ФАНЕРОЗОЙСКИЙ ВУЛКАНИЗМ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЕВРАЗИЙСКОЙ АРКТИКИ

Важной задачей прогнозирования месторождений полезных ископаемых магматогенного типа остается определение закономерностей их размещения, роли структурно-тектонического контроля. Особенно ее решение необходимо для повышения эффективности поисковых работ в труднодоступных и пока слабоизученных регионах арктической зоны Евразии. Фанерозойский вулканизм и связанные с ним месторождения цветных, благородных и редких металлов проявлены на флангах крупных консолидированных структур Евразийской Арктики: Восточно-Европейской, Сибирской платформ, континентальных шельфовых плит; в меньшей степени в зонах глубинных разломов (алмазы) и окраинных прогибов внутри континентов.

Ключевые слова: вулканизм; Арктика; Евразия; полезные ископаемые.

Арктический регион Евразии значителен по площади, отличается суровыми климатическими условиями, отсутствием сети транспортных артерий, весьма низкой плотностью населения, почти круглогодичной ледовитостью акваторий шельфа Сибири. Эти причины вызвали серьезное отставание его в геологической изученности проявлений вулканической активности и ассоциирующихся полезных ископаемых.

Результаты геологических съемок, проводившихся здесь в масштабе 1:1 000 000, позволили выявить основные элементы геологического строения, тектонические структуры и главные минерагенические таксоны континентальной суши, арктических островов, дна шельфовых морей и прилегающей акватории Северного Ледовитого океана. Например, в атласе палеовулканических карт масштаба 1: 5 000 000, изданном во ВСЕГЕИ под редакцией И.В. Лучицкого, Т.В. Джинелидзе, А.Д. Щеглова и других ученых в 2001 г., основой районирования послужили два определяющих фактора: масштабы распространения и продолжительность существования вулканических провинций, поясов, областей, зон и районов континентальной части Северо-Восточной Евразии [1]. Последние данные, полученные в итоге многолетних полевых исследований на архипелагах Шпицберген, Новая Земля, Земля Франца Иосифа, в арктической Якутии и на полуострове Чукотка, дополняют информацию атласа по геологии вулканитов и минерагении прилегающих арктических островов и шельфа.

Вулканическая формация определяется в соответствии с принятым понятием [2, 3] как обобщенная модель ассоциации вулканических пород со сходными особенностями состава, строения и соотношения с окружающей средой, устойчиво повторяющихся в геологическом пространстве и времени. С вулканическими формациями связывают проявления и месторождения полезных ископаемых следующих групп: черные металлы, цветные металлы, благородные металлы и неметаллическое минеральное сырье. По генетическому признаку рудные формации делятся:

а) на вулканогенно-осадочные стратиформные, связанные с конкретными вулканогенными формациями, они, как правило, удалены на некоторое расстояние от вулканических построек;

б) рудные формации колчеданных месторождений близвулканической зоны;

в) рудные формации, месторождения которых связаны непосредственно с вулканической породой или отдельным вулканическим телом;

г) вулканогенно-гидротермальные субвулканические близповерхностные рудные формации, парагенетически связанные с пропилитовыми метасоматитами, характеризуются наложенностью оруденения на структуру рудовмещающих вулканогенных формаций;

д) гидротермальные и гидротермально-метасоматические рудные формации умеренных глубин, парагенетически связанные с интрузивными телами, прорывающими рудовмещающие вулканиты, оруденение эпигенетично к интрузивам и стратифицированным вулканитам.

В период байкальского – раннекаледонского этапа тектоно-магматической активизации (от венда до раннего силура) подавляющая часть вулканоплутонических формаций была сосредоточена на территории нынешних Урала и Западной Сибири, расчлененных глубокоководными рифтовыми долинами. На территориях Русской и Сибирской платформ вулканизм проявился только в краевых частях и в незначительных по площади и мощности покровных фаций масштабах. В условиях преобладающих процессов растяжения формировались протяженные разломы раздвигового и сдвигового типов (рис. 1).

В пределах Русской платформы в венде – раннем палеозое выделяют вулканические ареалы в Онежском, Свирском и Тиманском районах. Наиболее масштабные процессы происходили южнее рассматриваемого региона, в обрамлении Украинского щита, где на Волыни широко проявлен базальтовый вулканизм.

На Тимане и в Онежской зоне, на севере Русской платформы, в это время возникли незначительные по масштабам вулканические образования в виде отдельных трубок взрыва, даек пикрит-меланфеленитовой формации и кимберлитов.

На северо-западе Баренцевоморской шельфовой плиты, на Шпицбергене проявлены дифференцированные перидотитовые формации разной щелочности, базит-риолитовые и гранитоидные вулканоплутонические комплексы. На северо-западе Северного острова Новой Земли картируется верхнепротерозойский Приметнинский вулканоплутонический комплекс ультраосновных, базитовых и гранитоидных формаций.

На Южном острове архипелага выделяют габбро-диабазовую, диабазовую и пикритоидную формации русановского комплекса, соответствующего по возрасту границе позднего ордовика – раннего силура. На южном конце острова проявлена лампрофировая формация, представленная дайками амфиболовых и оливиновых мончикитов того же возраста [4].

В Уральском поясе развивается базитовый вулканизм разной степени щелочности: на западных склонах Урала – трахибазальтовая формация, на севере – базальт-андезитовая и андезитовая формации венда. Характерны широкие вариации составов вулкаников на фоне их повышенной железистости и титанистости. Они представлены пикритами, лимбургитами, базанитами, трахибазальтами, трахитами и трахириолитами.

В пределах Центрального Урала широко распространены низкокальциевые толеиты, чередующиеся в разрезах с туфами, базальты ассоциируют с габброгипербазитовыми массивами. Распространены субвулканические формации: дайки, силлы, структурные пакеты дайка в дайке, свидетельствующие о режиме растяжения в области субокеанической коры. Натриевые базальты сменяются контрастными и последовательно дифференцированными базальт-риолитовыми формациями. В раннем палеозое проявлена андезит-базальтовая формация с широким развитием пирокластических отложений, бомбовых туфов, туфопесчаников и гравелитов.

Комплекс раннепалеозойских вулкаников центральной зоны Урала характерен для островодужного вулканизма.

Восточно-Уральская зона, как и Западно-Уральская, характеризуется формациями повышенной щелочности – трахибазальтовой, трахиандезит-трахириолитовой, которые сменяют формации натриевых базальтов, базальт-андезит-риолитовая. Восточнее Урала, в Хантымансийской вулканической зоне, трахибазальты ассоциируют с натриевыми базальтами. Последняя отделена от Уральских структур и представляла собой изолированную рифтогенную структуру, развивавшуюся параллельно основным линейным структурам Урала.

С вулканиками Урала связано формирование ряда крупных месторождений колчеданных, колчеданно-полиметаллических и скарново-магнетитовых руд: Летнее, Маукское, Зюзельское, Гайское, Дегтярское, Сибайское и др.

