой магмы [63]. На о. Итуруп зерна Au и самородной платины, а также других PGE (как и самородных Si, Fe, Ti, Al) в составе сложных фосфор-хлор-углеводородных соединений зафиксированы в сублиматах вулкана Кудрявый [16, 31, 90]. Их концентрации (в г/т) достигают 1.1 Pt, 2.2 Pd и 0.41 Rh [15].

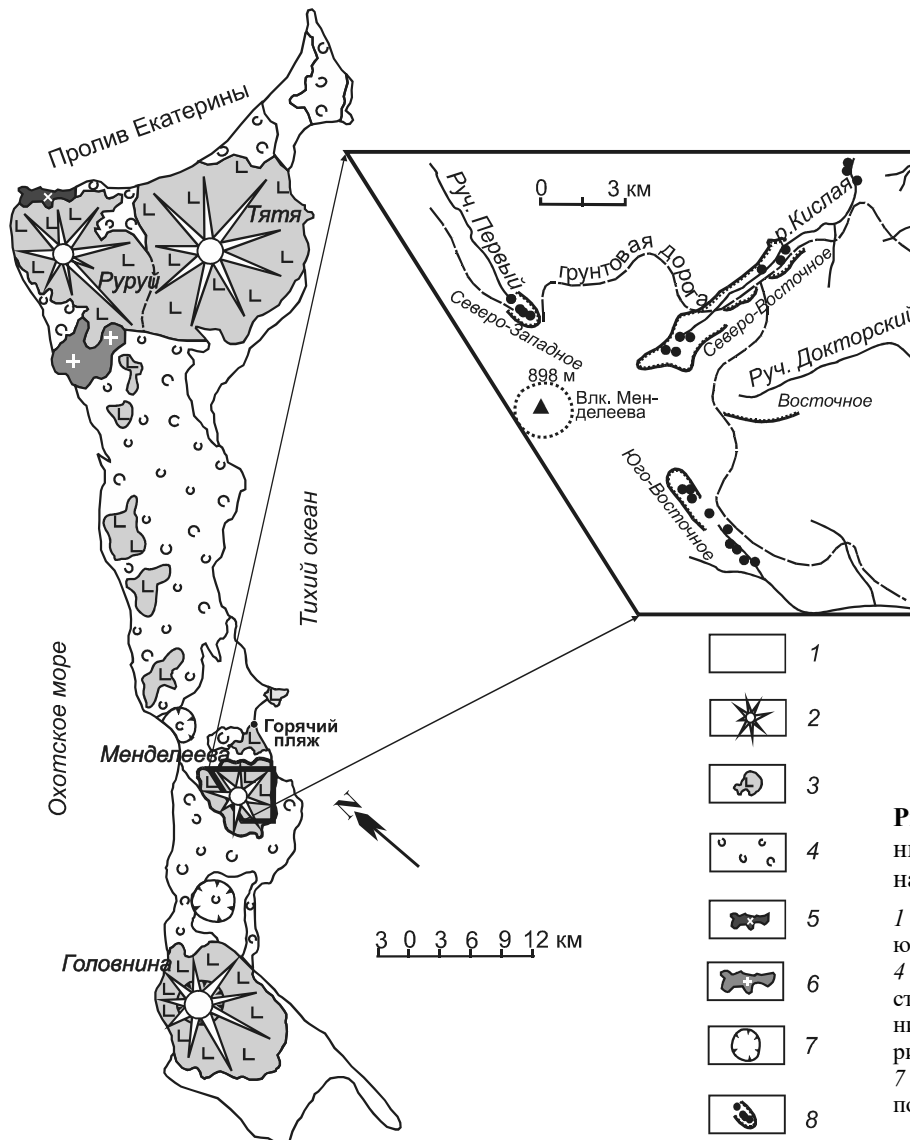


Рис. 5. Схема размещения сольфатарных полей вулкана Менделеева (о. Кунашир). По [47].

1 – четвертичные отложения; 2 – действующие вулканы; 3 – плато-андезитобазальты; 4 – нерасчлененные эффузивно-пирокластические отложения, неоген; 5 – субвулканические тела, гранитоиды; 6 – габбродиорит-плагиогранитовый массив, олигоцен; 7 – кальдеры и кратеры; 8 – сольфатарные поля и выходы гидросольфатар.

В четвертичных и современных сублимационных (колчеданно-серных), гидросольфатарных и некоторых неогеновых эпитеpmальных проявлениях южного Охотоморья дополнительное внимание привлекают высокие содержания Ge, In, Cd, Mo, Sn, Tl и особенно Re [14, 29]. Рениеносные отложения минерализованных источников и эпитеpmальных проявлений оруденения выявлены, главным образом, на островах Итуруп и Кунашир. Они ассоциируют с газиво-флюидными потоками базальтовых очагов и встречаются в проявлениях золото-серебряной, колчеданно-полиметаллической и ртутной опалитовой формаций, а также в сахалинских диагенетически-катагенетически преобразованных седиментогенных отложениях и телетермальных проявлениях (Hg)-Cu минерализации [15]. На о. Итуруп в комплексных рудах вулкана Кудрявого содержатся высокие (до 450 г/т)

концентрации Ge [15]. Он присутствует (до 1000 г/т) в лигнитах некоторых угольных месторождений Северного Сахалина и среди минерализованных образований упоминавшихся Малотымовского и Палевского рудных полей. Объясняется такое концентрирование Ge воздействием поствулканических процессов неогенового времени.

НЕФТЕГАЗОВЫЕ ПОЛЯ, ГАЗОГИДРАТНЫЕ ЗАЛЕЖИ И ВОДНО-УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ПОТОКИ

При детальном исследовании нефтегазовых полей Сахалинского региона (рис. 6) выявлена исключительно важная роль сдвиговой тектоники в формировании очагов и зон нефтегазонакопления, создании благоприятных условий для появления проницаемых флюидопроводящих каналов и непроницаемых флюидоупоров в присдвиговых оса-

Таблица 2. Содержания благородных металлов (г/т) в твердых и жидких производных влк. Менделеева по данным химико-спектрального кинетического (Ir-Os) анализа сухих остатков вод. По Л.П. Разину [47] с упрощениями.

Опробованный объект		Rh	Pt	Au	Ir	Pd	Os	Ru	PGE+Au
Колчеданная залежь		0.0053	0.17	0.065	0.6	0.57	0.3	0.1	1.858
Воды гидротермальных источников	№6	0.035	н.о.	0.02	0.24	н.о.	0.075	0.21	0.58
	№3	н.о.	н.о.	0.018	0.18	н.о.	0.09	0.054	0.342
Самоизливающаяся скв. № 5 месторождения Горячий пляж		0.067	0.25	0.04	0.34	0.3	0.014	0.11	1.121

дочных бассейнах растяжения (pull apart basin). Эти факты положены в основу глубинно-фильтрационной модели местного нефтегазонакопления [52, 65]. С флюидогеодинамических позиций важнейшими факторами возникновения соответствующих месторождений, учитываемых данной моделью, являются глубинные разломы, повлиявшие на создание и присдвиговых бассейнов растяжения, и путей миграции флюидопотоков. В осадочных бассейнах, в свою очередь, представляются важными особые сочетания из породных комплексов повышенной проницаемости и флюидоупоров, влиявших на размещение залежей углеводородов (УВ) и их последующее сохранение, соответственно. Перечисленные факторы отчасти отображены на карте нефтегазогеологического районирования о. Сахалин и его шельфов (рис. 6). Особое внимание на карте привлекают магистральные флюидопроводящие системы северо-западного простирания, отделяющие богатую Северо-Сахалинскую нефтегазовую провинцию от потенциально нефтегазоносных Западно- и Юго-Западно-Сахалинской. Примечательно, что придонноморские залежи газогидратов, выявленные в регионе почти у всех структур газового просачивания, в основном приурочены к таким же зонам разломов [73]. Они продолжают в юго-восточном направлении к островам Уруп, Итуруп и Кунашир БКГ (рис. 6).

