

Об участии природных солей в щелочном магматизме. Статья 2. Эталонные объекты. Геологические аспекты модели

© 2019 г. Г. А. Беленицкая

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ), 199106, г. Санкт-Петербург,
Средний просп., 74, e-mail: gab_2212@mail.ru

Поступила в редакцию 30.07.2018 г., принята к печати 11.12.2018

Объект исследований. Предлагается новая геолого-генетическая модель щелочного магматизма, рассматривающая в качестве дополнительных источников щелочных и летучих компонентов соленосные комплексы, находящиеся на путях восходящего движения глубинных магм. Обсуждению этой проблемы посвящено три статьи. В первой из них были охарактеризованы геологические предпосылки, позволяющие рассматривать древние соленосные комплексы в качестве участников щелочного магматизма, выделены щелочно-соляные ассоциации – пространственно-временные сочетания щелочных и соляных объектов, охарактеризованы их тектонические типы. Данная статья посвящена более детальному обоснованию геологических аспектов модели соляно-магматических взаимодействий. Охарактеризованы эталонные соляно-щелочные ассоциации трех тектонических типов: Итальянская (покровно-складчатый тип), Верхнерейнская (рифтогенный) и Северозападно-Африканская (пассивно-окраинный). **Материалы и методы.** Приведены наиболее значимые тектонические, литологические и петрологические особенности, всех трех типов, восстановлена картина эволюции пространственно-временных соотношений щелочных магматических комплексов с солями. Систематизированы вещественные, структурно-морфологические и пространственные признаки, подтверждающие участие компонентов соленосных комплексов в щелочном магматизме. Рассмотрены разновозрастные вероятные аналоги эталонных объектов. **Результаты.** Сделан вывод, что нахождение соленосных толщ в глубоких зонах земной коры на путях восходящего движения мантийных магм представляет собой геологически обоснованное явление, места их пересечения благоприятны для инъекционного внедрения горячих магм и образования промежуточных камер – центров их взаимодействия с компонентами соленосных (соляно-карбонатных) комплексов. Ассимиляция локализованных в этих комплексах щелочных и летучих компонентов может способствовать образованию резко обогащенных (пересыщенных) ими расплавных смесей и формированию щелочной специализации магм. **Заключение.** Сумма данных позволила дать положительную оценку вероятности участия солей в щелочном магматизме и сформулировать основные положения геологической модели соляно-магматических взаимодействий. Следующая статья будет посвящена обсуждению собственно генетических аспектов предлагаемой модели с оценкой вероятной роли и значимости различных щелочных и летучих галофильных компонентов в формировании щелочных магм и сравнительному анализу различных геолого-генетических моделей щелочного петрогенеза.

Ключевые слова: природные соли, щелочной магматизм, ассимиляция, соляная тектоника, щелочно-соляная ассоциация, Средиземноморский соленосный пояс, Итальянская соляно-щелочная провинция, Северозападно-Африканская соляно-щелочная провинция, Верхнерейнский грабен, аллохтонные соляные покровы, инъекционный, соляной рециклинг, Везувий

On the participation of natural salts in alkaline magmatism. Article 2. Standard objects and geological aspects of the model

Galina A. Belenitskaya

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), 74 Sredny av., St. Petersburg 199106, Russia,
e-mail: gab_2212@mail.ru

Received 30.07.2018, accepted 11.12.2018

Research subject. The author suggests a new geologic and genetic model for alkaline magmatism. This model considers the saline complexes that are located along the paths of ascending deep magmas as additional sources of alkaline and volatile components. An analysis of the geological and genetic probability of the participation of salts in alkaline magmatism is based on the study of the space-time relationships of natural salts and alkaline magmatic complexes performed using global and regional data. This problem is investigated in a series of three articles. The first article was devoted to characterization of geological prerequisites and their tectonic types. This article sets out to describe the geological aspects of salt-mag-

Для цитирования: Беленицкая Г.А. (2019) Об участии природных солей в щелочном магматизме. Статья 2. Эталонные объекты. Геологические аспекты модели. *Литосфера*, 19(4), 499–518. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-4-499-518

For citation: Belenitskaya G.A. (2019) On the participation of natural salts in alkaline magmatism. Article 2. Standard objects and geological aspects of the model. *Litosfera*, 19(4), 499–518. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-4-499-518

matic interactions in greater detail. To this end, the standard alkaline-salt associations of three tectonic types – Italian (cover-fold type), Upper-Rhine (rift type) and North-West-African (passive-margin type) – were characterized. *Methods.* The most significant tectonic, lithological and petrological features of all the aforementioned types were described, along with the evolution of space-time relationships of alkaline magmatic complexes. The features confirming the participation of saline complexes in alkaline magmatism were generalized. *Results.* It is found that the presence of salt-bearing strata in deep zones of the Earth's crust along the ascending routes of mantle magmas is a geological phenomenon. The places of their intersection are favourable for the injection of hot magmas and the formation of interstitial chambers, which form centres for interaction between these magmas and the components of saline (salt-carbonate) complexes. The assimilation of the alkaline and volatile components localized in these complexes can contribute to the formation of highly enriched (supersaturated) melt mixtures and a subsequent alkaline specialization of the magmas. *Conclusion.* On the basis of the data obtained, a geological model of salt-magmatic interactions has been developed. The author's next article will discuss the genetic aspects of the proposed model along with a possible role of various alkaline and volatile halophilic components in the formation of alkaline magmas. In addition, a comparative analysis of various geological and genetic models of alkaline petrogenesis will be provided.

Keywords: *natural salts, alkaline magmatism, assimilation, salt tectonics, salt-alkaline association, Mediterranean salt belt, Italian salt-alkaline province, North-West-African salt-alkaline province, Upper-Rhine graben, allochthonous salt cover, injection, salt recycling, Vesuvius*

Acknowledgements

The work was supported by the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation and the Russian Foundation for Basic Research (projects 07-05-00907-a, 10-05-00555-a, 12-05-00513-D-c, 16-15-20048-D-c).

ВВЕДЕНИЕ

Автором предложена геолого-генетическая модель щелочного магматизма, в которой в качестве дополнительных источников щелочных и летучих компонентов рассматриваются соленосные комплексы, находящиеся на путях восходящего движения глубинных магм. Обсуждению этой проблемы посвящено три статьи. В первой [Беленицкая, 2018] был охарактеризован комплекс геологических предпосылок, позволяющих рассматривать древние соленосные комплексы как участники щелочного магматизма. Главные среди них – сходство наборов специфических для каждого из них галофильных и фойдафильных (от “фойд” – фельдшпатоид) компонентов состава, сближенность ареалов распространения и сопоставимость ряда пространственно-временных закономерностей размещения тех и других. На глобальном и региональном материале было показано весьма частое сонахождение соленосных и щелочных комплексов. Это позволило выделить соляно-щелочные (или щелочно-соляные) ассоциации (ЩСА) – пространственно-временные сочетания щелочных и соляных объектов разного возраста и ранга, для которых охарактеризованы особенности временных соотношений между соляными и щелочными объектами и рассмотрены основные тектонические типы, приведен краткий обзор распространенности. Сделан предварительный вывод о том, что нахождение соленосных толщ на путях восходящего движения глубинных мантийных магм в глубоких зонах земной коры представляет собой распространенное явление, области их встречи и пересечения благоприятны для соляно-магматических взаимодействий.

Цель данной статьи – более детальное обоснование геологических аспектов предлагаемой моде-

ли на основании анализа состава, строения и формирования эталонных для основных тектонических типов ЩСА и обобщения геологических признаков реализации модели. Следующая статья будет посвящена обсуждению генетических аспектов предлагаемой модели с оценкой вероятной роли различных галофильных компонентов в формировании щелочной специализации магм и сравнительному анализу различных геолого-генетических моделей щелочного петрогенеза.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Эталонные соляно-щелочные провинции

В качестве эталонных объектов для более детального анализа выбраны соляно-щелочные провинции с относительно хорошо выраженными сообществами соленосных и щелочных комплексов трех основных тектонических типов: Итальянская – покровно-складчатого типа, Верхнерейнская – рифтогенного и Северозападно-Африканская – пассивноокеанского. На приведенных модельных профилях каждой из провинций схематично отражены важнейшие особенности размещения, строения и соотношения их соленосных и щелочных комплексов. При характеристике ЩСА мы уделим несколько больше внимания ее первому члену – погребенным в субстрате мезозойским солям и их тектонической и кинематической истории. Именно они могли быть активными участниками молодого щелочного магматизма, а между тем, сведения о них в литературе весьма ограничены, что, по нашему мнению, является одним из основных препятствий для принятия рассматриваемой модели.