Весьма сходным по составу вулканических формаций с фланговыми Уральскими комплексами являются трахибазальты, трахиандезиты, трахидациты и трахилипариты ушаковской свиты ордовика на архипелаге Северная Земля.

В северных окраинах Сибирской платформы проявлена базальтовая формация мощностью до 20–30 м, в Оленекско-Хараулахском районе – лавовыми покровами, дайками, силлами. Жерла выполнены туфами и туфобрекчиями. Состав лав характеризуется повышенной железистостью и титанистостью и нередко с преобладанием калия над натрием.

На северо-востоке региона в раннем палеозое сформировалось несколько вулканических зон, пред-

ставленных в основном базальтовыми сериями нормальной щелочности: Колымская зона основных вулкаников и риолитов, Алазейская зона, Среднеколымский, Олойский, Аннойский, Пенжинский районы и Врангелевский метаморфический комплекс вулкаников основного состава.

Ареалы вулканизма на востоке Русской платформы на Урале и на Западе Сибирской платформы сохранились лучше, по сравнению с Притихоокеанским регионом, где на них наложены последующие мезозойские тектонические события и проявления вулканизма.

В целом вулканизм юго-запада Русской платформы – траппы Вольни, Уральский и Приуральский его ареалы, по-видимому, являются северными ветвями начавшей свое развитие и продолжавшейся в палеозое, мезозое и кайнозое подвижного Евразийского тектонического пояса Тетис, общей протяженностью в субширотном направлении около 15 тыс. км.

К концу рассматриваемого периода обстановка растяжения сменилась режимом сжатия, о чем свидетельствует регрессивная смена осадков с образованием обширных площадей суши Лавразийского суперконтинента.

Фундамент суперконтинента представлял собой кратоны, спаянные байкальскими и каледонскими складчатými системами [5].

Характерной чертой распространения вулканических формаций в венд-раннепалеозойское время является линейно-поясовое расположение вулканических зон по окраинам консолидированных платформ при относительно пассивном проявлении внутриплатформенного вулканизма.

Главные полезные ископаемые, связанные с вулканоогенными формациями рассматриваемого периода: черные металлы (железо, марганец), цветные металлы (свинец, цинк, медь), благородные металлы (серебро, золото), редкие металлы (молибден и вольфрам), нерудные полезные ископаемые (фосфаты, барит).

Рудные формации принадлежат к вулканоогенно-осадочным или к вулкано-плутоническому генетическим типам разной степени удаленности от вулканических очагов. В завершающую стадию тектономагматической активизации, после внедрения интрузий гранитоидного состава, формировались скарново-метасоматические месторождения железных руд, например Таштагольское и медно-молибденпорфировых – Бошекуль, Сорское.

Позднекаледонский – раннегерцинский тектономагматический этап (поздний силур – ранний карбон) характеризуется общей тенденцией регионального поднятия континентальной суши и регрессией морских осадков, а завершается наступлением моря. Во второй половине девона активизируются тектонические движения, на Западе формируется Кольско-Беломорская вулканическая область, связанная с обновлением Онежско-Кандалакшского разлома и Тимано-Печорская вулканическая зона, связанная с серией грабенов северо-западного простирания, возникшей, по-видимому, в режиме растяжения коры.

Вулканические формации на Русской платформе представлены в основном базальтовой, а в Кольско-

Беломорской и Шпицбергенской зонах – кимберлитовой, щелочных базальтоидов и лампрофиров.

На Кольском полуострове в это время формировались в основном интрузивные массивы центрального типа: Ковдорский, Хибинский, Ловозерский, Турий. В Контозерской кальдере образовалась вулканогенно-осадочная толща мощностью до 1 000 м. Останцы ее встречены в кровлях Ловозерского и Хибинского массивов.

Среднепалеозойский базальтовый вулканизм (средней силур – поздний девон) проявлен в широкой полосе вдоль западного фланга архипелага Новая Земля. Здесь покровы базальтов перемежаются в разрезах пирокластическими маломощными прослоями. В верхнедевонских базальтах на полуострове Медном известно небольшое по масштабам внутрiformационное рудопроявление самородной меди и несколько проявлений кварц-халькопиритовой и халькозин-борнитовой минерализаций [6, 7]. Их генезис связывают с процессами эпидотизации базальтовой лавы и с последующей метасоматической переработкой подстилающих песчаников рейнекской свиты.

В вулканическом поясе Урала продолжали развиваться образованные в венде субмеридианальные вулканические зоны. На Западном Урале в центральной и южной ее частях установлены базальтовые формации с крупными медноколчеданными месторождениями (Блявинский район). Трахиандезиты распространены на Среднем Урале, а трахириолиты – на севере Урала. В Центрально-Уральской вулканической зоне вслед за андезит-базальтовой формацией следует формация калиевых базальтов-трахитов, к концу девона – базальт-андезитовая, в раннем карбоне – риолит-базальтовая и базальтовая формации. Проявление контрастных, щелочных и кислых вулканитов свидетельствует о существенном преобладании режима сжатия земной коры в этом районе.

В Нижнем Приобье и на Ямале в позднем силуре проявляются андезитовые комплексы [1] с повышением щелочности на завершающих этапах вулканизма. Венчают разрез андезито-базальтовая, андезитовая и риолитовая формации. В Шаимско-Красноленинской зоне наблюдается широкое развитие трахибазальтовой формации, в более северной Щучьинской зоне наряду с трахибазальтами присутствуют трахиандезиты, базальты и андезиты.

С базальт-андезитовой формацией связаны железорудные месторождения с формацией натриевых базальтов – риолитов – медноколчеданные.

В Уральском вулканическом поясе отмечается возрастание содержания калия с запада на восток. Как будет показано на примере постмиоценового вулканизма, содержание калия в лавах коррелируется с мощностью земной коры. В Восточно-Уральской зоне в конце рассматриваемого периода начинается формирование гранитных плутонов, завершившееся на границе карбона и перми. Последнее обстоятельство предполагает режим структурного сжатия коры.

Лено-Вилуйская вулканическая провинция проходит два этапа развития. В позднем силуре – раннем девоне формировался Патомско-Вилуйский авлакоген северо-восточного простирания с проявлениями базальтовой и трахибазальтовой формаций. На севе-

ро-западном борту авлакогена проявился ряд вулканических формаций от базальтовой до более поздней – кимберлитовой. Намечается петрохимическая зональность составов лав: от осевой части авлакогена к его бортам увеличивается содержание калия, уменьшается количество магния и отношение железа к титану [8].

В Хараулахском авлакогене широкое распространение получила трахибазальтовая вулканическая формация. Незначительные проявления субвулканических лампроитоподобных пород известны на Таймыре и северо-востоке Сибирской платформы.