Во многих публикациях, раскрывающих закономерности нефтегазонакопления в регионе, приводятся доказательства контроля тектоническими структурами площадных и сосредоточенных очагов дегазации, имеющих разноуровневые источники углеводородов: от микробных, газогидратных, грязевулканических, термогенных до глубинных подлитосферных, что вполне согласуется с современными моделями генерации и нефтегазонакопления [17, 54, 73]. Наиболее насыщенными газовыделениями считаются западно- и южноохотская зоны [40]. На сахалинской суше и ее шельфах дополнительно выделены две газогеохимические подзоны – Метановая на северо-востоке и Метаново-Углекислая на юго-западе [71]. Особо

подчеркнем установленные факты временной сопряженности наибольших выделений метана в провинции с землетрясениями [73]. Важно, что практически повсеместно участки с максимальными потоками CH_4 проецируются на разломы глубокого заложения. Самый мощный из современных потоков газа (высотой в 2000 м), выявленный в морской среде Южно-Охотской зоны, почти достигал водной поверхности. Его мощность составляла 2.99 кг/(км²·сут) [41]. Он был синхронен глубинному (с гипоцентром в 625.9 км от поверхности) землетрясению, произошедшему 14 августа 2012 г. По данным А.Н. Диденко (устное сообщение), за период с 1956 по 2019 гг. в регионе произошло около 70 глубинных землетрясений, гипоцентры которых располагались глубже 410 км. Можно полагать, что отсутствие данных о пространственно-временной сопряженности с ними соответствующих синхронных газовых потоков во многом обусловлено техническими и организационными причинами, вызванными недостаточной оснащенностью НИИ специализированными экспедиционными судами и регистрирующими аналитическими приборами. Ранее считалось, что миграция метана в такие залежи происходит только из нефтегазосодержащих пород и разрушающихся газогидратов глубоких горизонтов осадочных толщ. Возникновение факелов логичнее объясняется в соответствии с моделью флюидогеодинамики глубокофокусной сейсмо-тектонической активизации и подтверждается выявлением фокусированных потоков и струй газа, синхронных с землетрясениями [65, 73]. Вместе с тем, Б.Я. Радзиминович с соавторами [46] сообщает о визуальных наблюдениях газовых факелов на озере Байкал в начале прошлого века.

Потоки углеводородных газов известны в провинции и в местах водно-флюидной разгрузки многих вулканов КОС. Особенно они характерны для ее южного звена: влк. Менделеева, Головина (о. Кунашир), влк. Медвежьего (о. Итуруп) и др. Главным компонентом (до 90–95 об. %) их дефлюидизации являются пары воды. Среди других компонентов установлены CO_2 , CO , HCl , HF , H_2S , NH_3 , N_2 , CH_4 , HCNS ,

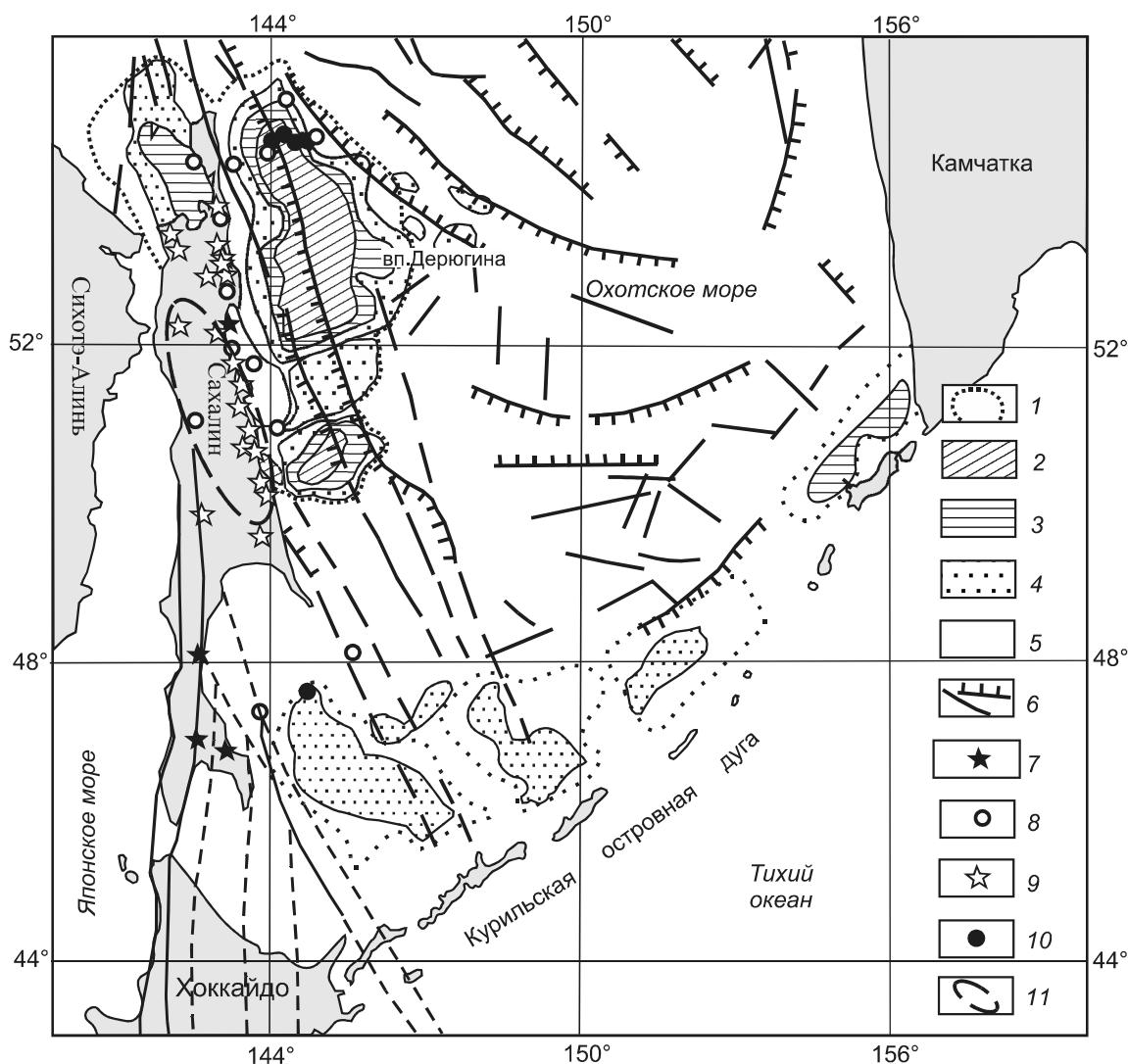


Рис. 6. Схема распространности нефте- и газопоявлений в южной части Охотского моря. По [73] с некоторыми изменениями и дополнениями.

1 – контуры ареалов высокой плотности концентраций УВ; 2–5 – потенциальная плотность концентрации УВ ($\cdot 10^6$ т/км²): 2 – 20, 3 – 10–15, 4 – 5, 5 – <5; 6 – границы рифтов и прочие разломы; 7 – грязевые вулканы; 8 – факелы; 9 – выходы нефти; 10 – выходы газа; 11 – ареал главных проявлений разнотипного эндогенного оруденения (см. рис. 4).

F₄, В(ОН)₃, Ar и др. [60, 73]. По содержанию углеводородных газов резко выделяется о. Итуруп. Здесь концентрации таких газов (в струях влк. Кудрявый) достигали 58 об. %, то есть были ураганными. На других вулканах Курильских островов ураганными (до 99 об. %) были концентрации азота, а иногда и водорода (до 39 об. %, влк. Черный о. Чирпой). Высоких содержаний (до 22 об. %) углеводородные газы (метан и его тяжелые гомологи) достигали также в фумаролах вулканов и сопряженных с ними горячих водотоках [72, 73]. В активно газифицирующихся высокотемпературных сольфатарах, а также в термальных водах и грязевых котлах присутствуют (в нл/л): метан – до 800,

этан – до 40, этилен – до 100, пропан, бутан, сложные комплексные соединения углеводородов с хлором, фосфором, рением и платиной, а также самородные благородные металлы [14, 16, 60, 84, 90]. Газовая фаза грязевых вулканов провинции в основном представлена метаном (до 95 об. %) в присутствии N₂ и CO₂ (< 10–15 об. %) [69, 71].

Результаты изучения изотопного состава углерода из метана, этана и углекислого газа в свободной и растворенной формах свидетельствуют об их преимущественно термогенном и метаморфогенном происхождении [71]. В пользу их мантийной природы свидетельствуют изотопные данные газовой фазы ми-

неральных вод Синегорского месторождения и Южно-Сахалинского грязевого вулкана [69].