Итальянская (Римская) соляно-щелочная провинция (покровно-складчатый тип) (рис. 1),

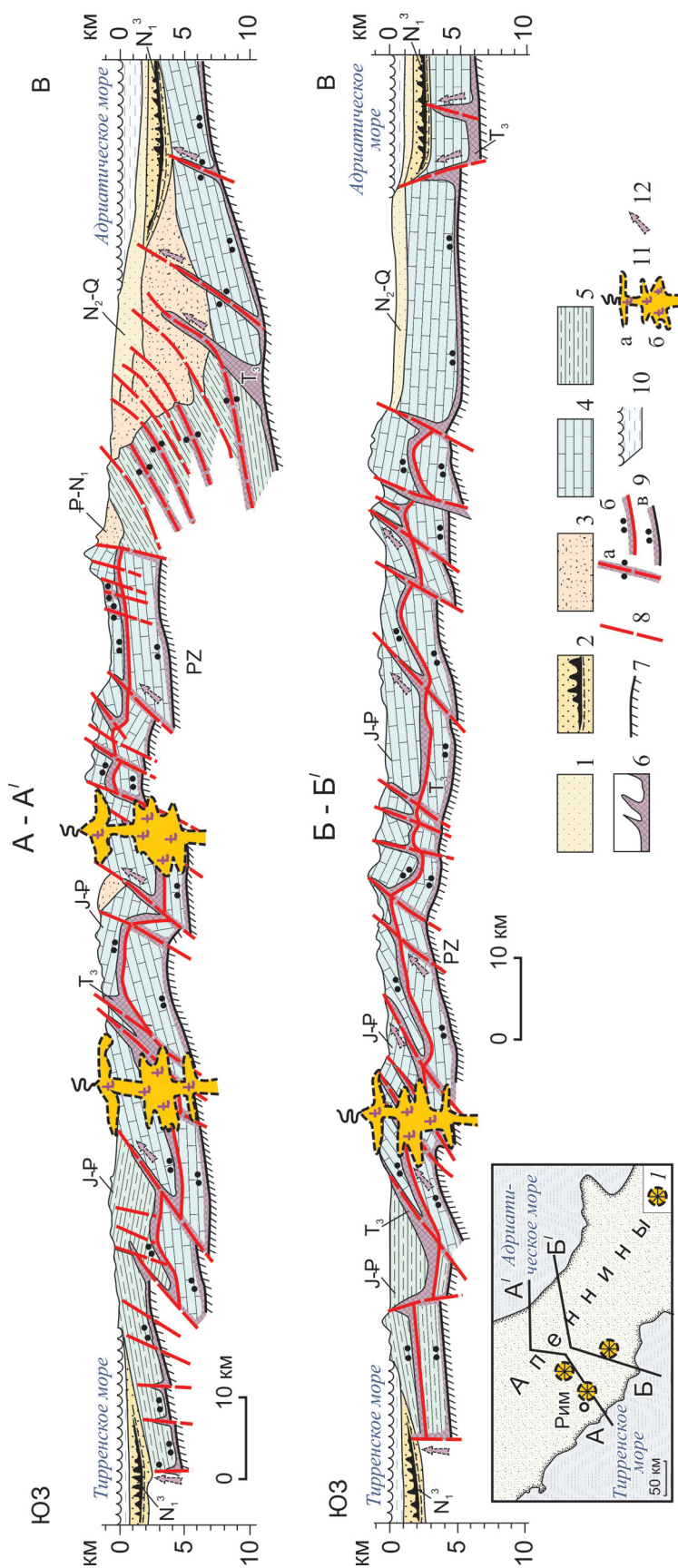


Рис. 1. Схематические геологические профили через Италийскую соляно-щелочную провинцию покровно-складчатого типа. С использованием материалов [Ритманн, 1964; Хаин, 1984; Тектоническая карта..., 1994; Ziegler et al., 1996; Chelazzi et al., 2006; Peccerillo et al., 2010; Alagna et al., 2010; Беленицкая, 2017, 2018; и др.]. На врезке – ориентировочное положение профилей и щелочных вулканов (1).

1 – плио-плейстоценовые отложения (N_2-Q); 2 – миоценовые отложения, черным показан мессинский уровень распространения соляных покровообразных тел (N_1^3); 3 – палеоген-миоценовые флишевые отложения ($P-N_1$); 4, 5 – юрско-палеогеновые отложения ($J-P$), комплексы: 4 – карбонатных платформ, 5 – преимущественно батинальные; 6 – уровни и зоны остаточно-автохтонного и аллохтонного распространения верхнетриасовых (T_3) соленосных (каллиеносных) отложений; 7 – герцинский фундамент; 8 – тектонические нарушения; 9 – “соляные швы”; а, б – “вторичные” (а – вдоль тектонических нарушений, б – вдоль пологих надвигов в основании тектонических покровов чехла), в – “первичные” (остаточные на местах первоначального залегания солей); 10 – воды Тирренского и Адриатического морей; 11 – щелочные ультра-калийные комплексы (на Б-Б’ – ориентировочная проекция Везувия); а – вулканические постройки, б – промежуточные магматические камеры на уровнях соленосных отложений; 12 – вероятные пути восходящей миграции рассольно-соляных масс.

Fig. 1. Schematic geological profiles across the Italian salt-alkaline province of nappe-fold type. Compiled by G.A. Belenitskaya using materials [Ritmann, 1964; Chain, 1984; Tectonic map..., 1994; Ziegler et al., 1996; Chelazzi et al., 2006; Peccerillo et al., 2010; Alagna et al., 2010; Belenitskaya, 2017, 2018; etc.]. The inset shows the approximate position of the profiles and alkaline volcanoes (1).

1 – Plio-Pleistocene sediments (N_2-Q); 2 – Miocene sediments, black colour shows Messinian distribution level of salt nappe-like bodies (N_1^3); 3 – Paleogene-Miocene flysch deposits ($P-N_1$); 4, 5 – Jurassic-Paleogene deposits ($J-P$), complexes: 4 – carbonate platforms, 5 – predominantly bathyal; 6 – levels and zones of residual autochthonous and allochthonous distribution of the Upper Triassic (T_3) of salt-bearing (potassium-bearing) sediments; 7 – Hercynian basement; 8 – tectonic faults; 9 – “salt sutures”: а, б – “secondary” (а – along tectonic faults, б – along low-angle overthrusts at the base of tectonic nappes of the cover), в – “primary” (residual in sites of original salts occurrence); 10 – waters of the Tyrrhenian and Adriatic Seas; 11 – alkaline ultra-potassic complexes (on B-B’ Profile – tentative projection of Vesuvius); 11 – volcanic edifices, б – intermediate magma chambers at levels of salt sediments; 12 – supposed paths of ascending migration of brine-salt masses.

будучи звеном Западно-Средиземноморского коллизионного пояса, примерно отвечает Апеннинской покровно-складчатой области, а в субстрате – части Апулийского палеомикроконтинента [Хайн, 1984; Тектоническая карта..., 1994]. Она находится в западной половине гигантского Средиземноморского соляного пояса [Busson, 1982; Rouchy, 1982; Ziegler, Horvath, 1996; Беленицкая, 2017] и одновременно в центральной части одноименного пояса молодого щелочного магматизма [Ритманн, 1964; Главнейшие провинции..., 1974; Щелочные породы, 1976; Ямпольский, 2000; Пучков, 2005; Peccerillo, Martinotti, 2006; и др.].

Соленосность Средиземноморского пояса в целом и Апеннинской области в частности была охарактеризована ранее [Беленицкая, 2017]. Здесь приведем лишь ключевые, наиболее важные в данном случае положения. Пояс вмещает соленосные толщи двух основных возрастных уровней (см. рис. 1): триасовые (T_3 , иногда $T-J_1$) и миоценовые (датируемые преимущественно мессинием, N_1^3). *Триасовые соли*, связанные с формированием триасово-раннеюрских рифтогенных внутри- и межконтинентальных систем, фиксировавших раскол Пангеи и заложение бассейнов Неотетиса, первоначально занимали обширные территории [Busson, 1982; Ziegler, Horvath, 1996; Беленицкая, 1998]. Их максимальные мощности соответствовали осевым зонам палеорифтовых прогибов, в том числе ограничивающим Апулийский микроконтинентальный блок. В течение юрско-мелового времени соли были перекрыты мощными комплексами пассивных окраин. Последующие аккреционно-коллизионные процессы сопровождались сдавливанием осадочных соленосных серий, расположенных вдоль окраин континентальных блоков, их тектоническими срывами с перекрытием окраинных частей этих блоков. Большая часть триасовых солей была при этом выдавлена с мест первоначального залегания и вынесена либо на фронте движущихся покровно-надвиговых комплексов, либо по секущим тектоническим разрывам. Миграция солей сопровождалась их инъекционно-тектоническими внедрениями в перекрывающие толщи и завершилась масштабной разгрузкой в глубоководные котловинные водоемы [Беленицкая, 1998, 2017]. Здесь разгружающиеся соли принимали участие в более молодом соленаккумуляции на новом – преимущественно мессинском – уровне, максимально локализуясь в новообразованных или углубленных водоемах – Алжиро-Прованском, Лигурийском, Альборанском, Тирренском, Адриатическом.

В итоге этих процессов на местах бывшего нахождения триасовых солей сохранились главным образом их сравнительно небольшие по мощности автохтонные массы, нередко только ангидриты и гипсы в сочетании с доломитами. Возникшие на путях их миграции разнообразные аллохтонные

инъекционно-тектонические и инъекционные тела ныне присутствуют в основании большинства надвигов, покровов, шарьяжей, часто многоуровневных, вдоль секущих тектонических нарушений, в зонах дробления внутри складок. Оба типа соленосности довольно широко развиты на глубинах от нескольких до 8–10 км и, возможно, более в разрезах складчато-надвиговых сооружений Западного и Центрального Средиземноморья – в Апеннинах, Альпах, Пиренеях, Динаридах, Бетидах и др. [Ziegler, Horvath, 1996; Беленицкая, 2017]. Вместе они образуют обширный ареал – своеобразное гигантское открытое на восток полукольцо соляных тел покровно-складчатого типа. Со стороны акваторий этот ареал граничит с областями развития *мессинских солей*. Их покровообразные инъекционно-осадочные тела сформировались в миоцене при участии триасовых рассольно-соляных масс, разгружавшихся в котловинные глубоководные бассейны.