В это время формируется Далдыно-Оленекская зона глубинных разломов, располагающаяся параллельно Патомско-Вилуйскому авлакогену. В пределах этой зоны протяженностью до 650 км и шириной 70–100 км выявлено несколько кимберлитовых полей, насчитывающих около 300 кимберлитовых тел – трубок взрыва, даек и жил, часть которых представляют собой крупные месторождения алмазов: Мир, Удачная, Айхал, Сытыканская, Нюрбинская и др.

В пределах Уджинского поднятия образуются массивы щелочно-ультраосновных интрузивов центрального типа с карбонатитами, в том числе массив Томтор, представляющий собой крупнейшее в мире месторождение апатита и редкоземельных металлов. Открытие этого месторождения связано с именами геологов НИИГА – ВНИИОкеангеология: С.А. Гулина, Э.Н. Эрлиха, Л.Л. Степанова, Г.И. Поршнева и др. В пределах Уджинской структуры обнаружены мелкие тела кимберлитов и щелочных базальтоидов.

С вулканическими формациями Лено-Вилуйской провинции связаны коренные месторождения алмазов, проявления и месторождения железа (скарново-магнетитового типа), меди (медно-цеолитовый тип) и цеолитов.

Притихоокеанская система вулканических зон активизировалась в основном в среднем и позднем девоне. Вулканизм связан с дроблением континентальной земной коры, интенсивность которого увеличивается в направлении с юга на север.

В Омолонской вулканической зоне проявлены трахириолитовая, дацит-риолитовая и трахиандезитовая формации, образуя мощную толщу (до 2 000 м) лав, туфов, игнимбритов. К северо-востоку располагается более подвижная Колымская зона трахибазальтовой, трахибазальт – трахиандезит – трахириолитовой формаций с переслаиванием пирокластике. Мощность напластований лав здесь достигает 3 500 м. С вулканистами Омолонской зоны ассоциирует близповерхностная золотосеребряная минерализация, с трахибазальт-трахиандезит-трахириолитовой – медно-молибденовая. Предполагается связь колчеданного медно-свинцово-цинкового оруденения в верховьях реки Алазея с вулканистами андезит-базальтовой формации.

К северу от Колымской зоны располагается Алазейско-Омейская зона базитовых формаций натриевого ряда: базальтов, натриевых базальтов – риолитов, трахибазальт-трахиандезитов – трахириолитов, а также андезит-базальтов [9]. В разрезе преобладают лавы с подчиненным количеством пирокластиков.

На крайнем Северо-Востоке выделяется Корякско-Анадырская часть вулканического пояса, где проявлены фрагментарно метавулканиды Пенжинской (на западе) и Анадырско-Олюторской (на востоке) зон развития натриевых базальтов и риолитов [1].

Позднегерцинский – раннекеммерийский тектономагматический этап (средний карбон – триас) характеризуется крупными лавовыми излияниями с образованием платобазальтов в Западной и Восточной Сибири и в Восточных районах Евразийской Арктики. Последние характеризуются более контрастными по степени дифференциации вулканитами.

Начиная с поздней перми формируется крупнейшая в регионе Арктическая геодепрессия [10, 11]. До раскрытия СЛО на месте Арктики располагался Лавразийский суперконтинент, кратоны которого были спаяны байкальскими и герцинскими складчатыми системами, а восточный край, со стороны Тихоокеанского сегмента, был местом развития эпиконтинентальных задуговых бассейнов, возможно с корой переходного типа [11]. Изотопные датировки постгерцинских магматических и метаморфических пород пограничного орогенного пояса, общей протяженностью около 30 тыс. км, свидетельствуют об активизации формирования орогенов на рубежах: 250 млн лет (начало поздней перми); 230 млн лет (ранний триас); 200 млн лет (поздний триас); 140–145 млн лет (поздняя юра); 90–100 млн лет (начало позднего мела); 50–60 млн лет (ранний – средний эоцен). В этот период формируется цепь сопряженных по простиранию постгерцинских эпиплатформенных орогенов, пересекающих складчатые комплексы фанерозойских подвижных поясов и кратонов. Орогены ограничивают материковую центриклиналь, в евразийской части в которую входят прогибы Норвежского шельфа, Баренцева моря, Печорской плиты, Северо-Карской котловины, Западно-Сибирской плиты с Южно-Карской котловиной и Восточно-Сибирско-Чукотская система прогибов. Материковая центриклиналь обрамляет Океаническое ядро, состоящее из трех глубоководных сегментов: Норвежско-Гренландского, Евразийского и Амеразийского бассейнов [5].

Формирование материковых прогибов по данным геофизических исследований и наземных наблюдений на островах обусловлено развитием глубинных мамоактивных разломов, в зонах которых происходило насыщение коры базит-гипербазитовыми выплавками и протрузиями: юрско-меловой, неогеновый и четвертичный базитовый магматизм на Шпицбергене, меловой – на Земле Франца Иосифа.

На Урале, в Шарьюском районе, начиная со среднего карбона, проявляется редкая сеть лампроитоподобных вулканидов, абсолютные датировки которых попадают в интервал 180–280 млн лет. Они прорывают отложения девона и карбона. В Собской зоне выделяются экстрезивные тела высококальциевых трахириолитов средне-позднепалеозойского возраста.

В Каратахинском районе распространены проявления вулканических формаций основного состава нормальной щелочности.

На Северном острове архипелага Новая Земля в позднем палеозое – раннем мезозое в режиме колли-

зионных тектонических процессов образуются зоны малых интрузий гранитоидного состава: Сарычевский комплекс на западе и Черногорский комплекс – на востоке Северного острова. С интрузиями Черногорского комплекса связывают проявления свинцово-цинковой и золото-сурьмяно-мышьяковой (в скарнах) и кварц-молибденовой (в постмагматических грейзенах) рудных формаций [7].

В Охотско-Чукотской системе зон начинается развитие мезозой с повышенными мощностями вулканогенно-осадочных пород в условиях сжатия земной коры. В Тайгоносской зоне, восточнее Омолонского массива, вулканиды мощностью более 2 км представлены лавами базальт-андезитовой формации и в подчиненном количестве пирокластикой. Натриевые базальты и риолиты составляют основу вулканогенных формаций в Индигирской зоне, расположенной севернее Омолонского массива, в меньшей степени здесь проявлены лавы базальт-андезитовой формации. Колымская зона в пределах Колымского срединного массива в позднем палеозое представлена трахибазальтами, в позднем триасе – щелочными базальтоидами. С эффузивами ассоциируют дайки и малые интрузии основного состава, пикриты, гранофиры и сиениты. С формациями щелочных базальтоидов ассоциируют породы Омолонского эссексит-тешенитового комплекса.

Континентальный платобазальтовый вулканизм позднепалеозойского – раннемезозойского возраста охватил значительную площадь Западной и Восточной Сибири, часть Печорской низменности, архипелаг Новосибирские острова, северную часть Чукотского полуострова [12, 13]. Западно-Сибирская и Восточно-Сибирская вулканические провинции различаются по фундаменту, структурному рисунку и составу ассоциаций вулканидов.