ГЛУБИННАЯ ГЕОДИНАМИКА

На о. Сахалин мелкофокусные землетрясения (с гипоцентрами до 50 км) преимущественно сосредоточены у границы Амурской и Охотской плит (рис. 3). Как показали С.А. Касаткин и В.В. Голозубов [26], совокупность ориентировок главных осей напряжений таких малоуглубинных землетрясений подчеркивает одноплановость соответствующего поля и свидетельствует, что в условиях близгоризонтального ВСВ ($60-90^\circ$, $\angle 0-30^\circ$) сжатия по близдолготным разрывам происходили взбросовые и надвиговые смещения, документируемые по крутонаклонным ($\angle 60-90^\circ$) осям растяжения и субмеридиональным пологим ($\angle 0-30^\circ$) средним осям.

Ориентировка же осей напряжения глубокофокусных землетрясений согласуется с направлением движения субдуцирующей Тихоокеанской плиты. Их углы погружения близки 45° . В результате субдуцирования возникли поперечная и продольная системы растяжения. Они свидетельствуют о проявлении в сейсмофокальной зоне сдвиговых перемещений. Анализ расшифровок фокальных механизмов сильных ($M \geq 5$) землетрясений, имевших место за последние 30 лет в Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне (глубины 50–700 км), выполненный С.А. Касаткиным по материалам каталога NEIC (National Earthquake Information Center, USA), подтвердил широкую распространенность в ней очагов напряжений сдвигового типа с крутонаклонным ($40-90^\circ$) погружением средней оси и близгоризонтальными слабонаклонными ($0-30^\circ$) лево- и правосторонними смещениями в плоскости разрывов [25]. Характерно, что правые сдвиги «курильского» (северо-восточного) простирания распространены в основном до глубины в 200 км, а левые сдвиги южного звена БКГ, фиксируемые до глубины 680 км, имеют «сахалинское» (северо-западное) простирание. Совокупность обеих систем сдвигов (левых, ССЗ $330-340^\circ$ и правых, СВ $50-60^\circ$) образует сопряженную систему, вектор регионального сжатия в которой ориентирован на ЗСЗ (290°) согласно генеральному направлению движения Тихоокеанской плиты и ее субдуцирующего слэба.

Аномальная проявленность ССЗ левых сдвигов в пределах южного звена Курильской островодужной системы и ее повышенная сейсмичность предопределены активизацией разрывных нарушений нескольких разломных зон трансформного типа (РЗТТ) – Носаппу, Итуруп, Уруп, расположенных на Тихоокеанской плите. На некоторых картах и схемах разлом Носаппу называется Тускарора [37]. Протяженность РЗТТ

от возвышенности Шатского до Курило-Камчатского желоба превышает 1000 км [87]. Они возникли по типу хребет-хребет в период поздней юры–раннего мела [85, 86, 88]. Суммарная амплитуда латеральных смещений по ним оценивается японскими учеными в 150 км. Естественно, что в условиях субдукции наиболее ослабленными участками погружающегося слэба были РЗТТ. Из сейсмотомограмм [33] следует, что по их смесителям происходили как подвижки с доминантой левосторонних смещений ССЗ простирания, так и формирование структур содвигового растяжения. Последние отображены на томографических профилях транзитной зоны мантии в виде локальных участков пониженных скоростей Р-волн [33]. Мы полагаем, что именно сдвиги по РЗТТ создавали в слэбе структуры растяжения, проницаемые для мантийных флюидов.

Таким образом, активность РЗТТ наряду с другими факторами [18] обеспечивала возникновение и дальнейшее существование проницаемых каналов для восходящих флюидных потоков и расплавов из океанской подслэбовой астеносферы и нижней мантии. Поэтому представляется не случайным совпадение общего простирания известных нефтегазовых и газогидратных полей Охотоморья с ориентацией РЗТТ (рис. 7), объясняя общую тенденцию размещения УВ. На ССЗ континентальном (азиатском) продолжении РЗТТ геофизики и тектонисты [21] выделяют крупный глубинный линеймент, протянувшийся вплоть до оз. Байкал (рис. 3). Он фиксирует северную границу Амурской плиты и сопряженную с ней Байкало-Становую зону сдвиговых дислокаций [2, 3]. На Байкале также выявлены потоки и проявления газогидратов [46]. Примечательно, что байкальские потоки УВ недавно активизировались практически синхронно с отмеченным выше гигантским охотоморским факелом августа 2012 г. Они задокументированы в виде извержений двух глубоководных (1296 и 1390 м) пульсирующих газовых струй высотой в 1025 и 960 м [72].

Активные тектонические подвижки в тихоокеанской части РЗТТ выразились в серии землетрясений вблизи о. Шикотан, результаты которых проанализированы японскими геофизиками [82]. Считается, что они проявились как реакция на перемещения в местной зоне субдукции. Юго-восточнее, на участках Тихоокеанской плиты, заключенных между РЗТТ Носаппу, Итуруп и Уруп, обнаружены специфические («petit-spots») малообъемные (около 1 км^3) вулканические постройки высокощелочных базальтов [77, 80, 81]. Аргон-аргоновые датировки их возраста колеблются от 8.5 до 6.0, 4.2, 1.8, 1.0–0.05 Ма. Проявленность высокощелочного «шошонитового» магматизма

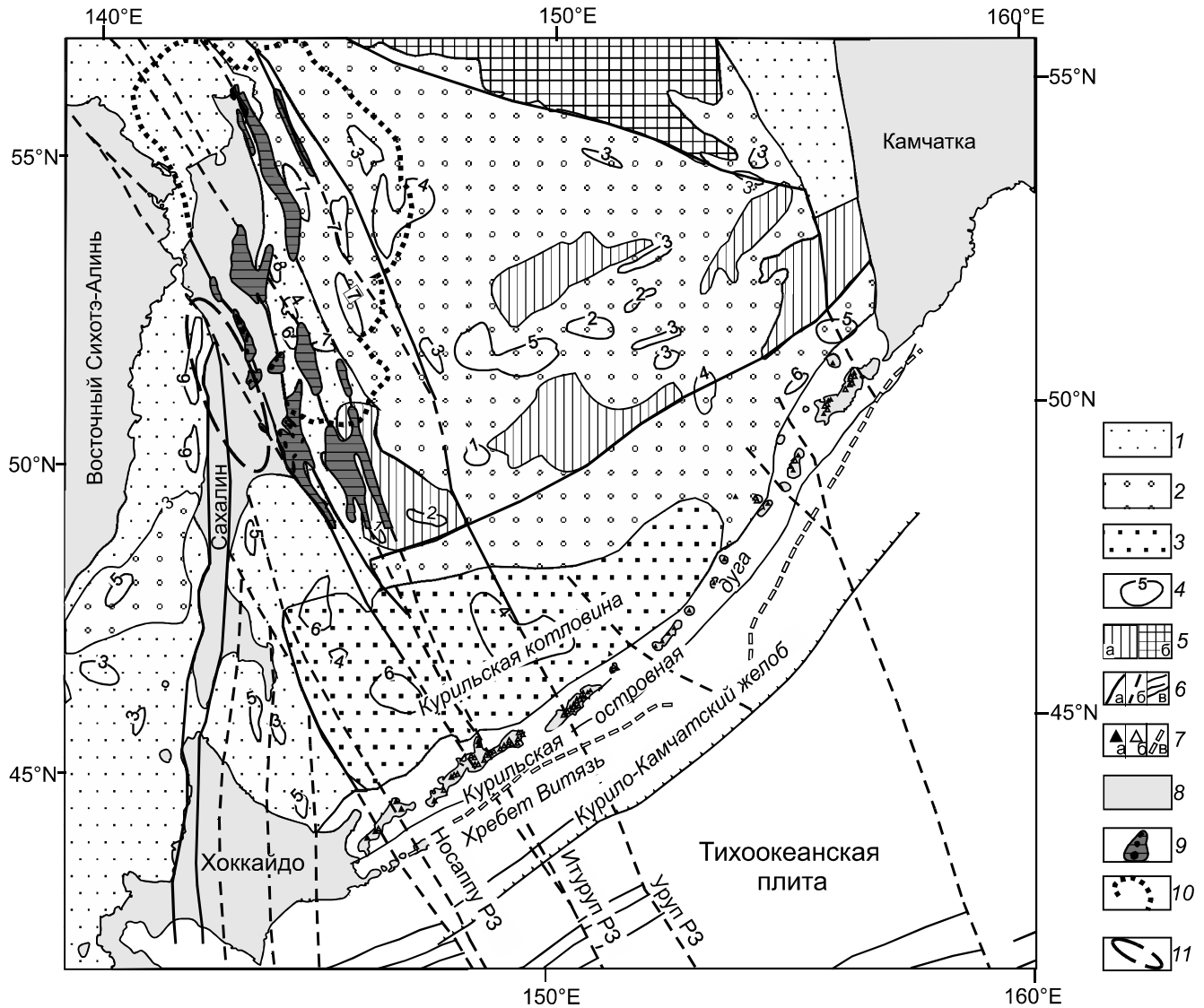


Рис. 7. Схема размещения рудных нефтегазовых районов и кайнозойских бассейнов осадконакопления Южно-Охотской провинции. По [59, 65, 73] с изменениями и дополнениями.