Такой характер соленосности хорошо выражен и в Апеннинской области, расположенной над юго-западной частью Апулийского палеомикроконтинента, перекрытой “сорванными” (с его же палеоокраин) пассивноокраинными комплексами, вмещающими те же два типа триасовых солей. Со стороны акваторий ареал их распространения обрамляется, частично перекрываясь, областями развития мессинских солей (см. рис. 1).

Калиеносность триасовых солей в пределах региона весьма вероятна, а миоценовых – хорошо известна. В Сицилии с ней связаны месторождения калийных солей.

Область молодого **щелочного магматизма** Западного Средиземноморья близка ареалу распространения триасовых солей. Итальянская щелочная провинция, расположенная в центральной части этой области, отвечает соленосной области Апеннин. Она представляет собой регион интенсивного проявления неоген-четвертичного щелочного калиевого и ультракалиевого магматизма [Главнейшие провинции..., 1974; Chelazzi et al., 2006; Peccerillo, Martinotti, 2006; Alagna et al., 2010; и др.]. Здесь находятся действующий вулкан Везувий и другие молодые вулканы (Искья, Роккамонфина, Вульсини, Вико, Альбани, Сабатини и др.). Вулканы характеризуются щелочными лавами с высоким содержанием калия (K_2O – от 6–7 до 10–12%), часто с резко выраженным преобладанием калия над натрием, с постоянным присутствием лейцита [Главнейшие провинции..., 1974; Chelazzi et al., 2006]. Своеобразие состава щелочных пород послужило основанием для выделения “средиземноморского” петрографического типа [Главнейшие провинции..., 1974].

Щелочной магматизм Итальянской провинции проявлен в пределах покровно-складчатых сооружений, возникших в ходе коллизионных процессов над деформированной палеоокраиной Апулийско-

го микроконтинента. Вулканические аппараты располагаются на цоколе из покровов и пластин мезозойских отложений, в разрезах которых преобладают юрско-меловые известняково-доломитовые комплексы, в разной мере соленосные и ангидритовые, нередко залегающие почти горизонтально. В подошвах пакетов из двух-трех таких комплексов и в их разрезах находятся остаточные слои триасовых солей, иногда только ангидритов, их фрагменты, первичные и вторичные инъекционно-тектонические “соляные швы” и др. Вместе они образуют поднадвиговые, вдольтектонические, внутрискладчатые и т. п. скопления на глубинах от 2–3 до 5–8 (10) км [Ziegler, Horvath, 1996].

Современными геофизическими методами установлено нахождение промежуточных магматических камер на средних и малых глубинах (например, [Ямпольский, 2000; Ковальская, 2003; Пучков, 2005]). Уровни их нахождения отвечают глубинам распространения триасовых солей.

Показательны данные, характеризующие район *Везувия* – одного из ярких представителей щелочных вулканов Итальянской провинции с ультракалиевыми щелочными магмами [Ритманн, 1964; Главнейшие провинции..., 1974; Богатилов, Кононова, 1999; Пучков, 2000; Ковальская, 2003; Ямпольский, 2000; и мн. др.]. Здесь отчетливо выражены особенности щелочно-соляных взаимосвязей, характерные для Итальянской провинции и в целом для Средиземноморского пояса. На рис. 1 проекция Везувия примерно отвечает вулканоплутонической постройке в левой части нижнего профиля. На рис. 2 приведена более развернутая геологическая модель Везувия. Обнаруженные геофизическими методами промежуточные магматические камеры на глубинах около 3 и 8–10 км примерно отвечают интервалам вероятной соленосности. Известно широкое распространение в щелочных породах ксенолитов триасовых доломитов [Ритманн, 1964]. Обычная для доломитов ассоциация с солями и ангидритами (в том числе в данном регионе) может служить основанием для предположения об их совместной ассимиляции магмами. Преобладание же в ксенолитах, особенно выносимых на поверхность, лишь доломитов обусловлено прежде всего их лучшей сохраняемостью.

В Итальянской провинции прослеживаются три члена ЩСА¹. Сд – триасовые соленосные комплексы, вероятно калиеносные, находящиеся в покровно-складчатом субстрате; предполагаемые

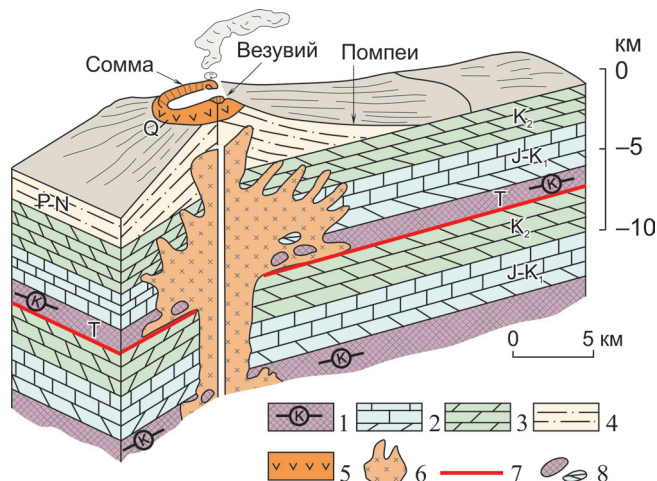


Рис. 2. Геологический разрез вулкана Везувий. По [Ритманн, 1964], с дополнениями, характеризующими соленосность осадочного разреза.

1 – соляные (калиеносные) и карбонатно-соляные толщи триаса (Т); 2 – известняки и доломиты юры–нижнего мела (J–K₁); 3 – доломиты верхнего мела (K₂); 4 – песчаники и глины палеоген-неогена (P–N); 5 – базальт лейцитовый четвертичный (Q); 6 – магматические очаги (верхняя близповерхностная камера и верхи более глубокой); 7 – надвиг по подошве соляной толщи; 8 – останцы вмещающих пород (доломитов, известняков, солей), сохранившиеся в ходе процессов ассимиляции магмой соленосных пород и формирования промежуточных магматических камер.

Fig. 2. Geological section of Mount Vesuvius. After [Ritmann, 1964], with supplements characterizing salt content of the sedimentary section.

1 – Triassic salt (potassium-bearing) and carbonate-salt strata (T); 2 – Jurassic-Lower Cretaceous limestone and dolomite (J–K₁); 3 – Upper Cretaceous dolomite (K₂); 4 – Neogene-Paleogene sandstone and clay (P–N); 5 – Quaternary leucite basalt (Q); 6 – magma chambers (subsurface upper chamber and the upper parts of the deeper one); 7 – thrust fault along the bottom of the salt strata; 8 – relics of surrounding rocks (dolomite, limestone, salt) preserved in the process of assimilation of salt-bearing rocks and formation of intermediate magma chambers.

участники молодого щелочного магматизма, а также соленакпления на миоценовом уровне. **Щм** – плиоцен-четвертичные калиевые щелочные комплексы, сформированные при вероятном участии процессов ассимиляции триасовых солей. **См** – миоценовые калиеносные соли, образовавшиеся при участии эмигрировавших солей триаса в котловинных впадинах. Взаимоотношения между соляными и щелочными объектами и уровнями их развития (см. рис. 1) создают характерную общую региональную пространственную зональность.

Сходные картины строения и общей зональности ЩСА восстанавливаются и для других провинций Западно-Средиземноморского коллизийного пояса – Динаридской, Северо-Пиренейской, Бет-

¹ В соответствии с принятыми нами ранее обозначениями членов ЩСА [Беленицкая, 2018] здесь и далее при их перечислении будем использовать сокращенные буквенные индексы: Сд – соли древние, предшествующие щелочному магматизму, **Щм** – щелочные комплексы молодые, **См** – соли молодые, син- или постмагматические, **Щд** – щелочные комплексы древние.

ской, Рифской и др. Геологические профили некоторых из них были приведены в [Беленицкая, 2017, 2018].

Верхнерейнская соляно-щелочная провинция (рифтогенный тип) (рис. 3–5) отвечает одноименному молодому грабену – субмеридиональному звену протяженной эоцен-четвертичной

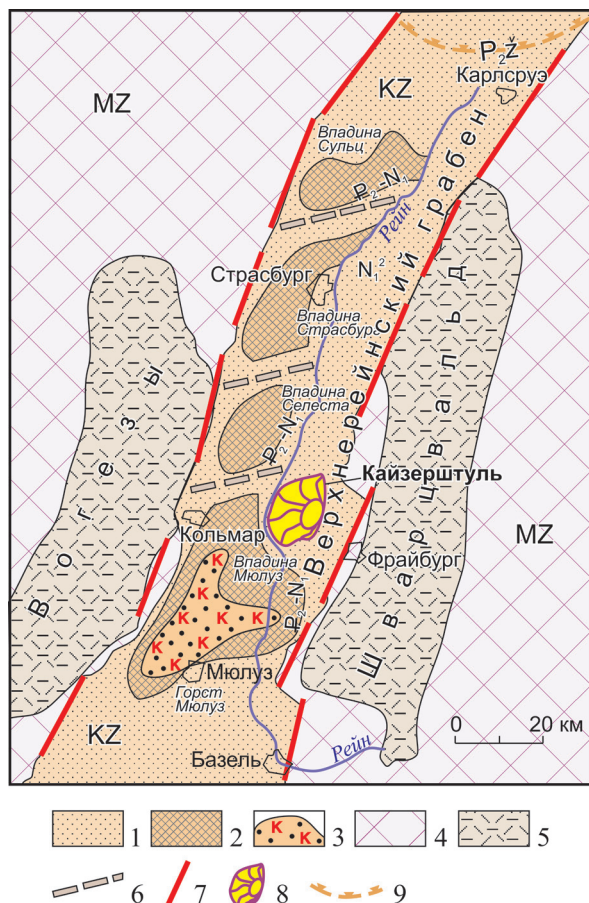


Рис. 3. Схематический план Верхнерейнской соляно-щелочной провинции рифтогенного типа. С использованием данных [Карбонатиты, 1969; Главнейшие провинции..., 1974; Высоцкий и др., 1988; Ziegler, Horvath, 1996; Беленицкая, 2017; и др.].