Западно-Сибирская вулканическая провинция установлена по результатам бурения и геофизических работ. Базальты и их туфы мощностью до нескольких километров приурочены к системе рифтогенных прогибов субмеридионального простирания, которые постепенно затухают и разветвляются в направлении с севера на юг [12]. Преобладают щелочно-известковистые базальты, иногда лейкократовые повышенной щелочности, на флангах провинции появляется базальт-риолитовая формация. На всей площади провинции лавам сопутствуют гипабиссальные интрузии. По характеру потенциальных полей продолжение Западно-Сибирской провинции распространяется на север на южную акваторию Карского моря вплоть до западного обрамления складчатыми структурами Новой Земли и до Северо-Сибирского порога на севере моря [7].

Восточно-Сибирская провинция охватывает северную и восточную части Сибирской платформы и п-ва Таймыр. В Нижнеенисейско-Притаймырском регионе преобладают известковистые базальты, в подчиненном количестве присутствуют трахибазальты, трахиандезиты и трахириолиты, меланефелиниты, щелочные базальтоиды, пикриты, меймечиты, кимберлиты [14]. Главнейшими этапами вулканизма являются поздняя пермь и ранний триас. Максимальная мощность базальтов достигает 3,5 тыс. м. Представ-

лены: эксплозивная, эффузивная и интрузивная фации. Пикробазальты и траппы развиты в Норильско-Хараулахском районе и на Таймыре. Трахибазальтовая формация проявлена локально и в небольшом объеме в Норильском районе, на юге Западного и юго-западе Центрального Таймыра. Трахибазальт – трахиандезит-трахириолитовая – в Маймеча-Котуйском районе и на Центральном Таймыре. Мощность лав достигает 500 м [15].

Излияния лав происходили по системе линейных трещин и щитовых вулканов. Система магмовыводящих каналов имеет радиально-концентрический план [16], коррелирующийся с направлениями рифтогенных структур Западной Сибири. В 1983 г. один из первооткрывателей Норильского горнорудного района Н.Н. Урванцев выделил серию субмеридиональных и субширотных глубинных разломов, которые контролировали продвижение выплавов магматического расплава к земной поверхности, стадийность изменения их составов и рудоносности. Формирование гипабиссальных интрузий и их обогащенность медью, никелем и другими рудными компонентами автор связывал с этапами сжатия тектонических каналов, последующей ассимиляцией магмой вмещающих пород рамы и дифференциацией расплава. Особенно благоприятны для рудообразования участки пересечения разломов субмеридионального и более молодых дислокаций субширотного простираний.

С проявлениями вулканогенных гипабиссальных магматитов Восточной Сибири связаны месторождения сульфидов меди, никеля, кобальта, свинца, цинка, месторождений железа, исландского шпата, целестина, самородной меди, алмазов. Проявления магнетитовой скарновой формации в вулканогенных жерленинах, медноцелитовой формации, медьсодержащей железо-сульфидной формации, платиноидно-медно-никелевой сульфидной, исландского шпата и др.

Позднекимерийский тектоно-магматический этап (юра – мел) характеризуется поясовым распространением вулканитов в районе архипелагов Шпицберген, на Земле Франца Иосифа и на крайнем Северо-Востоке. Кимберлитовый вулканизм в это время проявился на севере Сибирской платформы в Куонамском и Куойском районах. По вещественному составу они близки к раннетриасовым проявлениям кимберлитового вулканизма Сибирской платформы.

По данным глубокого бурения на шельфе Баренцева моря, а также по геофизическим параметрам значительная часть восточной акватории Баренцева моря интродирована долеритами, что сыграло положительную роль в формировании гигантских залежей газа и газоконденсата в пределах этого региона [17].

В районе Охотско-Чукотского вулканического пояса выделяется несколько зон, соответствующих структурам развития мезозойских. Самой северной из них является зона кислых и основных вулканоплутонических формаций Новосибирских островов. Ближайшими к югу являются Кондаковская зона андезит-базальтовой формации в вулканогенно-осадочной толще ранне-среднеюрского возраста, нижнемеловая андезитовая, нижне-верхнемеловая трахириолитовая и верхнемеловая андезитовая формации.

В Яно-Колымской складчатой системе в позднеюрское время формируется Уяндино-Ясачненская вулканическая зона с вулканитами андезит-риолитовой и риолитовой формаций. Севернее, на острове Врангеля, проявлена одноименная врангелевская раннемеловая зона вулканитов основного и кислого составов.

Олойско-Седедемская зона занимает центральное положение на Чукотке и выполнена ранне-среднеюрскими вулканитами андезит-базальтовой формации, начиная с поздней юры внедрялись интрузии диорит-гранодиоритового ряда, затем до позднего мела последовательно формировались вулканиты андезитовой и риолитовой формаций. С андезит-базальтовой формацией и, в меньшей степени, с андезит-риолитовой, с малыми интрузиями, связаны гидротермальные месторождения медно-порфировой (Находка и др.) и молибден-порфировой рудных формаций (Веснинское и др.).

Северо-Омолонская вулканическая зона выполнена вулканогенно-осадочной толщей вулканитов трахибазальтовой формации верхнеюрского возраста, в раннем мелу ее последовательно сменили вулканиты трахиандезитовой и риолит-базальтовой формаций. В пределах Кони-Танюерской зоны выделяются юрская андезит-базальтовая и нижнемеловая базальт-андезит-риолитовая формации, выполняющие разрез вулканогенно-осадочной толщи мощностью до 5–8 км [18] в грабен-сиклиналях. С ними пространственно ассоциируют золотосеребряная, молибденпорфировая и железоколчеданная минерализации.

Притайгоноская вулканическая зона связывается с орогенной стадией развития мезозой в условиях сжатия коры. Для нее характерен контрастный набор вулканических формаций: трахибазальтовая, щелочных базальтоидов, базальт-андезитовая, андезитовая и риолитовая с преобладанием средних и кислых вулканитов раннеюрского – раннемелового возрастов. Это обстоятельство определило золоторудный профиль вулканической зоны. Здесь проявлены: золотосеребряная, серебросульфосольная, золотосодержащая рудные формации. С золоторудными проявлениями ассоциируют месторождения и проявления серебра, олова, сурьмы, ртути, самородной серы, флюорита и меди.

Илиньтасская вулканическая зона сложена натриевыми базальтами, выполняющими рифтоподобную структуру в позднеюрское время.

Колочинско-Мечигменская зона сложена юрскими вулканитами натриевых базальтов и риолитов, входящими в состав вулканогенно-осадочной толщи, выполняющей рифтовую структуру, где они перекрыты меловыми дацитами и риолитами.

В поле развития вулканитов Охотско-Чукотского пояса, формирование которого происходило на различных этапах мезозойской складчатости, широко распространены месторождения золота, серебра, молибдена, олова, ртути и других полезных ископаемых, ассоциирующих с салическим рядом вулканоплутонических формаций.