1-3 – осадочные комплексы рифтовых и эпирифтовых бассейнов деструктивного тектогенеза на континентальной, субконтинентальной (1-2) и океанической (3) коре; 1 – палеоген-плиоценовый, 2 – неоген-четвертичный, 3 – палеоген-четвертичный; 4 – изопахиты (км) осадочных толщ; 5 – блоки относительной стабильности на: а – палеозойско-мезозойском (Pz-Mz) и б – докембрийско-палеозойском (PRc-Pz) субстрате; 6 – разломы (а, б) и их проекции: а – литосферные, б – трансформные; в – линии разной намагниченности дна Тихого океана; 7 – современные вулканы: а – действующие, б – потухшие; в – невулканические острова, подводные поднятия и хребты; 8 – континентальная и островная суша; 9 – положительные магнитные аномалии и мафит-ультрамафитовые массивы (см. рис. 2); 10 – ареал высокой плотности концентраций УВ (см. рис. 6); 11 – ареал главных проявлений разнотипного эндогенного оруденения (см. рис. 4).

вблизи желоба и сейсмофокальной зоны обусловлена, по мнению японских ученых, существованием глубинных разломов, проникавших до подслэбового астеносферного источника. Как отмечено выше, проницаемость таких разломов сохранялась при субдукционных процессах не только на уровне сейсмофокальной зоны, но и в пределах слэба, переместившегося в транзитную зону мантии [33].

ОБСУЖДЕНИЕ

Приведенные выше материалы, раскрывая некоторые детали геологического строения Сахалин-Южно-Курильского сектора Азиатско-Тихоокеанской мегазоны взаимодействия (АТМВ) [66] и сонахождение на его площади разнотипных структурно-вещественных комплексов (СВК), характеризуют регион в качестве неординарной провинции сосредоточения

нефтегазовых полей, потоков УВ и разнотипных магматических, рудообразующих систем, возникших под влиянием глубинной геодинамики. К числу ярких особенностей сектора относится именно его УВ специализация и принадлежность к наиболее мобильной части Азиатско-Тихоокеанской мегазоны конвергенции. Обсудим сведения по геологии и металлогении региона в свете современных научных данных.

Согласно известной концепции эволюционного развития континентальной литосферы, с формированием триады: земная кора – истощенная мантия – астеносфера, питающей средой флюидных систем, на базе которых формировались магматические очаги островных дуг, является астеносферный слой [35]. Производными магматических очагов по вышеназванной модели считаются базит-плагиогранитовые массивы, бонинитовые образования, зрелые дацит-риолитовые комплексы с их глубинными гранодиорит-гранитными комагматами и эндогенные проявления цветных, редких и благородных металлов. Астеносферная природа и восстановленность глубинных флюидных систем обеспечивали широкое развитие тонкодисперсных выделений самородных элементов, которые и обнаружены в местных высокотемпературных газовых струях [16, 90].

Петрологи относительно давно обратили внимание, что в минералах магматических щелочных пород и рудных тел весьма часто содержатся флюидные включения метана и других более тяжелых УВ [38, 49]. По их представлениям, УВ, генерируясь в недрах Земли в связи с развитием щелочного магматизма, обеспечивали возникновение соответствующих (щелочных) миграционных комплексов металлов и их вхождение во флюиды при ошелачивании магматических очагов. В основной своей массе такие комплексы представляли газовые смеси, в которых H_2O находилась в газообразном состоянии. При миграции подобные флюиды опережали иные восходящие дегазирующие потоки, а их окислительная полимеризация способствовала созданию высокого химического сродства с благородными металлами.

Результаты исследований последних лет в значительной мере подтверждают эту мантийно-абиогенную гипотезу нефтегазо- и рудообразования. Потенциальным источником флюидов системы С-О-Н, по всей вероятности, были ультрамафиты мантии, поскольку водород и углерод присутствуют в структуре оливина и пироксена мантийных перидотитов в форме ионов OH^- и молекул H_2O_{cryst} , CO_2 , CH_4 , CH_2 , CH_3 [5]. Среди летучих преобладает водная составляющая ($OH^- + H_2O_{cryst}$). Предполагается, что основным механизмом высвобождения летучих, представленных разными формами Н и С, был процесс плавления.

Здесь же отметим и новые экспериментальные свидетельства вероятности транспорта Pt в системе такого сверхкритического С-О-Н флюида [36]. По этому сценарию, сопряженность рудогенеза с потоками УВ в Южно-Охотоморской провинции (и на Курилах, и на Сахалине) представляется естественной и закономерной.

Обнаружение на островах южного звена БКГ высокотемпературных (до $940^\circ C$) газовых струй, в составе которых присутствуют не только пары воды, но и CO_2 , H_2 , H_2S , HCl , HF , CH_4 и его гомологи, а также весьма сложные углеводородные комплексы (с платиной, фосфором, хлором), как и микрочастицы самородных платиноидов, меди, золота, рения и других элементов [16, 31, 60, 90], позволяет констатировать принадлежность региона к числу природных экспериментальных лабораторий, предназначенных для дальнейших исследований и решения дискуссионных проблем металлогении. Стимулом к поиску позитивных ответов на существующие проблемы может служить изучение благороднометалльной минерализованности сольфатарных полей вблизи современных вулканов [47, 73]. При дальнейших поисках согласованного ответа на пространственную сопряженность нефтегазовых и рудных районов авторами предлагается учитывать существование долгоживущих глубинных разломов трансформного типа. Именно они, по нашему мнению, обеспечили столь аномальную проявленность в регионе рудно-магматических систем и нефтегазогеохимических полей. Как было показано выше, разломы, выявленные к ВЮВ от Курильского глубоководного желоба и сопровождаемые особым малообъемным высокощелочным магматизмом (*petit-spots*), фиксируются геофизиками к ЗСЗ от сейсмофокальной зоны (СФЗ) в верхней и средней мантии (на глубине до 700 км) Охотоморья между фрагментами океанского слэба, вмещающего эту же систему левых сдвигов ССЗ ориентации [33].

На участке погружения слэба такие РЗТТ (Носаппу, Итуруп, Уруп) проявлены серией ослабленных полей сосдвигового растяжения и у сейсмофокальной зоны. Современная их активность в южной части Охотского моря доказывается глубинными (до 680 км и более) землетрясениями, сопровождавшимися резким повышением интенсивности истечения подводных газовых струй. Привлекают внимание не только факты размещения в земной коре над РЗТТ мест сосредоточения вулканических сооружений, флюидно-газовых проявлений, сольфатар, рудных узлов на островах южного Охотоморья [83], но и особенности строения геофизических полей на о. Сахалин, подчеркивающие влияние глубинной геодинамики на ориентацию положительных магнитных аномалий и

градиентных зон поля силы тяжести (рис. 2). Об этом же свидетельствуют доказательства существования Шельтингского, Березового и других перидотит-габбро-норит-плагиогранитных массивов, вероятно возникших вследствие дифференциации бонинитовых расплавов под влиянием пульсирующих потоков водородных флюидов [7] или же серии более сложных полигенных процессов [34]. И если тугоплавкие PGE (Ru, Os, Ir) сосредоточены в перидотитах, то существование на Сахалине и Южных Курилах легкоплавких проявлений PGE (Pd, Pt) и Re возможно предопределено воздействием таких высокотемпературных газовых потоков, как и на о. Итуруп. В пользу такой трактовки свидетельствует обилие на о. Сахалин в Рукутамо-Армуданском поясе (РАП) проявлений Hg. Ртуть, как известно, вообще весьма характерна для многих месторождений газа [52, 75].