1 – кайнозойские отложения, выполняющие Верхнерейнский грабен (KZ); 2 – площадь распространения олигоцен-миоценовых соленосных (калиеносных) отложений ($P_2^3-N_1$) в грабене; 3 – участок распространения в соленосном разрезе калийных солей и максимального проявления диапиризма; 4 – область распространения в обрамлении грабена мезозойских отложений (MZ) с присутствием в разрезе триасовых солей, вероятно калиеносных; 5 – выходы в обрамлении грабена пород герцинского фундамента; 6 – поднятия в грабене (герцинского направления); 7 – основные тектонические ограничения грабена; 8 – калиевый щелочной массив с карбонатитами Кайзерштуль (N_1^2); 9 – ориентировочная южная граница распространения верхнепермских (цехштейновых, P_2^3) солей сульфатно-калиевого типа.

Fig. 3. Schematic plan of the rift-type Upper Rhine salt-alkaline province. Compiled by G.A. Belenitskaya using data from [Carbonatites, 1969; Glavneishie provintsii..., 1974; Vysotsky et al., 1988; Ziegler, Horvath, 1996; Belenitskaya, 2017; etc.].

1 – Cenozoic deposits filling the Upper Rhine Graben (KZ); 2 – distribution area of Oligocene-Miocene salt (potassium-bearing) sediments ($P_2^3-N_1$) in the graben; 3 – distribution area of potassium salt in the salt-bearing section and maximum diapirism; 4 – distribution area in the graben framing of Mesozoic sediments (MZ) with the presence of Triassic salts in the section, probably potassium-bearing; 5 – Hercynian basement rock outcrops in the graben framing; 6 – elevations in the graben of Hercynian trending; 7 – main tectonic graben limits; 8 – alkaline potassium mass with Kaiserstuhl carbonatites (N_1^2); 9 – approximate southern limit of Upper Permian (Zechstein, P_2^3) salts of potassium sulphate type.

Рейнско-Ливийской рифтовой системы. Грабен наследует один из отрезков предшествующей поздне-триасово-юрской генерации этой же системы [Хайн, 1977; Милановский, 1983; Ziegler, Horvath, 1996; и др.]. Его протяженность около 350 км, ширина 35–50 км, мощность осадочного выполнения до 5–8 км. Грабену соответствует Верхнерейнский соленосный (калиеносный) бассейн и одноименный регион щелочного (калиевого) магматизма.

Соленосность развита на двух уровнях разреза [Высоцкий и др., 1988; Ziegler, Horvath, 1996; и др.]: в основании, в триасе, и в верхней части, в палеогене ($P_2^3-P_3$), частично в миоцене (N_1). Возраст нижних солей, ныне глубоко погребенных, отвечает времени заложения поздне-триасово-юрской рифтогенной системы, верхних – времени неогео-динамической активизации. *Триасовые соленосные отложения* изучены преимущественно в обрамлении грабена, сведения о них в его глубоких зонах ограничены. Однако, поскольку именно здесь располагались осевые зоны триасово-юрских палеорифтов, контролировавшие депоцентры соленосных палеобассейнов, то именно здесь вероятно нахождение максимальных исходных мощностей триасовых солей, а также зон их основной калиеносности и интенсивного диапиризма.

Соли эоцен-олигоценового (частично миоценового) уровня изучены гораздо лучше. Их мощность достигает 2 км. В разрезе олигоцена присутствуют горизонты калийных солей промышленного значения мощностью до 2–6 м с содержанием KCl около 30%, Rb в карналлите $\approx 0.10\%$ [Высоцкий и др., 1988]. Соленосные отложения осложнены вдоль-разломными диапирами, максимально – на калиеносных участках. В ходе начавшихся в палеогене процессов активизации и рифтогенеза глубоко погребенные триасовые соли сдавливались, подвергались масштабным деформациям, сопровождавшимся их интенсивной восходящей миграцией с участием в накоплении солей нового уровня [Беленицкая, 1998; и др.].

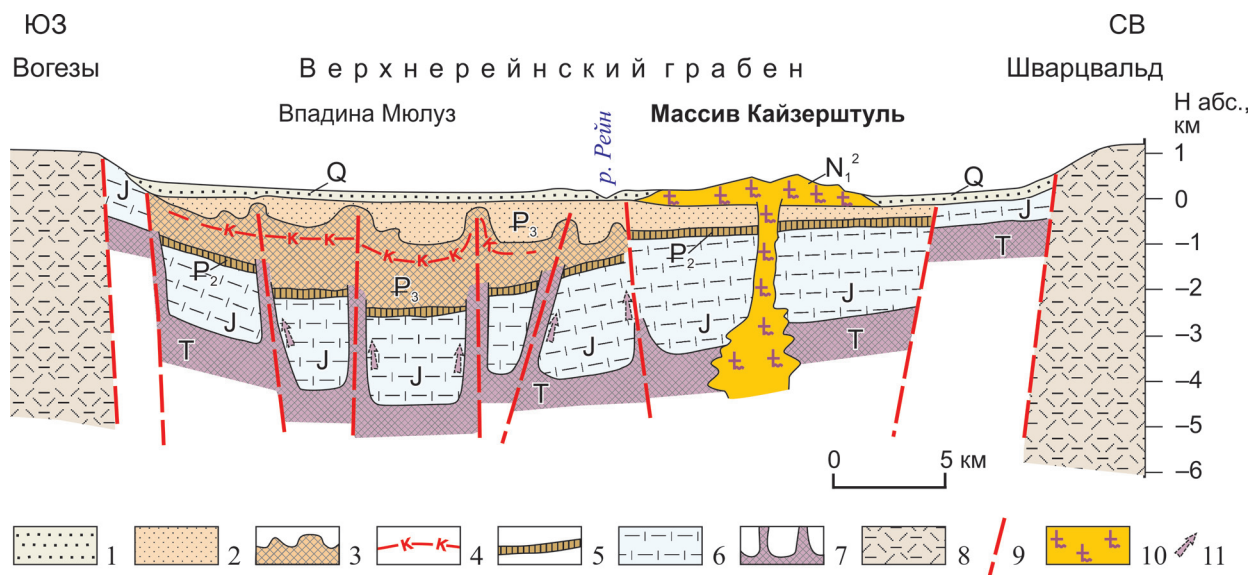


Рис. 4. Схематический поперечный профиль Верхнерейнской соляно-щелочной провинции рифтогенного типа. Интерпретация автора на основании обобщения работ [Карбонатиты, 1969; Главнейшие провинции..., 1974; Хайн, 1977; Милановский, 1983; Высоцкий и др., 1988; Ziegler, Horvath, 1996; Карбонатиты..., 2005; Беленицкая, 2017; и др.].

1 – четвертичные отложения (Q); 2 – олигоценовые песчано-мергельно-глинистые отложения (P_1); 3 – олигоценовые соленосные отложения (P_3), осложненные диапиризмом; 4 – калиеносные горизонты в разрезе олигоценовых солей; 5 – эоценовые карбонатно-глинистые отложения в основании кайнозойского рифтогенного комплекса (P_2); 6 – юрские терригенно-карбонатные отложения (J); 7 – триасовые соленосные (терригенно-карбонатно-соляные) отложения, вероятно калиеносные (T); 8 – герцинский фундамент в обрамлении грабена; 9 – основные тектонические нарушения; 10 – миоценовый плутоно-вулканический щелочно-калиевый комплекс с карбонатитами Кайзерштуль (N_1^2); 11 – вероятные пути восходящей миграции рассольно-соляных масс.

Fig. 4. Schematic transverse profile of the Upper Rhine rift-type salt-alkaline province (author's interpretation on the basis of generalization [Carbonatites, 1969; Glavneishie provintsii..., 1974; Hain, 1977; Milanovsky, 1983; Vysotsky et al., 1988; Ziegler, Horvath, 1996; Carbonatites..., 2005; Belenitskaya, 2017; etc.].