Одним из наиболее известных в регионе является серебро-полиметаллическое месторождение Дукал,

расположенное в вулканической депрессии в междуречье Балыгычана и Сугоя. Месторождение локализовано в центральной купольной структуре, сложенной экструзивными телами средне-мелкопорфировых и афировых высококальциевых риолитов, фельзориолитов, игнимбритов и их туфов раннемелового возраста [19, 20]. Покровы рассеяны дайками биотитовых риолитов, гранит-порфиров. Весь комплекс вулкаников пересекается дайками базальтового состава. В ядерной части купола бурением обнаружен гранитный плутон. Величина купольной структуры 5×8 км. Рудные тела приурочены к зонам трещиноватости северо-западного простирания и представлены жилами и штокверками. Протяженность кварцевых жил достигает 500–1 000 м при мощности в первые метры. Штокверки представляют собой зоны брекчирования, рассеченные кварц-адуляровыми жилами. Главные рудные минералы: пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, пиrolюзит, акантит (минерал серебра), золото-содержащее самородное серебро (3–15% Au). На первично-сульфосольный-блеклорудный парагенезис локально наложен термальный метаморфизм, вызванный внедрением гранитоидного дайкового комплекса, с образованием соединений серебра – акантита и самородного серебра. Месторождение Дукаг – крупнейшее месторождение в России с запасами более 14 000 т серебра при средних содержаниях 500 г/т.

Примечательно, что в другой вулканически активной зоне, расположенной на архипелаге Шпицберген, нами обнаружено значительное сходство серебряно-полиметаллического рудопроявления Сигурд с месторождением Дукаг по комплексу рудных минералов и содержаниям серебра до 600 г/т. Однако дайки риолитов, рассекающие вмещающие девонские терригенные толщи, здесь весьма редки и располагаются на удалении от рудных тел, так же как и плутоны гранитоидов [21].

Таловско-Пикульнейская и Майницкая зоны располагаются на крайнем северо-востоке региона, входят в состав Корякско-Сахалинского вулканического пояса Анадырско-Корякской складчатой структурной зоны мезозойд Северо-Востока. Здесь нижнеюрские – верхнемеловые вулканогенно-осадочные толщи выполняют трогообразные прогибы выполненные вулканиками пикритсодержащей формацией натриевых базальтов на севере зоны и трахибазальтовой формации – на ее южном продолжении. С трахибазальтовой формацией связаны проявления медно-порфировой рудной формации. В пределах Майницкой вулканической зоны, сложенной верхнеюрскими – нижнемеловыми натриевыми базальтами и базальт-андезит-риолитами и бонинитами, установлены проявления марганца (браунит-гаусманит-родонитовая кремнистая формация) и меди (медно-цинковая колчеданная), которые связаны с натриевыми базальтами.

Альпийский тектоно-магматический этап (палеоген – неоген и четвертичный периоды) характеризуется развитием вулканогенных формаций на северной и восточной окраинах региона, вдоль периферии альпийских подвижных поясов. На северо-западе, на архипелаге Шпицберген это альпийская тектоническая зона Северо-Западного Шпицбергена. На севере Цен-

трального Шпицбергена горные вершины сохранили останцы ранне-неогеновых оливиновых базальтов мощностью до 120 м. Позже, в постмиоценовое время, в этом же районе проявился щелочно-базальтовый вулканизм с образованием нескольких вулканических построек, лавы которых вынесли на дневную поверхность глубинные мантийные и нижнекоровые ксенолиты [22].

С севера к Евразийскому континенту примыкает обширная акватория Северного Ледовитого океана, образованная в раннем палеогене. Ее основание выполнено толеитовыми базальтами, а срединный хребет Гаккеля – натриевыми базальтами, габброидами и перидотитами образующих вулканические постройки, лавовые потоки на бортах рифтовой долины. В поле их развития зафиксированы действующие вулканы (экспедиция «Полярштерн – 2002»). Состав драгированных со склонов подводных гор образцов свидетельствует о том, что западный его фланг заметно обогащен перидотитовой, пироксенитовой и габбровой составляющими (по сравнению с восточным, сложенным в основном базальтами).

Проявления четвертичного щелочно-базальтового вулканизма зафиксировано на восточном побережье Северного острова архипелага Новая Земля [23] и на архипелаге Де-Лонга.

На востоке вулканики формируются вдоль ветвей подвижного Тихоокеанского пояса. Наиболее крупной из них является Охотско-Чукотская.

К мел-палеогеновому времени образования относятся крупные кольцевые структуры на побережье Карского моря и на севере Анабарского Щита – Попигайская [24]. С последней связано крупное месторождение технических алмазов лонсдейлитового типа.

В Охотско-Чукотском вулканическом поясе в этот период продолжилась вулканическая деятельность, начавшаяся в мезозое. Здесь выделяется Танюерская и Ульяновская протяженные зоны, разделенные не менее протяженной зоной авулканичности. В первой преобладают оливин-пироксеновые и двупироксеновые базальты, андезитобазальты с мощностью покровов до 600 м, лавовые потоки переслаиваются туфами основного состава. В зонах разломов отмечены проявления золотосеребряной формации, к внутриформационным относят проявления халцедона, опала, агата. Ульяновская зона характеризуется распространением палеогеновых вулкаников трахибазальтовой формации, оливиновыми базальтами и трахиандезитобазальтами общей мощностью до 400 м.

Восточнее от Охотско-Чукотского вулканического пояса расположена Кинкильско-Корякская область, в юго-западной части представленная эоценовыми вулканиками базальт-андезитовой формации. Здесь присутствуют серии олигоценовых андезит-риолитов, андезитов с щелочными разновидностями, вулканоплутонические структуры, где эффузивные фации тесно ассоциируют с плутоническими. Распространены риодациты, гранодиорит-порфиры и диориты. Наиболее крупные вулканотектонические структуры контролируются субширотными трансформными дислокациями. В Наваринском районе в неогене происходило излияние трахибазальтов. С вулканизмом

региона связаны проявления оловянной касситерит-сульфидной, киноварной, опаловой и золото-серебряной рудных формаций.

В целом в Тихоокеанском подвижном поясе, как отмечают многие исследователи, наблюдается тенденция перемещения вулканизма в пространстве и во времени, от континента к океану, от преимущественно мафического Охотско-Чукотского пояса к мафическо-салическому Кинкильско-Корякской области и далее на юго-восток к мафическо-салическому Курило-Камчатскому поясу уже в четвертичное время.

Минерагеническая зональность следует той же тенденции. Причем главные перспективы в отношении рудоносности возрастают по мере увеличения саличности вулканитов. Большинство месторождений благородных и цветных металлов связано с кислыми эффузивами, с распространением дифференцированных серий, с риолитовым звеном этих серий. Ртутно-сурьмяная минерализация связана с трахибазальтовой формацией.

Зональное распределение ареалов вулканизма позволяет выделять крупные, относительно стабильные блоки земной коры, оставшиеся незатронутыми тектоническими процессами. На флангах стабильных блоков режим растяжения сменялся режимом сжатия. Оба этих процесса отражаются в эволюции составов вулканитов арктической окраины Евразии.