Изложенные фактические материалы хорошо согласуются с данными по другим регионам мира [89] и теоретико-экспериментальными выкладками российских ученых, содержащими информацию о вероятном составе и строении корово-мантийного субстрата как зон дивергенции и конвергенции, так и зон разломов трансформного типа. В частности, это подтверждается исследованием летучих компонентов из базальтовых стекол у одного из трансформных разломов Атлантики. Оказалось, что расплавы местной постройки были обогащены не только водой и калием, но и такими газами, как CO_2 и CH_4 [53]. При этом глубина выплавления первичного мантийного расплава (в аномальной системе типа E-MORB) составляла 80–110 км от поверхности океанского дна. Эти данные послужили основанием к выводу о том, что решающим фактором активного магматизма в зонах влияния трансформных разломов, поперечное сечение которых, судя по особенностям теплового потока, достигает 400 км [68], было их «...резкое обогащение щелочами и летучими компонентами...» [53, с. 270], способствовавшее возникновению аномальных «флюидных точек». Щелочной тип шошонитов из вулканов *petit-spot*, размещенных на Тихоокеанской плите у Курильского желоба, согласуется с водно-углеводородным составом флюидов и газовых струй, проявленных на Южных Курилах на СЗ продолжении глубинных РЗТТ Носаппу, Итуруп, Уруп.

Ричардс С. и Холм Р. [89], исследуя закономерности формирования суперкрупных комплексных Cu-Au-Mo-порфириновых месторождений на юго-восточной и западной окраинах Циркумпацифики, также пришли к выводу, что формирование оруденения предопределено влиянием крупных трансформных разломов со значительными (более 300 км) латеральными перемещениями крыльев. Трансформные раз-

ломы и их эквиваленты (fracture zones), называемые нами в целом разломными зонами трансформного типа (РЗТТ), представляют собой мощные (шириной в несколько км) вертикальные нарушения со сложной структурой, проникающие сквозь океаническую кору и литосферу до подокеанской астеносферы. Вышеназванные авторы полагают, что морская вода по таким разломным зонам проникала до нижней ультрамафической коры и верхней мантии и участвовала в серпентинизации мантийного перидотита. Среди ключевых факторов, определяющих роль РЗТТ в проникновении морской воды сквозь литосферу, Ричардс С. и Холм Р. указали на: протяженность разломов, продолжительность их сейсмической активности, тип движений и относительную разницу в возрасте блоков коры по разные стороны от сместителей, а также величины тепловых градиентов около них (в продольном и поперечном сечениях). Они пришли к заключению, что наибольшими изменениями в серпентинизированной мантии обладают участки у самых протяженных и долгоживущих РЗТТ. Последним, по их мнению, принадлежит решающая роль в преобразованиях океанической коры посредством ее гидратации в сочетании с процессами серпентинизации ультрамафитов задолго до приближения к зонам субдукции. Важное значение они придают и углам встречи РЗТТ с желобами до и во время субдукции [89]. Существенным дополнением к этой модели могут быть и данные, учитывающие не только сдвиговый тип подвижек по РЗТТ, но и возможность активизации процессов газовой-флюидной миграции на участках осдвигового растяжения разломов. Поскольку образование метана и водорода с участием воды, содержащей растворенный CO_2 , теоретически происходит при серпентинизации ультрамафитов в условиях умеренных давлений при температурах в 150–350 °C [48], мы полагаем, что более вероятной причиной формирования потоков УВ на подлитосферных уровнях были явления декомпрессии, возникающие в местах осдвигового растяжения у РЗТТ.

Минеральная гетерогенность руд Сахалина и Курил, вероятно, была предопределена их формированием из сложных по составу флюидных потоков, в которых могли присутствовать и окисленные, и восстановленные формы газов. Роль газов в составе золотоносных флюидов исследовал К.Р. Рабинович [45]. Он показал, что в самородном золоте и гидротермальном кварце содержания газов (вообще и восстановленных, в частности) изменяются в диапазонах 50–1700 (среднее 420.7 мг/кг) и 130–3777 (средняя 1085.4 мг/кг), соответственно. Этот исследователь пришел к выводу об универсальности эволюционного развития благороднометалльного рудного процесса.

Эта универсальность заключается в дифференциации исходного флюида, приводившей к обогащению ранних «безрудных» образований компонентами углекисло-водного состава, а относительно поздних «рудных» – восстановленными газами: C_2H_2 , C_2H_6 , H_2 , N_2 , CH_4 , CO . Трансформирующийся глубинный флюидный поток, проникая в приповерхностную часть земной коры, мог участвовать в создании и залежей газогидратов. Поэтому представляется вполне вероятным, что главными массовыми и высокоэнергетическими источниками рудообразующих систем, на основе которых образовались рудные и нефтегазовые районы Сахалин-Южнокурильской провинции, были подслэбовый и надслэбовый астеносферные слои. Это напрямую подтверждается специализированными геохимическими исследованиями смолисто-асфальтовых веществ нефтяных месторождений Сахалина, в которых установлены существенные количества ЭПГ (в г/т): Ru – 0.3, Rh – 0.1, Ir – 0.12, Pt – 0.52, Pd – 0.92 [40]. При этом одним из факторов возрастания содержания ЭПГ в нефти считается водородная или метановая ее дегазация. Об этом же свидетельствуют и вышеперечисленные данные о значимых концентрациях благородных металлов в сольфатах, грязевых котлах и горячих источниках у вулканов Головнина и Менделеева на острове Кунашир [47], в газовых струях вулкана Кудрявый на острове Итуруп [15, 16, 90]. Отметим, что и в других провинциях востока РФ (Центральная Колыма, Южная Якутия) существуют золото-битумные проявления эндогенного оруденения, содержащие Au в десятки и сотни г/т [67].

Особенно отчетливо дегазация могла проявиться в тех зонах трансформных разломов, где интенсивно развивались процессы серпентинизации и дополнительного метанообразования гипербазитов [48, 55]. Серпентинизация, другие метасоматические преобразования мантии активизировали формирование высокотемпературных углеводородсодержащих флюидных потоков, которые затем инициировали возникновение в земной коре магматических очагов и газо-гидротермальных полей.

Концепция возникновения Охотского, как и других окраинных морей, за счет воздействия на земную кору «...агрессивных трансмагматических флюидов, фильтрующихся через гипербазитовые магмы, замещающие на глубине базальтовый слой» [39, с. 518], исходит из ключевой роли процессов воздымания и экспансии мантийного субстрата в создание, развитие и реализацию обстановок углеводородной специализации соответствующих бассейнов, как и размещения в них нефтяных и газовых залежей. Вместе с тем сосредоточение наиболее крупных месторождений нефти и газа на Сахалинском участке Охотоморья у

крупных глубинных линеаментов [25, 52, 65] и, как показано выше, над РЗТТ, позволяют внести необходимые дополнения, уточнить и конкретизировать трактовку региональных особенностей флюидогеодинамики Охотоморья. Обоснованность таких дополнений подтверждается новыми материалами об открытии «...первой абиссальной нефтегазоносной провинции в прикурильской части ложа Тихого океана, расположенной между Курило-Камчатским желобом и поднятием Шатского» [37, с. 136], то есть и в этом случае над РЗТТ. Восходящая миграция глубинных водно-углеводородных флюидов по ослабленным проницаемым участкам РЗТТ и сопряженность проявлений щелочного магматизма с такими разломными зонами свидетельствуют о контролирующем влиянии глубинной (разломно-обусловленной) геодинамики на размещение как нефтяных и газовых месторождений, так и наиболее известных рудных районов, содержащих благородные металлы, на о. Сахалин и Южных Курилах. Существование гетерофазных флюидных систем вследствие растворенности газов в воде и присутствие в виде самостоятельных фаз объясняют причинность их вхождения в состав газовой-жидкой включений разных минералов рудных месторождений.