1 – Quaternary sediments (Q); 2 – Oligocene sand-marl-clay sediments (P_1); 3 – Oligocene salt-bearing sediments (P_3), complicated by diapirism; 4 – potassium-bearing horizons in the Oligocene salt section; 5 – Eocene carbonate-clay deposits at the base of the Cenozoic rift complex (P_2); 6 – Jurassic terrigenous-carbonate sediments (J); 7 – Triassic salt-bearing (terrigenous-carbonate-salt), probably potassium-bearing sediments (T); 8 – Hercynian basement in the graben framing; 9 – major tectonic faults; 10 – Miocene volcanic-plutonic alkaline-potassium complex with carbonatite Kaiserstuhl (N_1^2); 11 – supposed paths of ascending migration of brine-salt mass.

Щелочной магматизм связан с процессами палеоген-четвертичной тектоно-магматической активизации. Вспышки щелочно-базальтового вулканизма наиболее мощно проявились в миоцене. Известный массив Кайзерштуль – самый крупный в регионе представитель щелочных образований – рассматривается как неполно эродированный стратовулкан, сложенный калиевыми щелочными лавами и туфами, субвулканическими щелочными породами и карбонатитами [Карбонатиты, 1969; Главнейшие провинции..., 1974; Щелочные породы, 1976; Карбонатиты и кимберлиты..., 2005; Цыпукова, Владыкин, 2008]. Толща эффузивов прорывается телами субвулканических пород – фолитов и калишпатовых сиенитов. Анализ материала, характеризующего строение осадочного разреза грабена и соотношений в нем щелочных комплексов с солями, позволяет предполагать возникнове-

ние в миоцене на глубинах 3–4 км на уровне распространения погребенных триасовых соленосных пород периферического магматического очага, где происходило взаимодействие этих пород с магмой и их ассимиляция.

В Верхнерейнской провинции, как и в Итальянской, прослежены три члена ЩСА, образующих следующую последовательность: **Сд** (древние триасовые соли, вероятно калиеносные, находящиеся глубоко в субстрате, предполагаемые участники молодого щелочного магматизма и молодого соле-накопления) → **Щм** (молодые миоценовые калийные щелочные магматические комплексы, сформированные при вероятном участии процессов ассимиляции магмой триасовых солей) + **См** (молодые палеогеновые калиеносные соли, находящиеся в унаследованных рифтогенных впадинах над древними солями, связанные с ними диапирами и

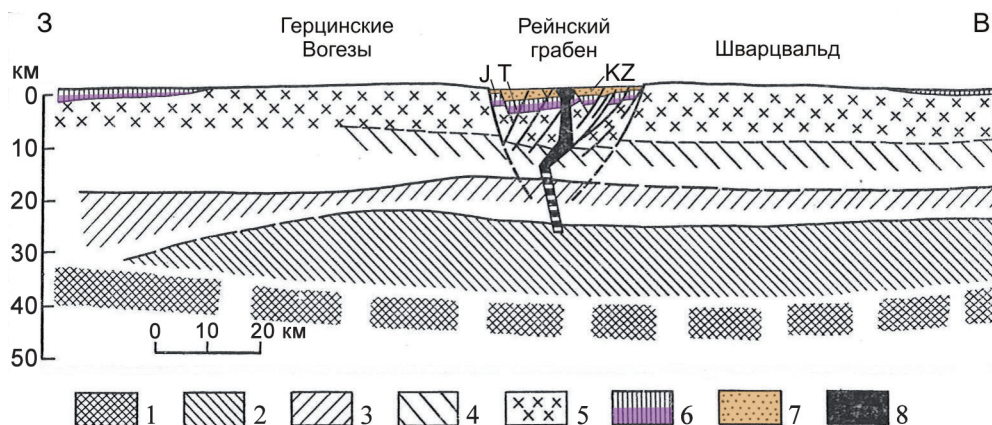


Рис. 5. Схематический глубинный профиль через Рейнский грабен. По [Хаин, 1977], с дополнениями, характеризующими соленосность осадочного разреза.

1 – верхняя мантия; 2 – переходная зона между мантией и корой; 3 – “базальтовый” слой коры; 4 – зона низких скоростей в основании “гранитного” слоя коры; 5 – “гранитный” слой коры; 6 – платформенный чехол (Т и J, подкрашен триасовый соленосный интервал разреза); 7 – кайнозойские соленосные отложения, выполняющие грабен (KZ); 8 – глубокий магматизм.

Fig. 5. Schematic depth profile across the Rhine Graben [Hain, 1977], with supplements characterizing salt content of the sedimentary section.

1 – upper mantle; 2 – mantle-crust transition zone; 3 – “basaltic” crustal layer; 4 – low-velocity zone at the base of the “granitic” crustal layer; 5 – “granitic” crustal layer; 6 – platform cover (T and J, Triassic salt-bearing interval of the section is painted); 7 – Cenozoic salt sediments filling the graben (KZ); 8 – deep magmatism.

по-видимому образовавшиеся с участием процессов регенерации). Пространственная зональность ЩСА, отраженная на рис. 3, несколько отличается от характерной для покровно-складчатого типа.

Северозападно-Африканская соляно-щелочная провинция (пассивноокраинный тип) (рис. 6) отвечает приабиссальным частям крупного сегмента Циркуматлантического кольца соленосных пассивноокраинных бассейнов, располагающегося над рифтогенными палеограницами континентов, сформированными в ходе мезозойского распада Пангеи [Беленицкая, 2018, рис. 1]. В отличие от Итальянской провинции она не пережила аккреционно-коллизийных процессов, а в эоцен-четвертичное время подверглась интенсивным процессам тектоно-магматической активизации. Провинция отвечает области с корой переходного типа – от континентальной Северо-Западной Африки к молодой океанической абиссали Атлантики; частично захватывает последнюю. К восточным (приконтинентальным) частям этой подвижной зоны тяготеют мезозойские соляноTECTONические бассейны Сенегальско-Лузитанской окраинно-океанической системы, а к крайним западным – Зеленомыско-Иберийская (по [Мазарович и др., 1990]) периокеаническая полоса кайнозойских щелочных провинций.

Соленосные толщи этой провинции, связанные, как и в Средиземноморском поясе, с рифтогенной деструкцией Пангеи, возникли при заложении молодого Атлантического океана, его центральных участков. Возраст солей T_3 – J_1 . Разрезы осадоч-

ных бассейнов слагают триасово-юрские, меловые и кайнозойские отложения. В их нижних частях находятся рифтогенные соленосные комплексы, выше – пассивноокраинные, общей мощностью от 4–5 до 8–10 км. Типичные особенности соляных толщ [Беленицкая, 2016]: большие мощности (до 2–3 км и более), значительные площади (до сотни тыс. км²) и глубины залегания (до 5–10 км, иногда больше), интенсивная и разнообразная соляноTECTONическая нарушенность и высокая калиеносность (на суше – промышленная). Весьма вероятно, что в областях распространения континентальной коры в породах палеозойско-докембрийского фундамента присутствуют и остаточные более древние соли, и высококонцентрированные рассолы, которые могли участвовать в триасово-юрском соленаккумуляции.

Для провинции характерны две важные сопряженные особенности их соленосности и тектонического строения. Одна – “необычное” нахождение здесь солей, мигрировавших из шельфовых и батинальных областей в прилежащие абиссальные, чему способствовали весьма высокая интенсивность соляной тектоники и отчасти ортотектоники и кинематическое своеобразие их проявлений. Простираясь изначально вдоль шельфов и континентальных склонов, соли нередко проникают далеко (до сотен км) вглубь прилежащих абиссальных областей с субокеаническим и океаническим типом коры. Миграция солей происходит на значительных глубинах (3–8 км) и сопровождается весьма интенсивными соляноTECTONическими осложнениями вмещаю-

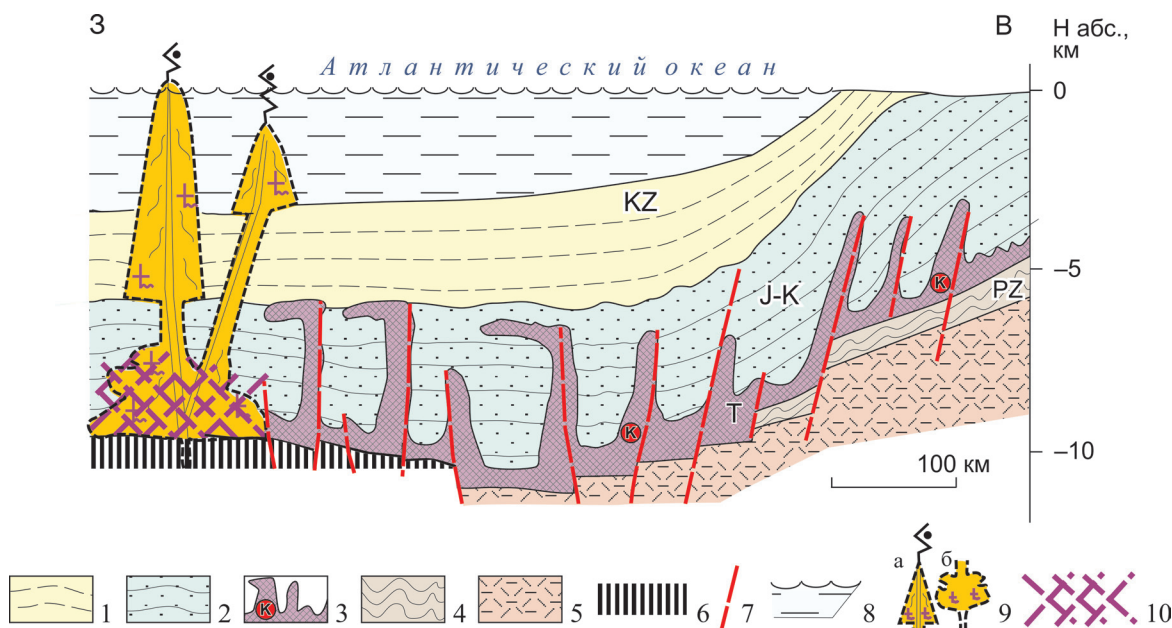


Рис. 6. Модельный профиль через Северозападно-Африканскую соляно-щелочную провинцию (тип активированной пассивной окраины). С использованием [Юнов, 1980; Busson, 1982; Мазарович и др., 1990; Мазарович, 2006; Когарко, Асавин, 2009; Belenitskaya, 2016; и др.].