Гомодромная тенденция развития вулканизма, установленная для Тихоокеанского вулканического пояса, не повторяется в развитии отдельных фаз вулканизма всей арктической Евразии: в байкальских и каледонских складчатых областях преобладают ареалы натриевых базальтов, в герцинских – ареалы салического и мафисалического вулканизма калиево-натриевого и калиевого типов, в киммерийских и альпийских – ареалы салического и мафисалического вулканизма, в рифтогенных зонах на платформах преобладают щелочные ветви мафического вулканизма.

В заключение следует отметить, что общими чертами вулканизма и связанной с ним минерагении арктической зоны Евразии являются:

- вулканические провинции и пояса приурочены к окраинам крупных консолидированных блоков земной коры – платформам, ограниченными складчатыми поясами, и обеспечивают процесс ее приращения в последовательных сменах режимов растяжения и сжатия;

- внутриплатформенный вулканизм проявлен значительно слабее, в большей степени представлен плутоническими фациями мафит-ультрамафитового ряда, жерловыми фациями щелочных базальтоидов, лампрофиров и кимберлитов;

- в субокеанических прогибах расположены преимущественно однородные базальтовые формации (зоны растяжения), а в консолидированных континентальных поднятиях (зоны сжатия) – дифференцированные ряды базальт-риолитовой и дацит-риолитовой формаций. Следовательно, проявления того или иного типа вулканизма являются свидетельствами геодинамических обстановок растяжения или сжатия земной коры в соответствующее геологическое время [2, 5, 25, 26].

Начало образования Арктической геодепрессии сопровождалось обширными излияниями пермо-триасовых базальтов, свидетельствующих о преобладании тектонического режима растяжения земной коры на севере Сибирской платформы. Повторение сходной геодинамической обстановки в Евразийской Арктике зафиксировано на севере Баренцевоморской плиты в юрско-меловом и палеогеновом этапах базальтового вулканизма, предшествовавших и сопровождавших раскрытие Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана. В кайнозое на континентальной коре проявились щелочные и субщелочные центры вулканической активности основного состава, а в районе срединно-океанического хребта Гаккеля – толеитовые базальты с преобладанием перидотитов и диабазов в западной части рифтовой долины.

Ведущие полезные ископаемые распределяются в соответствии с последовательностью развития вулканических поясов и зон: черные металлы (железо и марганец) связаны с вулканическими формациями натриевых базальтов и трахибазальтов, цветные металлы (свинец, цинк, медь), благородные и редкие металлы (серебро, золото, молибден, вольфрам) ассоциируются с дифференцированными формациями, включая кислые разновидности лав. В наиболее поздние фазы, в связи с комагматичными гранитоидными массивами, формируются скарновые железорудные, медно-молибден-порфиновые руды. Наибольшим по масштабам распространения являются базальтовые формации, составляющие 80% ареальной площади, но большая часть полезных ископаемых связана с проявлениями среднего и кислого вулканизма. Полезные ископаемые, связанные с фанерозойским вулканизмом Евразийской Арктики, практически неизвестны: черные, цветные, редкие, благородные металлы, агро-сырье, горнохимическое сырье, ювелирное и кристаллическое сырье на протяжении всего рассматриваемого периода, за исключением ювелирных алмазов и фосфора, месторождения которых в постпалеозойское время не известны.

Месторождения алмазов ударно-метаморфического типа, связанные с кратерными фациями Попигайской котловины, не имеют однозначных доказательств генетической истории, но их приуроченность к пересечению крупных зон глубинных разломов свидетельствует в пользу эндогенного происхождения. Они могут играть большую экономическую роль в связи с огромными запасами самых твердых в природе разновидностей алмаза с лонсдейлитовой компонентой.

Вулканические пояса располагаются на периферии консолидированных структур земной коры, в ядрах которых расположены древние кристаллические щиты, а в обрамлении – более молодые осадочные бассейны. Неогенские вулкано-плутонические формации базальтового магматизма, развитого в пределах этих бассейнов, сопровождалась тепловым потоком, оказывающим существенное конструктивное и деструктивное воздействие на углеводородный потенциал вмещающих осадочных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Атлас* палеовулканических карт Северо-Восточной Евразии (территория России и других стран СНГ). Масштаб 1:5000000. Объяснительная записка. СПб. : Изд-во СПб. картограф. фабрики ВСЕГЕИ, 2001. 89 с.
2. *Богатилов О.А., Пухтель И.С., Самсонов А.В. и др.* Древнейшие горные породы СССР, особенности их состава и генезиса // Кристаллическая кора в пространстве и времени. Магматизм. М. : Наука, 1989. С. 101–110.
3. *Кузнецов Ю.А.* Главные типы магматических формаций. М. : Недра, 1964. 378 с.
4. *Кораго Е.А., Бауева Е.П., Максимовский В.А., Тимофеева Т.Н.* О лампрофировом комплексе юга Новой Земли // Геология Южного острова Новой Земли. Л. : Изд. Ротапринт ПГО «Севморгеология», 1982. С. 78–87.
5. *Арктика на пороге третьего тысячелетия (ресурсный потенциал и проблемы экологии)* / гл. ред. акад. И.С. Грамберг, Н.П. Лавров. СПб. : Наука, 2000. 248 с.
6. *Ильин В.Ф.* Рудные формации южной части архипелага Новая Земля // Геология Южного острова Новой Земли. Л. : Изд. Ротапринт ПГО «Севморгеология», 1982. С. 109–120.
7. *Каленич А.П., Орго В.В., Соболев Н.Н. и др.* Новая Земля и остров Вайгач. Геологическое строение и минералогия / под науч. ред. чл.-кор. РАН Ю.Е. Погребницкого. СПб. : Изд. ВНИИОкеангеология, 2004. 175 с.
8. *Румянцова Н.А., Масайтис В.Л., Шарпенко Л.Н.* Вулканические формации фанерозоя Северо-Восточной Евразии // Региональная геология и металлогения. 2000. № 12. С. 34–45.
9. *Лычагин П.П., Дылевский Е.Ф., Шпикерман В.И., Ликман В.Б.* Магматизм центральных районов Северо-Востока СССР. Владивосток : Изд-во ДВО АН СССР, 1989. 117 с.
10. *Погребницкий Ю.Е.* Геодинамическая система Северного Ледовитого океана и ее структурная эволюция // Советская геология. 1976. № 12. С. 3–22.
11. *Погребницкий Ю.Е.* Раскрытие Северного Ледовитого океана и сопутствующие геологические процессы на окружающих континентах // Региональная геология и металлогения. СПб. : ВСЕГЕИ, 1997. № 7. С. 129–136.
12. *Сурков В.С.* Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. М. : Недра, 1981. 143 с.
13. *Глебовский В.Ю., Зайончек А.В., Каминский В.Д., Мащенко С.П.* Цифровые базы данных и карты потенциальных полей Северного Ледовитого океана // Российская Арктика: геологическая история, минералогия, геоэкология / гл. ред. Д.А. Додин, В.С. Сурков. СПб. : ВНИИОкеангеология, 2002. С. 134–141.
14. *Геологические формации докайнозойского чехла Сибирской платформы и их рудоносность.* М. : Недра, 1974. 279 с.
15. *Додин Д.А.* Устойчивое развитие Арктики (проблемы и перспективы). СПб. : Наука, 2005. 283 с.
16. *Масайтис В.Л.* Пермский и триасовый вулканизм Сибири: проблемы динамических реконструкций // Записки ВМО. 1983. Ч. 112, вып. 4. С. 412–425.
17. *Евдокимов А.Н., Евдокимова Н.К.* Закономерности распределения углеводородов Баренцево-Карского региона под воздействием неогейских магматических комплексов // Геолого-географические характеристики литосферы Арктического региона. СПб. : ВНИИОкеангеология, 2000. Вып. 3. С. 115–124.
18. *Белый В.Ф.* Усхэтвеемский комплекс субвулканических ультрамафитов (Чукотский полуостров). Магадан : Изд-во СВКНИИ ДВО РАН, 1995. 121 с.
19. *Серебро* (геология, минералогия, генезис, закономерности размещения месторождений). М. : Наука, 1989. 240 с.
20. *Савва Н.Е., Горячев Н.А.* Месторождение Дукач // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 2 / ред. чл.-кор. РАН А.И. Ханчук. Владивосток : Дальнаука, 2006. С. 709–712.
20. *Евдокимов А.Н.* Новое рудопроявление меди на Шпицбергене // ДАН СССР. 1990. Т. 314, № 6. С. 915–918.
21. *Евдокимов А.Н.* Вулканы Шпицбергена. СПб. : Изд-во ВНИИОкеангеология, 2000. 123 с.
22. *Кораго Е.А., Евдокимов А.Н., Столбов Н.М.* Позднемезозойский и кайнозойский базитовый магматизм северо-запада континентальной окраины Евразии // Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология. СПб. : Изд. ВНИИОкеангеология, 2010. Т. 215. 174 с.
23. *Ваганов В.И., Иванкин П.Ф., Кропоткин П.Н. и др.* Взрывные кольцевые структуры щитов и платформ. М. : Недра, 1985. 200 с.
24. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора, ее состав и эволюция. М. : Мир, 1988. 376 с.
25. *Колясников Ю.А.* Проблемы магматизма и эволюции вещества Земли. Магадан : СВКНИИ, 1988. 78 с.
26. *Маракушев А.А.* Петрография. М. : Изд-во МГУ, 1993. 323 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 1 июля 2014 г.