Здесь уместно напомнить, что пространственная сопряженность рудных и нефтегазовых полей южного Охотоморья не является исключительной. На Северо-Американском континенте (восточная часть Пацифики) в рудах ряда месторождений благородных металлов в заметных количествах отмечались твердые и жидкие битумоиды и битумы [49, 75]. Имеются сведения, что полному освоению нижних горизонтов известного благороднометалльного месторождения Эльдорадо (штат Колорадо, США) воспрепятствовал существенный приток нефти [75]. И как давно отмечено, между нефтеносным (от Арктики до Мексиканского побережья) и благороднометалльным мегапоясами Северной Америки существует общая геологическая граница [24]. Такого же типа границу можно предполагать и на территории РФ между Уральским магмо-металлогеническим поясом и Западно-Сибирской нефтегазоносной провинцией [23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтез материалов по геологии, минерации и глубинной геодинамике Южного Охотоморья позволяет констатировать существование у провинции, кроме высокой сейсмичности, активного вулканизма, нефтегазоносности и ряда иных специфических особенностей. К последним авторы причисляют:

- размещенность у Курильского трога протяженных долгоживущих (I-K-Q) мобильных разломных зон трансформного типа (РЗТТ): Носаппу (Тускаро-

ра), Итуруп, Уруп, пересекающих океанскую литосферу на обеих крыльях сейсмофокальной зоны;

- задокументированная синхронность проявления глубокофокусных (до 700 км) землетрясений с гипоцентрами в контуре ареалов влияния РЗТТ и ураганных потоков природных газов на акватории Охотского моря;

- вероятность генерации мантийно-абиогенных водно-углеводородных флюидов под- и надслэбовой астеносферами при явлениях декомпрессии, обусловленных продолжительной активностью РЗТТ и присутствием в них участков сосдвигового растяжения, создающих проницаемые каналы для активной миграции насыщенных газами флюидно-тепловых потоков;

- существование на островах Кунашир-Урупского звена Большемурильской гряды (среди сольфатарных полей активных вулканов и у горячих источников) наряду с традиционными и нетрадиционными потенциально промышленными типами благородно (Au+ЭПГ)- и редкометалльного (Re, In, Cd и др.) оруденения над ареалами влияния РЗТТ;

- расположенность основной массы нефтегазовых полей северного Сахалина также над проекциями РЗТТ в олигоцен-миоцен-плиоценовых толщах местного бассейна осадконакопления среди коллекторов и структурно-литологических ловушек под флюидопорами;

- наличие в Южно-Охотской провинции, как и в Сибирско-Уральском регионе и на Северо-Американском континенте, геологической границы у нефтегазоносного и рудоносного ареалов и мегаполюсов.

Представляется крайне важным использование выделенных особенностей Южно-Охотской провинции при планировании, организации и проведении прогнозных, оценочных и поисково-разведочных работ на различные виды полезных ископаемых.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность академику А.И. Ханчуку и члену-корреспонденту А.Н. Диденко за критические замечания, позволившие улучшить восприятие статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдейко Г.П., Палуева А.А., Хлебородова О.А. Геодинамические условия вулканизма и магмообразования Курило-Камчатской островодужной системы // Петрология. 2006. Т. 14, № 3. С. 248–265.
2. Агеев А.С., Егоров А.С. Особенности глубинного строения Байкало-Становой региональной сдвиговой зоны по геологическим, геофизическим и дистанционным данным в створе З-ДВ (южный участок) // Региональная геология и металлогения. 2017. № 70. С. 36–40.
3. Агеев А.С., Егоров А.С. Основные черты глубинной морфологии Байкало-Становой тектонической зоны по результатам интерпретации геолого-геофизических материалов // Региональная геология и металлогения. 2018. № 73. С. 19–23.
4. Александров И.А., Zhao Pan, Ивин В.В., Liao Jia-Ping, Jahn Vog-Ming. Формирование континентальной коры о. Сахалин на северо-восточной окраине Евразии: Материалы совещания «Геология и минералогия Северной Евразии». Новосибирск: ИГиМ СО РАН, 2017. С. 14–16.
5. Бабушкина М.С., Уголков В.Л., Марин Ю.Б., Никитина Л.П., Гончаров А.Г. Водородные и углеродные группировки в структурах породообразующих минералов пород литосферной мантии: данные FTIR и STA+OMS // Докл. АН. 2018. Т. 479, № 4. С. 426–429.
6. Буряк В.А., Науменко Б.А., Роготнев Г.Н. Золото Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: Сахалин. кн. изд-во, 2002. 82 с.
7. Высоцкий С.В., Говоров Г.И., Кемкин И.В., Сапин В.И. Бонинит-офиолитовая ассоциация Восточного Сахалина: геология и некоторые особенности петрогенезиса // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 6. С. 3–15.
8. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 981 с.
9. Гладенков Ю.В., Баженова О.К., Гречин В.И., Маргулис Л.С., Сальников Б.А. Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.
10. Говоров Г.И. Фанерозойские магматические пояса и формирование структуры Охотоморского геоблока. Владивосток: Дальнаука, 2002. 198 с.
11. Голозубов В.В., Касаткин С.А., Гранник В.М., Нечаюк А.Е. Деформации позднемиоценовых и кайнозойских комплексов Западно-Сахалинского террейна // Геотектоника. 2012. № 5. С. 22–43.
12. Гранник В.М. Геология и геодинамика южной части Охотоморского региона в мезозое и кайнозое. Владивосток: Дальнаука, 2008. 297 с.
13. Данченко В.Я. Битумы в гидротермальных жилах северной части Западно-Сахалинских гор: Материалы конференции «Нефтегазоносность Сахалина, Камчатки и Чукотки». Тюмень, 1983. С. 51–57.
14. Данченко В.Я., Жаров А.Е., Николаева Л.Н. Минералы россыпей как индикаторы разнотипного оруденения золота и платины на Сахалине // Тихоокеан. геология. 1997. Т. 16, № 1. С. 59–72.
15. Данченко В.Я. Геологическое положение и вещественно-генетические типы оруденения редких и благородных металлов в Южно-Охотском регионе Тихоокеанского обрамления. Южно-Сахалинск: ИМГиГ Сахалин. науч. центра ДВО РАН, 2003. 227 с.
16. Дистлер В.В., Диков Ю.П., Юдовская М.А., Чаплыгин И.В., Булеев М.И. Платино-хлор-фосфор-углеводородные комплексы в вулканических флюидах: первая находка в земной обстановке // Докл. АН. 2008. Т. 420, № 2. С. 217–220.
17. Дмитриевский А.Н. Полигенез нефти и газа // Докл. АН. 2008. Т. 419, № 3. С. 373–377.
18. Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Кулаков И.Ю., Котляров А.В. Проблемы фильтрации флюидов и расплавов в зонах субдукции и общие вопросы теплофизического моделирования в геологии // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 5. С. 701–722.