1, 2 – надсолевые осадочные комплексы: 1 – кайнозойские (KZ), 2 – юрско-меловые (J-K); 3 – позднетриасовые соли калиеносные (Т), осложненные соляными структурами; 4, 5 – подсолевые комплексы: 4 – палеозойское складчатое основание (PZ), 5 – докембрийский фундамент; 6 – кора переходного и океанического типов; 7 – тектонические нарушения; 8 – акватория Атлантического океана; 9 – щелочные калиевые комплексы (ориентировочная проекция на профиль): а – вулканические постройки, б – промежуточная магматическая камера на уровне инъецированных солями комплексов; 10 – зоны, переработанные соляно-тектоническими и ортотектоническими процессами и инъецированными солями.

Fig. 6. Modelled profile across the Northwest African alkaline-salt province (activated passive margin type). After [Yunov, 1980; Busson, 1982; Mazarovich et al., 1990; Mazarovich, 2006; Kogarko, Asavin, 2009; Belenitskaya, 2016; etc.].

1, 2 – oversaline sedimentary complexes: 1 – Cenozoic (KZ), 2 – Jurassic-Cretaceous (J-K); 3 – Late Triassic potassium-bearing salt (T), complicated by salt structures; 4, 5 – subsalt sediments: 4 – Paleozoic folded base (PZ), 5 – Precambrian crystalline basement; 6 – crust of transitional and oceanic types; 7 – tectonic faults; 8 – waters of the Atlantic Ocean; 9 – alkaline potassium complexes (approximate projection on the profile): a – volcanic structures, б – intermediate magma chamber at the Triassic salt-sediment level; 10 – zones, processed by salt tectonics and ortotektonics and injected salts.

щих пород (типа рафт-тектоники [Cramez, 2014; Беленицкая, 2016; и др.]). Другая особенность – значительная нарушенность и раздробленность фундамента и чехла приабиссальных зон, пересекаемых (и перекрываемых) фронтом миграции триасовых солей. Эффекты активной соляной и ортотектоники, взаимно усиливаясь, определили современную картину сложной деформированности приабиссальной полосовидной области, а также ее значительной инъекционной соленосности. В итоге эта область представляет собой протяженную полосу инъецированных солями ансамблей коровых и литосферных блоков – своеобразных корово-чехольных мегабрекчий, образованных гигантскими глыбами, разномасштабными блоками и фрагментами разнородных комплексов (осадочных, складчато-метаморфических, верхних частей океанической коры) [Мазарович и др., 1990]. В наибольшей мере эти особенности выражены в южных частях провинции. К сожалению,

соленосность приабиссальной области почти не изучена и до настоящего времени не привлекала внимания исследователей.

Щелочной магматизм, связанный с процессами эоцен-четвертичной тектоно-магматической активизации, ярко проявился в пределах западных частей провинции, где на расстоянии 100–500 км от суши находятся архипелаги молодых вулканических островов, подводных гор и иных магматогенных поднятий океанического дна. Наиболее известны архипелаги Зеленого Мыса и Канарских островов. Геологическое строение, петрологические и геохимические особенности магматических комплексов описаны в монографиях и статьях [Мазарович и др., 1990; Карбонатиты и кимберлиты..., 2005; Мазарович, 2006; Когарко, Асавин, 2009; и др.]. Многие острова представляют собой стратовулканы, сложенные щелочными (часто высококалиевыми) лавами и туфами, а в центральных частях – субвул-

каническими щелочными породами и карбонатами, входящими в состав плутоно-вулканических щелочно-ультраосновных с карбонатами ассоциаций повышенной калиевоности. Наиболее мощные импульсы магматической деятельности характерны для миоцена; известны они и в голоцене. В пределах провинции, главным образом в ее восточных частях, находятся также и более древние щелочные образования. Их возраст отвечает времени более ранней мезозойской активизации и рифтогенеза и близок времени накопления мезозойских солей.

Область молодого щелочного вулканизма (магмовыведения, по [Мазарович и др., 1990]) примерно совпадает с полосой инъецированных солями тектонизированных корово-чехольных образований. Весьма вероятно, что некоторые из установленных здесь геофизическими методами многочисленных диапиров и других поднятий и структур протыкания и их групп, обычно рассматриваемых как магматические, имеют соляную природу. Возможна и смешанная соляно-магматическая природа, специфика которой пока не изучена.

Таким образом, сочетание и взаимное влияние в пределах рассматриваемой области в течение кайнозоя активных проявлений соляной тектоники и ортотектоники привели к возникновению на путях подъема глубинных магм (на глубине 3–4 км от поверхности дна, на абсолютной глубине –5...–7 км) тектонизированных комплексов, интенсивно инъецированных солями. А это создало предпосылки для образования на этих уровнях промежуточных камер и других участков, благоприятных для активного взаимодействия магм с солями и влияния солей на их состав. В связи с этим показательны значительные различия (нередко контрастность) в составе пород в сближенных вулканических постройках, связанных с едиными глубинными магматическими системами, но возникающих над разными “своими” индивидуальными промежуточными очагами [Мазарович и др., 1990]. Сходная особенность пространственной дискретности состава щелочных магм отмечена и как более общая закономерность щелочного магматизма [Бородин, 1994].

В провинции присутствуют два доминантных члена ЩСА: Сд (древние триасовые калиеносные соли, находящиеся глубоко в субстрате и интенсивно нарушенные проявлениями соляной и ортотектоники – предполагаемые участники молодого щелочного магматизма) → Шм (молодые миоценовые калийные щелочные комплексы, возможно связанные с ассимиляцией триасовых солей, инъецировавших деформированные комплексы субстрата). Кроме того, здесь известен еще один член: Шд – древние раннемезозойские калийные щелочные объекты, возникшие в ходе раннемезозойского рифтогенеза, близкие по возрасту древним солям. Четвертый член – молодые соли (См), близкие по возрасту щелочному магматизму, в Северозападно-

Африканской провинции (в отличие от Итальянской и Верхнерейнской) практически не выражен. Здесь миграция триасовых солей, обеспечившая их проникновение в приабиссальные области, не достигла своего максимума с образованием аллохтонных покровообразных соляных тел, полностью потерявших связи с материнскими солями (что в таких случаях часто служит основанием относить их к более молодым образованиям). В этом состоит главное отличие данной провинции. Сходные черты строения ЩСА и региональной зональности прослеживаются и в других провинциях пассивноокраинного типа.

Итоги анализа эталонных объектов. На примере соляно-щелочных провинций трех тектонических типов обозначены характерные для каждой из них тектонические, литологические и петрологические особенности строения ЩСА и восстановлены пространственно-временные соотношения между образующими их щелочными и соленосными комплексами. Во всех типах в составе ЩСА присутствует доминантная соляно-щелочная пара: щелочные неоген-четвертичные комплексы (Шм) и триасовые соли (Сд), погребенные в субстрате, для которых имеются геологические предпосылки ассимиляции глубинными магмами. Для всех провинций характерно присутствие на глубинах от 2–4 до 5–8 км триасовых соляных (калиеносных) тел, различающихся лишь морфокинетическими особенностями. В Итальянской провинции покровно-складчатого типа преобладают тела поди и внутринадвиговые остаточной и инъекционно-тектонической природы; в Верхнерейнской рифтогенной – погребенные в глубоких частях рифтовой структуры остаточные и соляно-тектонические; в Северозападно-Африканской пассивноокраинной – погребенные и латерально смещенные на прилежащие части приабиссальных областей инъекционные. Магматизм во всех ситуациях обязан тектоно-магматической активизации.

Помимо двух доминантных членов в Итальянской и Верхнерейнской провинциях присутствуют также молодые соляные тела, субсинхронные магматизму. Их образование, по нашему мнению, в значительной мере связано с теми же проявлениями тектоно-магматической активности и вызванными ими интенсивными процессами соляно-тектонического и тектонического выноса триасовых солей, принявших участие в накоплении соляных масс новых уровней. Латеральные и вертикальные соотношения между щелочными и соляными объектами в каждой из провинций формируют характерные виды региональной пространственной зональности.

В заключение еще раз подчеркнем общий важный вывод: во всех провинциях на путях подъема глубинных магм прослеживаются уровни соленосности, а данные томографии в ряде случаев подтверждают наличие на этих уровнях наличие промежуточных магматических камер.

Примеры аналогов эталонных объектов

Рассмотрим примеры объектов, подобных эталонным ЩСА по основным показателям – тектоническим, литологическим и щелочным. Частично они упоминались в общем обзоре ЩСА [Беленицкая, 2018].