THE PHANEROZOIC VOLCANISM AND MINERAL RESOURCES OF THE EURASIAN ARCTIC

Tomsk State University Journal. No. 387 (2014), 233-242. DOI: 10.17223/15617793/387/35

Yevdokimov Alexandr N., Ismagilova Guzel A. National Mineral Resources University (Saint-Petersburg, Russian Federation).

E-mail: evdokimov48@list.ru, Guzel_Ismagilova@inbox.ru

Keywords: volcanism; Arctic; Eurasia; mineral resources.

The Arctic region of Eurasia has a serious lag in the geological study of manifestations of volcanic activity and associating minerals. The results of geological surveys conducted here on a scale of 1:1000000 revealed the basic elements of geology, tectonic structures and major mineragenic taxa of the continental land, arctic islands, the bottom shelf seas and adjacent waters of the Arctic Ocean. For example, in the atlas of paleovolcanic maps with a scale of 1: 5 000 000 published by VSEGEI and edited by I.V. Luchitsky, T.V. Dzhinelidze, A.D. Shcheglov et al. in 2001, the basis of division into districts were two defining factors: scales of distribution and duration of existence of volcanic provinces, belts, areas, zones and regions of the continental part of Northeast Eurasia. The latest data obtained by the author as a result of long-term field research on the archipelagos: Spitsbergen, Novaya Zemlya, Franz Josef Land, in the Arctic Yakutia and on the Chukotka peninsula, supplement the information of the atlas on volcanite geology and minerageny of the adjacent Arctic islands and shelf. The volcanic formation is defined according to the accepted concept as a generalized model of association of volcanic rocks with similar features of content, structure and ratio with the environment, steadily repeating in geological space and time. Manifestations and mineral deposits of the following groups are associated with volcanic formations: ferrous metals, non-ferrous metals, precious metals and non-metallic minerals. By the genetic basis ore formations are divided into: a) volcanic-sedimentary stratiform formations associated with specific volcanic formations, they are usually at a distance from the volcanic edifices; b) ore formations of pyrites orebodies of the volcanic zone; c) ore formations, deposits of which are directly related to the volcanic rock or a separate volcanic body; d) volcanogenic-hydrothermal subvolcanic subsurface ore formations paragenetically associated with propylitic metasomatites, characterized by mineralization of the structure of the ore bearing volcanogenic formations; e) hydrothermal and hydrothermal-metasomatic ore formations of moderate depths paragenetically associated with intrusive bodies that transect ore bearing volcanites, mineralization is epigenetic to intrusions and stratified volcanites. During the Baikal –

Early Caledonian stage of tectonomagmatic reactivation (from Vanda to Early Silurian), the overwhelming part of the volcanic-plutonic formations was concentrated on the current territory of the Urals and Western Siberia, dissected by deep rift valleys. In the territories of the Russian and Siberian platforms volcanism manifested only in the marginal parts in a scale small in size and in the power of coating facies. In the conditions of the prevailing processes of stretching there formed long faults of fault and shear types.