19. Жао Д., Пирайно Ф., Лиу Л. Структура и динамика мантии под Восточной Россией и прилегающими регионами // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 9. С. 1188–1203.
20. Жаров А.Э. Геологическое строение и мел-палеогеновая геодинамика Юго-Восточного Сахалина. Южно-Сахалинск: Сахалин. кн. изд-во, 2004. 192 с.
21. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Палеогеодинамика. М.: Наука, 1992. 192 с.
22. Зябрев С.В. Меловая субдукционная аккреция и пост-аккреционные перемещения на Дальнем Востоке России // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 79–81.
23. Иванов К.С., Лац С.А., Коротеев В.А., Костров Н.П., Погромская О.Э., Главные причины закономерности размещения месторождений нефти Западно-Сибирской платформы // Докл. АН. 2018. Т. 481, № 3. С. 285–288.
24. Ициксон М.И. Металлогеническая зональность Тихоокеанского сегмента Земли. М.: Недра, 1979. 231 с.
25. Касаткин С.А. Современные сдвиговые дислокации в сейсмофокальной зоне Охотоморского региона и значение разломной зоны Носаппу в формировании Северо-Сахалинской нефтегазоносной области // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. / Под ред. А.О. Глико, Ю.Г. Леонова. Т. 2. М.: ИФЗ РАН, 2012. С. 309–312.
26. Касаткин С.А., Обжиров А.И. Флюидоконтролирующее значение разломной зоны Носаппу и условия формирования потоков метана и залежей газогидратов (Охотоморский регион) // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37, № 1. С. 61–66.
27. Кашубин С.Н., Петров О.В., Мильштейн Е.Д., Кудрявцев И.В., Андросов Е.А., Винокуров И.Ю., Тарасова О.А., Эринчек Ю.М. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Восточной Евразии // Региональная геология и металлогения. 2018. № 76. С. 9–21.
28. Кириллов В.Б., Горошко М.В. Золотоносность острова Уруп Большегурильской островной дуги // Региональные проблемы. 2008. № 9. С. 50–55.
29. Коваленкер В.А., Лапутина И.П., Знаменский В.С., Зотов И.А. Индиевая минерализация Большой Курильской островной дуги // Геология руд. месторождений. 1993. Т. 35, № 6. С. 547–552.
30. Кононов М.В., Лобковский Л.И. Влияние верхнемантийной конвективной ячейки и связанной с ней субдукции Тихоокеанской плиты на тектонику Арктики в позднем мелу-кайнозойе // Геотектоника. 2019. № 6. С. 27–45.
31. Коржинский М.А., Ткаченко С.И., Булгаков Р.Ф., Шмулович К.И. Составы конденсатов и самородные металлы в сублиматах высокотемпературных газовых струй вулкана Кудрявый (остров Итуруп, Курильские острова) // Геохимия. 1996. № 12. С. 1175–1182.
32. Кудымов А.В. Сдвиговая зона и сопряженные с ней олигоцен-четвертичные впадины Нижнего Приамурья: Материалы Всероссийской конференции с международным участием "Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит". Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 88–90.
33. Кулаков И.Ю., Добрецов Н.Л., Бушенкова Н.А. и др. Форма слэбов в зонах субдукции под Курило-Камчатской и Алеутской дугами по данным региональной томографии // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 6. С. 830–851.
34. Леснов В.П. Петрология полигенных мафит-ультрамафитовых массивов Восточно-Сахалинской офиолитовой ассоциации // Новосибирск: Акад. изд-во ГЕО, 2015. 240 с.
35. Летников Ф.А. Флюидный режим эндогенных процессов и проблемы рудогенеза // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 12. С. 1296–1308.
36. Летников Ф.А., Шумилова Т.Г., Медведев В.Я., Иванова Л.А. Транспорт и кристаллизация самородной платины в условиях сверхкритического С-О-Н-флюида // Докл. АН. 2018. Т. 479, № 4. С. 430–432.
37. Ломтев В.Л., Веселов О.В., Козлов Д.Н., Кочергин А.В., Кочергин Е.В., Лютая Л.М., Семакин В.П., Сеначин В.Н., Сеначин М.В., Паровышний В.А., Патрикеев В.Н. Особенности строения и геодинамики тектоносферы северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морей / Отв. ред. В.Г. Варнавский, А.И. Обжиров, А.В. Савицкий. Владивосток: Дальнаука, 2016. 147 с.
38. Маракушев А.А., Панях Н.А., Русинов В.Л., Зотов И.А. Парагенезис рудных металлов углеводородной спецификации. Статья 1 // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 6. С. 33–40.
39. Маракушев А.А., Маракушев С.А. Образование нефтяных и газовых месторождений // Литология и полезн. ископаемые. 2008. № 5. С. 505–521.
40. Маракушев А.А., Панях Н.А., Маракушев С.А. Сульфидное образование и его углеводородная специализация. М.: ГЕОС, 2014. 184 с.
41. Мишукова Г.Г., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И. Потоки метана на границе вода-атмосфера в Охотском море // Докл. АН. 2017. Т. 475, № 6. С. 697–701.
42. Никифоров В.М., Шкабарня Г.Н., Жуковин А.Ю., Каплун В.Б., Талтыкин Ю.В. Новый подход к изучению блокового геоэлектрического строения литосферы и флюидонасыщенных фрагментов разломов как индикаторов зон повышенной сейсмичности (по данным МТЗ на Южном Сахалине) // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37, № 4. С. 44–55.
43. Павленкова Н.И., Кашубин С.Н., Гонтовая Л.И., Павленкова Г.А. Глубинное строение и геодинамика Охотоморского региона // Региональная геология и металлогения. 2018. № 76. С. 70–81.
44. Пискунов Б.Н. Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. М.: Наука, 1987. 230 с.
45. Рабинович К.Г. Газовая составляющая золотоносного флюида // Сов. геология. 1992. № 7. С. 17–24.
46. Радзиминович Я.Б., Щетников А.А., Вологина Е.Г. Землетрясение 1912 года на Байкале как причина выброса метана: Доклады научного симпозиума "Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири / Под ред. В.Г. Быкова, А.Н. Диденко. Хабаровск: ИТиГ, 2010. С. 265–268.
47. Разин Л.В. Современная вулканогенная платиновая металлоносность и золотоносность на острове Кунашир, генетически связанная с молодым андезит-базальтовым вулканизмом Большой Курильской Гряды // Платина России / Сб. научных трудов. Т. VII. Красноярск, 2011. С. 476–493.
48. Разницын Ю.Н. Геодинамика офиолитов и формирование месторождений углеводородов на шельфе Восточного Сахалина // Геотектоника. 2012. № 1. С. 3–18.
49. Реддер Э. Флюидные включения – реликты рудообразующих растворов // Геохимия гидротермальных рудных