Основная сложность опознания ЩСА состоит, как уже отмечалось, в ограниченной сохранности соленосных пород в субстрате областей распространения щелочных комплексов, особенно непосредственно на местах их нахождения, к тому же резко убывающей вглубь времени, а также в их малой доступности для исследования. Разрушение, деформации, перемещения и вынос солей осуществлялись уже во время, предшествующее щелочно-магматизму, интенсивно происходили синхронно его проявлениям в ходе тектоно-магматической активизации, а затем и в постмагматическое время. В результате распространение солей в субстрате во многих случаях может быть обнаружено и прослежено по разномасштабным фрагментам исходных тел, инъекционно-тектоническим образованиям, по набору косвенных признаков, присутствию высококонцентрированных рассолов, а также по весьма важному показателю – наличию молодых солей регенерационной природы. Для восстановления ЩСА наиболее эффективно комплексное рассмотрение ассоциаций в целом, с учетом всех членов, и сопоставление их показателей с эталонными объектами. Значимую, порой определяющую, роль могут играть региональные палеогеографические и палеотектонические реконструкции, задачи которых – восстановление исходных границ распространения древних соленосных комплексов и, главное, определение характера их размещения на время проявления щелочного магматизма.

Сонахождения щелочных комплексов с более древними соленосными телами чаще всего достаточно уверенно устанавливаются для их **неоген-четвертичных (неогеодинамических)** представителей, гораздо реже – для мезозойских, палеозойских и особенно для докембрийских (палеогеодинамических). Неогеодинамические соляно-щелочные провинции разных тектонических типов образуют суперпояса и пояса, отвечающие сомасштабным геодинамическим системам новейшего времени. В статье [Беленицкая, 2018] они показаны на карте и приведен их краткий обзор. Перечень наиболее значительных объектов с указанием их тектонических типов и возраста образующих их щелочных и соленосных членов дан в табл. 1.

Примеры **палеогеодинамических** соляно-щелочных провинций с мезозойским и палеозойским щелочным магматизмом и их важнейшие показатели приведены в табл. 2. Их выделение основано на обобщении литологических и петрологических данных многих публикаций и на итогах палеоре-

конструкций. Сами реконструкции в рамках данной статьи не могут быть рассмотрены. Для соленосных провинций Северной Евразии они имеются в работе [Рифовые..., 2015; и др.]. Прокомментируем кратко лишь отдельные примеры. В тексте, как и в табл. 2, индексы основных возрастных интервалов распространения соленосных и щелочных комплексов выделены полужирным шрифтом, обобщенные интервалы даны в квадратных скобках.

Северо-Байкальский регион. Покровно-складчатый тип ЩСА. Прослеживаются три члена ЩСА. **Сд** – предполагаемые соленосные участники щелочного магматизма: верхневендско-среднекембрийские соли, промышленно калиеносные, и рифейские ($R?$, V_2 – E_2). Ныне первые широко развиты лишь в осадочном чехле в пределах смежных территорий Сибирской платформы, вторые, возможно, присутствуют здесь же в виде остаточных проявлений солей и сульфатов в подстилающих рифейских палеорифтогенных комплексах. Ареал исходного распространения соленосных отложений простирался далеко к востоку (и к западу) от границ их современного распространения, занимая все палеоокраины Сибирского палеоконтинента [Рифовые..., 2015]. В настоящее время они глубоко погребены под складчато-надвиговыми комплексами Байкальской складчатой области (на востоке) и Восточных Саян (на западе). В ходе байкальско-каледонских коллизионных процессов соленосные комплексы подверглись тектоническому сдавливанию и ко времени проявления щелочного магматизма оказались глубоко погребенными в поднадвиговых зонах этих структур, где и ныне могут находиться их реликты. **Щм** – среднепалеозойско-раннемезозойские, частично позднеогеновые, щелочные высококалиевые комплексы с максимумом на позднедевонско-раннекаменноугольном и раннемезозойском уровнях (D_3 – C_1 [PZ_{2-3}], MZ_1 , N_2). Сформированы в постколлизионные фазы среднепалеозойской и раннемезозойской активизации при вероятном участии процессов ассимиляции более древних поднадвиговых калиеносных солей. Характерна сближенность областей распространения ультракалиевых щелочных комплексов Северо-Байкальского региона и кембрийских калийных солей с крупнейшими месторождениями Непско-Ботуобинского района. Соотношение соленосности и магматизма этого времени сопоставимо с характерным для Итальянской провинции на время формирования неоген-четвертичных щелочных комплексов. **См** – локально развитые четвертичные соли (Q), сопряженные с восходящей разгрузкой рассолов, возможно связанной с остаточной соленосностью недр.

Южнотаймырско-Хатангско-Прианабарский регион. Сочетание покровно-складчатого и рифтогенного типов ЩСА. Прослеживаются четыре члена ЩСА. **Сд** – вероятные соленосные участники ще-

Таблица 1. Неогеодинамические соляно-щелочные объекты

Table 1. Neogeodynamic salt-alkaline objects

Соляно-щелочные суперпояса и пояса	Соляно-щелочные провинции ¹	Тектонический тип ²	Щм ³	Сд	См ⁴	Щд ³
Афро-Аравийский		Р				
Восточно-Африканский	Кенийская, Танганьикская, Эфиопская	Р	N-Q	T ₃ -J ₁	Q	PZ ₃ -MZ ₁
Красноморско-Левантский	Красноморско-Данакильская, Левантская, Суэцкая	Р	N-Q	T ₃ -J	N ₁ , N ₂ , Q	—
Рейнско-Ливийско-Нигерийский		Р				
Рейнско-Ливийский	<i>Верхнерейнская</i> , Ронская, Ливийская	Р	N-Q	T ₃ -J ₁	P ₂ ³ -N ₁ , N ₁	PZ ₃ -MZ ₁ ?
Чад-Нигерийский	Озера Чад, Бенуэ	Р	N-Q	K ₁	N ₁ , Q	PZ ₃ -MZ ₂
Восточно-Приатлантический		ПО				
Призападно-Африканский	<i>Северозападно-Африканская</i>	ПО	N-Q	T ₃ -J ₁	↑	PZ ₃ -MZ ₁
Призападно-Европейский	Западно-Британские, Бискайско-Аквитанский, Лузитанский	ПО	N-Q	T ₂ -J ₁	—	PZ ₃ -MZ ₁
Западно-Прииндийский		ПО				
Мозамбикско-Мадагаскарский	Мозамбикский, Марандова	ПО	N-Q	T-J	↑	PZ ₃ -MZ ₁
Альпийско-Гималайский		ПС, Р				
Западно-Средиземноморский	<i>Итальянская</i> , Северо-Пиренейская, Бетская, Рифская, Атласская, Динаридская	ПС, Р	N-Q	T ₃ -J ₁	N ₁	PZ ₃ -MZ ₁
Восточно-Средиземноморский	Анатолийская	ПС	N-Q	T ₃ -J?	N ₁	—
Альпийско-Карпатский	Карпатская, Трансильванская, Альпийская	ПС	N-Q	T ₃ -J?	N ₁	PZ ₃ -MZ ₁
Кавказский	Закавказская, Иранская	ПС	N-Q	V ₂ -C ₂ , T ₃ -J	P ₂ ³ -N ₁ , N ₂	—
Евразийский периколлизионный		ПС	N-Q	D, T	N-Q	D, PZ ₃ -MZ ₁

Примечание. ¹Полужирным курсивом выделены эталонные объекты. ²Тектонические типы провинций: Р – рифтогенный, ПО – пассивноокраинный, ПС – покровно-складчатый. ³Возраст щелочных комплексов, обобщенный по [Бородин, 1974]. ⁴Стрелкой показано наличие молодых покровообразных и других инъекционных соленосных тел, осложняющих “древние” соли. Прочерк – данные отсутствуют.

Note. ¹Bold type italics are the reference objects. ²Tectonic types of provinces: Р – rifting, ПО – passiv-fringing, ПС – the cover folded. ³Age of alkaline complexes, generalized in [Borodin, 1974]. ⁴An arrow shows presence of young cover-type and other injectable saline bodies, complicating the “ancient” salt. Dash – no data.

лочного магматизма: девонские и докембрийские (PR₁, R-V₁, V₂, D₁, D₂₋₃, C₁). Девонские соли ныне широко развиты в обрамлении областей размещения щелочных комплексов, а ранее, возможно, были распространены и непосредственно в этих областях. Их депоцентры связаны с рифтогенными структурами. Докембрийские соли установлены в нижне- и верхнепротерозойских структурах палеорифтогенного типа, в том числе в пределах складчато-метаморфических комплексов, где известны многочисленные реликтовые проявления и косвенные признаки солей и сульфатов и широко распространены высококонцентрированные рассолы. Соле-

носные комплексы всех уровней (а также рассолы) могли принимать участие в щелочном магматизме; основную роль, вероятно, играли докембрийские соли. Щм – позднепалеозойско-раннемезозойские щелочные комплексы (с максимумом на триасовых уровнях), частично позднедевонско-раннекаменноугольные (D₃-C₁, T [PZ₃-MZ₁]). Соотношение соленосности и щелочного магматизма отвечает сочетанию черт Итальянского и Верхнерейнского эталонов. См – локально развитые четвертичные соли, сопряженные с диапирами, осложняющими девонские соли. Щд – средне(поздне-)рифейские щелочные комплексы (R₂₋₃).