REFERENCES

1. *Atlas paleovulkanicheskikh kart Severo-Vostochnoy Evrazii (territoriya Rossii i drugikh stran SNG)* [The atlas of paleovolcanic maps of Northeast Eurasia (Russia and other CIS countries)]. St. Petersburg: St. Petersburg Cartographic Factory VSEGEI Publ., 2001. 89 p.
2. Bogatikov O.A., Pukhtel' I.S., Samsonov A.V. et al. *Drevneyshie gornye porodyy SSSR, osobennosti ikh sostava i genezisa* [The oldest rocks of the USSR, their composition and origin]. In: Bogatikov O.A. (ed.) *Kristallicheskaya kora v prostranstve i vremeni. Magmatizm* [The crystalline core in space and time. Magmatism]. Moscow: Nauka Publ., 1989, pp. 101-110.
3. Kuznetsov Yu.A. *Glavnye tipy magmaticheskikh formatsiy* [The main types of magmatic formations]. Moscow: Nedra Publ., 1964. 378 p.
4. Korago E.A., Baueva E.P., Maksimovskiy V.A., Timofeeva T.N. *O lamprofirovom komplekse yuga Novoy Zemli* [On lamprophyric complex of the south of Novaya Zemlya]. In: Bondarev V.I. (ed.) *Geologiya Yuzhnogo ostrova Novoy Zemli* [Geology of the South Island of Novaya Zemlya]. Leningrad: Rotaprint PGO Sevmorgeologiya Publ., 1982, pp. 78-87.
5. Gramberg I.S., Laverov N.P. (eds.) *Arktika na poroge tret'ego tysyacheletiya (resursnyy potentsial i problemy ekologii)* [Arctic on the threshold of the third millennium (resource potential and environmental problems)]. St. Petersburg: Nauka Publ., 2000. 248 p.
6. Il'in V.F. *Rudnye formatsii yuzhnoy chasti arhipelaga Novaya Zemlya* [Ore formations of the southern part of the Novaya Zemlya archipelago]. In: Bondarev V.I. (ed.) *Geologiya Yuzhnogo ostrova Novoy Zemli* [Geology of the South Island of Novaya Zemlya]. Leningrad: Rotaprint PGO Sevmorgeologiya Publ., 1982, pp. 109-120.
7. Kalenich A.P., Orgo V.V., Sobolev N.N. et al. *Novaya Zemlya i ostrov Vaygach. Geologicheskoe stroenie i minerageniya* [The island of Novaya Zemlya and Vaygach. Geology and metallogeny]. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya Publ., 2004. 175 p.
8. Rumyantseva N.A., Masaytis V.L., Sharpenok L.N. *Vulkanicheskie formatsii fanerozoia Severo-Vostochnoy Evrazii* [Volcanic formations of Phanerozoic Northeast Eurasia]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2000, no. 12, pp. 34-45.
9. Lychagin P.P., Dylevskiy E.F., Shpikerman V.I., Likman V.B. *Magmatizm tsentral'nykh rayonov Severo-Vostoka SSSR* [Magmatism in the central districts of the North-East of the USSR]. Vladivostok: FEB AS USSR Publ., 1989. 117 p.
10. Pogrebitskiy Yu.E. *Geodinamicheskaya sistema Severnogo Ledovitogo okeana i ee strukturnaya evolyutsiya* [The geodynamic system of the Arctic Ocean and its structural evolution]. *Sovetskaya geologiya*, 1976, no. 12, pp. 3-22.
11. Pogrebitskiy Yu.E. *Raskrytie Severnogo Ledovitogo okeana i soputstvuyushchie geologicheskie protsessy na okruzhayushchikh kontinentakh* [Disclosure of the Arctic Ocean and associated geological processes on the surrounding continents]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 1997, no. 7, pp. 129-136.
12. Surkov V.S. *Fundament i razvitie platformennogo chekhla Zapadno-Sibirskoy plity* [The foundation and development of the West Siberian Plain sedimentary mantle]. Moscow: Nedra Publ., 1981. 143 p.
13. Glebovskiy V.Yu., Zayonchek A.V., Kaminskiy V.D., Mashchenkov S.P. *Tsifrovyye bazy dannykh i karty potentsial'nykh poley Severnogo Ledovitogo okeana* [Digital databases and maps of potential fields of the Arctic Ocean]. In: Dodin D.A., Surkov V.S. (eds.) *Rossiyskaya Arktika: geologicheskaya istoriya, minerageniya, geoekologiya* [The Russian Arctic: Geological history, metallogeny, geoecology]. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya Publ., 2002, pp. 134-141.
14. *Geologicheskie formatsii dokaynozoyzskogo chekhla Sibirskoy platformy i ikh rudonosnost'* [Geologic formations of the pre-Cainozoic mantle of the Siberian platform and their ore content]. Moscow: Nedra Publ., 1974. 279 p.
15. Dodin D.A. *Ustoychivoe razvitie Arktiki (problemy i perspektivy)* [The sustainable development of the Arctic (problems and prospects)]. St. Petersburg: Nauka Publ., 2005. 283 p.
16. Masaytis V.L. *Permskiy i triasovyy vulkanizm Sibiri: problemy dinamicheskikh rekonstruktsiy* [Permian and Triassic volcanism in Siberia: the problem of dynamic reconstructions]. *Zapiski VMO*, 1983, Pt. 112, issue 4, pp. 412-425.
17. Evdokimov A.N., Evdokimova N.K. *Zakonomernosti raspredeleniya uglevodorodov Barentsevo-Karskogo regiona pod vozdeystviem neogeyskikh magmaticheskikh kompleksov* [Patterns of hydrocarbons distribution in the Barents-Kara region influenced by neogene magmatic complexes]. In: Avetisov G.P. (ed.) *Geologo-geograficheskie kharakteristiki litosfery Arkticheskogo regiona* [Geological and geographical characteristics of the lithosphere in the Arctic region]. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya Publ., 2000, issue 3, pp. 115-124.
18. Bely V.F. *Uskhetveemskiy kompleks subvulkanicheskikh ul'tramafitov (Chukotskiy poluostrov)* [Uskhetveemsky subvolcanic ultramafic complex (Chukotka Peninsula)]. Magadan: SVKNII DVO RAN Publ., 1995. 121 p.
19. Sidorov A.A. *Serebro (geologiya, mineralogiya, genesis, zakonomernosti razmeshcheniya mestorozhdeniy)* [Silver (geology, mineralogy, genesis, patterns of distribution of deposits)]. Moscow: Nauka Publ., 1989. 240 p.
20. Savva N.E., Goryachev N.A. *Mestorozhdenie Dukat* [The Dukat Deposit]. In: Khanchuk A.I. (ed.) *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii*. Kn. 2 [Geodynamics, magmatism and metallogeny of Eastern Russia. Book 2]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2006, pp. 709-712.
21. Evdokimov A.N. *Vulkany Shpitsbergena* [Volcanoes of Spitsbergen]. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya Publ., 2000. 123 p.
22. Korago E.A., Evdokimov A.N., Stolbov N.M. [Late Mesozoic and Cainozoic basic magmatism in the north-west of Eurasian continental margin]. *Trudy NIIGA-VNIIOkeangeologiya* [Proc. of NIIGA-VNIIOkeangeologia]. St. Petersburg: VNIIOeangeologiya Publ., 2010, vol. 215. 174 p.
23. Vaganov V.I., Ivankin P.F., Kropotkin P.N. et al. *Vzryvnye kol'tsevye struktury shchitov i platform* [Blasting ring structures of shields and platforms]. Moscow: Nedra Publ., 1985. 200 p.
24. Taylor S.R., McLennan S.M. *Kontinental'naya kora, ee sostav i evolyutsiya* [The continental crust, its composition and evolution]. Translated from English by Sobolev R.N., Soboleva L.T. Moscow: Mir Publ., 1988. 376 p.
25. Kolyasnikov Yu.A. *Problemy magmatizma i evolyutsii veshchestva Zemli* [Problems of magmatism and evolution of the Earth]. Magadan: SVKNII Publ., 1988. 78 p.
26. Marakushev A.A. *Petrografiya* [Petrography]. Moscow: MSU Publ., 1993. 323 p.

Received: 01 July 2014