- месторождений / Под ред. Х.Л. Барнса. М.: Мир, 1982. С. 535–577.
50. Рождественский В.С. Тектоническое развитие о. Сахалин // Тихоокеан. геология. 1987. № 3. С. 42–51.
51. Рыбин А.В., Данченко В.Я. Интрузивные породы Большой Курильской Гряды: петрография и петрогенезис. Препринт. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1994. 53 с.
52. Сапрыгин С.М. Тектоническая флюидодинамика. Южно-Сахалинск: Сахалин. кн. изд-во, 1997. 80 с.
53. Симонов В.А. Влияние флюидных компонентов на магматические системы "горячих точек": Материалы всероссийского симпозиума "Флюиды и геодинамика". М.: Наука, 2006. С. 260–274.
54. Скворцов В.А. Осадочно-миграционно-магматическая гипотеза образования нефти // Докл. АН. 2019. Т. 486, № 5. С. 603–606.
55. Сорохтин О.Г., Леин А.Ю., Баланюк И.Е. Термодинамика океанических гидротермальных систем и абиогенная генерация метана // Океанология. 2001. Т. 41, № 6. С. 898–909
56. Степашко А.А., Леснов Ф.П. Фрагменты океанической и континентальной мантии в офиолитах обрамления северо-западной Пацифики: состав, возраст и генезис перидотитов Сахалина // Океанология. 2018. Т. 58, № 3. С. 488–500.
57. Сывороткин В.Л., Русинова С.В. Платоэффузивы острова Кунашир – рифтовая формация на островной дуге // Магматизм рифтов: петрология, эволюция, геодинамика. М.: Наука, 1989. С. 180–188.
58. Сычев П.М. Особенности строения и развития земной коры Сахалина и прилегающих к нему акваторий. М.: Наука, 1966. 124 с.
59. Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря / Под ред. Сергеева К.Ф. Южно-Сахалинск: Сахалин. кн. изд-во, 2006. 130 с.
60. Ткаченко С.И., Таран Ю.А., Коржинский А.М., Покровский Б.Г., Штейнберг Г.С., Шмулович К.И. Газовые струи вулкана Кудрявый, о. Итуруп, Курильские острова // Докл. АН СССР. 1992. Т. 325, № 4. С. 823–828.
61. Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Никитин В.М. 22-х летние циклы сейсмической активности сейсмических поясов Северо-Востока Азии: Доклады научного симпозиума "Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2010. С. 291–294.
62. Удодов В.В., Панчин А.Г. Новые данные о рудном золоте острова Уруп // Проблемы освоения и развития минерально-сырьевой базы Сахалинской области. Южно-Сахалинск: Сахалин. геол.-разведочная экспедиция, 2002. С. 79–86.
63. Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1989. 239 с.
64. Ханчук А.И., Гребенников А.В., Иванов В.В. Альб-сеноманский окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 4–29.
65. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Науч. мир, 2010. 275 с.
66. Хомич В.Г. Металлогения вулcano-плутонических поясов северного звена Азиатско-Тихоокеанской мегазоны взаимодействия. Владивосток: Дальнаука, 1995. 343 с.
67. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Основные геолого-генетические типы коренных месторождений золота Забайкалья и Дальнего Востока России // Тихоокеан. геология, 2011. Т. 30, № 1. С. 70–96.
68. Хуторской М.Д., Поляк Г.Б. Особенности теплового потока в трансформных разломах Северной Атлантики и Юго-Восточной Пацифики // Геотектоника. 2017. № 2. С. 55–66.
69. Челноков Г.А., Жарков Р.В., Брагин И.В., Веселов О.В., Харитоновна Н.А., Шакиров Р.Б. Geochemical characteristics of subterranean fluids of the southern central Sakhalin fault // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 5. С. 81–95.
70. Чехов А.Д. Механизм формирования дальневосточных окраин морских бассейнов (на примере Охотоморской литосферной микроплиты): Материалы Всероссийской конференции с международным участием "Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит". Владивосток: Дальнаука. 2011. С. 49–54
71. Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Обжиров А.И. Изотопно-геохимические особенности распределения метана и углекислого газа на острове Сахалин и прилегающем шельфе Охотского моря // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. Т. 20, № 2. С. 100–113.
72. Шакиров Р.Б., Обжиров А.И., Соломатин А.С., Макаров М.М. Новые данные о линеаментном контроле современных очагов метановой дегазации морей Восточной Азии // Докл. АН. 2017. Т. 477, № 3. С. 327–330.
73. Шакиров Р.Б. Газогеохимические поля окраинных морей Восточной Азии. М.: ГЕОС, 2018. 341 с.
74. Щеглов А.Д. Основы металлогенического анализа. М.: Недра, 1980. 431 с.
75. Щеглов А.Д., Хомич В.Г., Говоров И.Н. Металлогения серебра Тихоокеанского сегмента Земли // Тихоокеан. геология. 1984. № 4. С. 3–14.
76. Chil-Sup S., Danchenko V.Ya., Seong-Tack Yu. Maeng-Eon P., Seon-Cyu Ch., Shelton K.L. Te- and Se-bearing epithermal Au-Ag mineralization, Prasolovskoye, Kunashir Island, Kuril Island Arc // Econ. Geol. 1995. V. 90, № 1. P. 105–117.
77. Fujiwara T., Hirano N., Abe N., Takizawa K. Subsurface Structure of the "Petit-spot" Intra-plate Volcanism, in the Northwestern Pacific // JAMSTEC Report of Research and Development. 2006. № 3. P. 31–42.
78. Glorie S., Alexandrov I., Nixon A., Jepsen G., Gillespie J., Jahn B.-M. Thermal and exhumation history of Sakhalin Island (Russia) constrained by apatite U-Pb and fission track thermochronology // J. Asian Earth Scien. 2017. V. 143. P. 326–342.
79. Grave J. De., Zhimulev F.I., Glorie S., Kuznetsov G.V., Evans N., Vanhaecke F., McInnes B. Late Palaeogene emplacement and late Neogene-Quaternary exhumation of the Kuril island-arc root (Kunashir island) constrained by multi-method thermochronometry // Geosci. Frontiers. 2016. V. 7. P. 211–220.
80. Hirano N., Takahashi E., Yamamoto J., Abe N., Ingle S.P., Kaneoka I., Kimura J., Hirata, T., Ishii T., Ogawa Y., Machida S., Suyehiro K. Volcanism in response to plate flexure // Science. 2006. V. 313. P. 1426–1428.
81. Hirano N. Petit-spot volcanism: A new type of volcanic zone discovered near a trench // Geochem. J. 2011. N 45. P. 157–167.
82. Kasahara J., Sato T., Mochizuki K., Kobayashi K. Paleotectonic structures and their influence on recent seismo-tectonics in the South Kuril subduction zone // The Island Arc. 1997. V. 6, N 3. P. 267–280.

83. Khomich V.G., Boriskina N.G., Kasatkin S.A. Geology, magmatism, metallogeny, and geodynamics of the South Kuril Islands // *Ore Geol. Reviews*. 2019. V. 105. P. 151–162.
84. Korzhinskii M.A., Tkachenko S.I., Shmulovich K.I., Taran Yu.A., Shteynberg G.S. Discovery of pure rhenium mineral at Kudriavy volcano // *Nature*. 1994. V. 369. P. 51–52.
85. Nakanishi M. Topographic expression of five fracture zones in the northwestern Pacific Ocean // *The Mesozoic Pacific: geology, tectonics, and volcanism* / M. S. Pringle et al. *Geophys. Monogr. Ser.*, AGU, 1993. V. 77. P. 121–135.
86. Nakanishi M., Tamaki K., Kobayashi K. Mesozoic magnetic anomaly lineations and seafloor spreading history of the northwestern Pacific // *J. Geophys. Res.* 1989. V. 94, N B11. P. 15437–15462.
87. Norton I.O. Speculations on Cretaceous tectonic history of the northwest Pacific and a tectonic origin for the Hawaii hotspot // *Spec. Pap. of the Geol. Soc. America*. 2007. V. 430. P. 451–470.
88. Ogawa Y., Hirano N. En echelon knolls in the Nosappu Fracture Zone, NW Pacific : A possible leaky transform fault zone II // *Shipboard Scientific Party Kr03-07* // *Am. Geophys. Union. Fall Meeting*, 2003. Abstr. #V21D-0553
89. Richards S.W., Holm R.J. Tectonic preconditioning and the formation of giant porphyry deposits. In: Colpron, M., Bissig, T., Rusk, B.G., and Thompson, J.F.H. (eds.). *Tectonics, Metallogeny, and Discovery: the North American Cordillera and similar accretionary settings*. Special Publications, 17. Society of Economic Geologists, Littleton, CO, USA, 2013. P. 265–275.
90. Yudovskaya M.A., Distler V.V., Chaplygin I.V., Mokhov A.V., Trubkin N.V., Gorbacheva S.A. Gaseous transport and deposition of gold in magmatic fluid: evidence from the active Kudryavy volcano, Kurile Islands // *Mineralium Deposita*. 2006. V. 40. P. 828–848.

Рекомендована к печати Кирилловой Г.Л.

после доработки 07.05.2020 г.

принята к печати 23.07.2020 г.

Khomich V.G., Boriskina N.G.

Ore, oil-and-gas regions of the South Okhotsk Sea province and deep geodynamics.

In the South Okhotsk Sea province – on the islands of Sakhalin, Kunashir, Iturup, Urup and surrounding sea areas – many occurrences of rare, noble metal and other mineralizations as well as of oil-and-gas fields, gas hydrate accumulations, and isolated areas of active emission of water-hydrocarbon gases are known. Occurrences and deposits of solid, liquid and gaseous mineral resources are controlled by hidden deep fault transform zones: Nosappu (Tuscarora), Iturup, and Urup. These long-lived extended (more than 1000 km) zones are distinguished at the N-W Pacific megaplate margin near the S-E flank of the Kuril-Kamchatka trough. Using the seismotomographic methods we have established their extension to the west from the seismic focal zone in the oceanic slab that subducted into the transition zone of the mantle. In the areas of strike-slip extension the faults accounted for the active formation of the drainage channels for the penetration of the sea water in the lithosphere with the following serpentinization of its ultramafites, and for decompressional generation of ascending mantle-derived abiogenic fluid flows. The latter penetrated from the underslab asthenosphere in the oversubduction mantle wedge and beneath the lithospheric mantle, where they accounted for the development of the processes of metasomatism. The subsequent migration of flows initiated the creation of primary magma reservoirs in the lower parts of the continental lithosphere, and intermediate and peripheral chambers in the Earth's crust. The injection of melts from the chambers in the consolidated Earth's crust led to the formation of abyssal, hypabyssal intrusive massifs, arch-dome uplifts and magmatogenic-ore (ore-magmatic) systems predominantly among the rocks of the pre-Pliocene basement. The concentration of oil and gas accumulations mainly from the mantle-derived abiogenic hydrocarbons containing mercury, gold, rhenium, and PGE in the Cenozoic sedimentary basins amidst the reservoirs under the impermeable beds also resulted from deep under- and overslab fluid flows.

***Keywords:* deep fault, noble metal mineralization, oil-and-gas fields, mantle-derived abiogenic fluid flows, South Okhotsk province.**