Таблица 2. Примеры регионов вероятного распространения палеозойско-мезозойских (палеогеодинамических) соляно-щелочных объектов¹

Table 2. Examples of regions of probable distribution of Paleozoic-Mesozoic (paleogeodynamic) salt-alkaline objects¹

Регион	Тектонический тип ²	ЩМ ³	Сд	См	Щд
Южнотаймырско-Хатангско-Прианабарский	ПС+Р	T [PZ ₃ -MZ ₁]	PR ₁ , R-V ₁ , V ₂ , D ₁ , D ₂₋₃ , C ₁	Q	R ₂₋₃
Северо-Байкальский	ПС	D₃-C₁ [PZ ₂₋₃], MZ₁ , N ₂	R?, V ₂ - C₂	Q	—
Варангери-Тимано-Мезенский	ПС	D₃ , P ₁ ?	R ₃ , V ₂ - C?	D ₃ , P ₁	V, V-C
Северотаймырско-Североземельский	ПС	J	O ₁₋₃ , S ₂ , D ₁ , D ₂	—	—
Тянь-Шанский	ПС	P₂-T₁ [PZ ₂ -MZ ₁]	D ₁ , D ₂₋₃ , D₃-C₁ , C ₁₋₂	P ₁ , K ₁ , K ₂ -P ₂ , N ₁ , Q	—
Уральский	ПС	S ₁ , D ₃ , P ₁ , C ₂ -T	R-V, O ₃ -S ₁	D₂₋₃ , C ₂ -P ₁ , P ₁	V-C, R ₃
Алтае-Саянский	ПС	D₁₋₂ [PZ ₂₋₃]	PR ₁ ?	D₂₋₃ , Q	—
Восточно-Саянский	ПС	D [PZ ₂], N ₂	V ₂ - C₂	—	R-V, V
Кольский	ПС	D₃ [PZ ₂₋₃]	PR ₁ ?	D ₃ ? [PZ?]	V?
Алдано-Становой	ПС	J₃-K₁ [PZ ₂₋₃ -MZ]	PR ₁	—	V?
Северо-Аппалачский	ПС	T-J [MZ]	R-V, C, O, C ₁	T-J	—
Кордильерский	ПС	MZ₂-P , Q	R, C, C ₂ , P	J ₃ , P ₂ , P ₃ -Q	—
Енисейско-Чадобецкий	Р	T₁	R? V ₂ - C₂ , C ₂ -O ₁	—	V-C ₁
Фицрой-Кимберли	Р, ПС	K₁ [MZ]	PR ₁ , R, O ₃ - D₁	—	PZ ₁ ?
Украинско-Днепровско-Воронежский	Р	D ₁₋₂ , D₂₋₃ , P ₁	R? R-V?	D₂₋₃ , P ₁ , J ₃ , P ₃	—

Примечание. ¹Полужирным шрифтом выделены индексы, отвечающие основным возрастным интервалам современного распространения соленосных и щелочных комплексов, в квадратных скобках – общие интервалы их распространения. Прочерк – данные отсутствуют. ²Тектонические типы: ПС – покровно-складчатый, Р – рифтогенный. ³Возраст щелочных комплексов, обобщенный по [Бородин, 1974; Щелочные породы, 1976; Карта... 1995; Alkaline rocks..., 1995; Покровский, 2000; и др.].

Note. ¹Bold type indexes basic intervals of the modern distribution of saline and alkaline complexes; in square brackets – the common intervals of their distribution. Dash – no data. ²Tectonic types: ПС – the cover folded, Р – rifting. ³Age of alkaline complexes, generalized in [Borodin, 1974; Alkaline rocks, 1976; Map..., 1995; Alkaline rocks..., 1995; Pokrovskii, 2000; et al.].

Тянь-Шанский регион. Покровно-складчатый тип ЩСА. Прослеживаются три члена ЩСА. Предполагаемые соленосные участники щелочного магматизма (Сд) – погребенные палеозойские соленосные отложения (D₁, D₂₋₃, D₃-C₁, C₁₋₂). Ныне фрагменты солей и сульфатов доступны наблюдению лишь в близповерхностных зонах в пределах горных областей, куда выведены в ходе постплатформенной активизации. Они распространены в разрезах надвиговых тектонических покровов в обрамлениях межгорных впадин (Ферганской, Нарынской и др.) и могут предполагаться в составе глубоко погребенных поднадвиговых областей Северного, Среднего и, возможно, Южного Тянь-Шаня. В основных чертах такая палеоситуация была сформирована к концу герцинских коллизионных процессов, ко времени проявления щелочного магматизма; масштабы палеозойской соленосности были, по-видимому, более значительными. **ЩМ** – позднепалеозойско-раннемезозойские (молодые) щелочные комплексы с максимумом на позднепермско-триасовом уровне (P₂-T [PZ₃-MZ₁]). Сформированы в ходе позднегерцинских фаз коллизионных и постколлизионных процессов при вероятном участии процессов ассимиляции палеозойских солей. Соотношение соленосности и маг-

матизма этого времени также близко Итальянскому эталону. **См** – молодые соле- и сульфатоносные отложения (P₁, K₂-P₂, N₁, Q). Часть из них (P₁), по возрасту близкая щелочному магматизму, связана с коллизионными процессами, другая часть (K₂-P₂, N₁, Q) – с процессами постплатформенной (постмагматической) тектонической активизации.

В регионах распространения **докембрийских** щелочных комплексов (докембрийских ЩСА) максимум затруднений обычно вызывает вопрос о еще более древней соленосности субстрата этих областей. Вопрос о докембрийских солях применительно к обсуждаемой проблеме освещался в статье [Беленицкая, 2017]. Проявления и признаки верхнедокембрийских солей установлены во многих регионах мира. Весьма значительной была, судя по имеющимся данным, и раннедокембрийская соленосность, особенно раннепротерозойская. Ее признаки ныне чаще отмечаются в палеорифтогенных геоструктурах и их тектонических производных на щитах и массивах и в их обрамлениях, в частности на Балтийском (в Онежской, Имандра-Варзугской, Печенгской, Кайнуу и других структурах), на Воронежском (в Белгородской, Тим-Ястребовской), на Алдано-Становом (в Удоканской, Муйской и др.), а также на разных участках Украинского, Анабарско-

го, Канадского щитов. (Обзор данных для территории России приведен в работе [Рифовые..., 2015].)

Все это дает основание предполагать возможность сопряженности щелочных комплексов (как докембрийских, так и фанерозойских) с докембрийскими солями. Возрастной разрыв между щелочными и соляными комплексами, по-видимому, может быть любым. В целом для докембрийских щелочных пород вопрос пока остается открытым, хотя присутствие в регионах их распространения проявлений и косвенных признаков еще более древней соленосности, часто в сочетании с молодыми солями и рассолами, позволяет все же предполагать участие солей и в докембрийском щелочном магматизме.

Для фанерозойского магматизма связь с докембрийскими солями может предполагаться более уверенно. Проявления и признаки докембрийских (в том числе нижнедокембрийских) солей известны во многих регионах его распространения, где, как правило, приурочены к древним покровно-складчатым и палеорифтогенным геоструктурам. К таким регионам с многочисленными признаками позднедокембрийской соленосности можно отнести геоструктуры: Тимано-Варангерскую, Уджинскую (Оленекскую), Дамарскую, Катангскую, Западно-Конголезскую, Мозамбикскую и др. Многочисленны также проявления фанерозойского щелочного магматизма в перечисленных выше регионах с признаками нижнедокембрийских солей. Возможно, избирательная связь многих ультращелочных магматических комплексов с раннепротерозойскими подвижными поясами или секущими их структурами [Фролов и др., 2003] определяется именно масштабной исходной соленосностью нижнепротерозойских отложений.

Обратим внимание, в частности, на два региона, широко известные своими масштабными щелочными комплексами, но весьма слабо охарактеризованные как соленосные. Это **Имандра-Варзугский** (на **Кольском** полуострове) и **Удоканский** (в **Алдано-Становом** районе). Привлечение большого объема литолого-палеогеографических и палеогеодинамических данных подтверждает вероятность весьма высокой исходной соленосности нижнепротерозойских отложений имандра-варзугской серии Кольского полуострова и позволяет предполагать участие этих солей в формировании средне- и позднепалеозойских (D_3 [PZ₂₋₃]) ультращелочных массивов Хибинско-Ловозерского комплекса. (Различные признаки свидетельствуют также о вероятном былом наличии здесь более молодых (D_3 ? [PZ?]) соляных диапировых (?) тел – тектонокинематических производных протерозойских солей.) Близкая картина соляно-щелочных взаимосвязей вероятна и для Алдано-Станового региона, где прослеживается пространственная близость многочисленных щелочных и ультращелочных палеозойско-мезозойских комплексов (J_3 - K_1 [PZ₂₋₃-

MZ]) с нижнепротерозойской удоканской соленосной серией (PR₁). Все эти положения требуют специального разностороннего обоснования, однако многие факты свидетельствуют в пользу их справедливости.

Таким образом, наиболее уверенно аналоги эталонных ЩСА устанавливаются в неогеодинамических щелочных провинциях, где молодые щелочные комплексы ассоциируют с более древними солями в геоструктурах всех трех тектонических типов. В мезозойских, палеозойских и докембрийских (палеогеодинамических) щелочных провинциях сонахождения щелочных комплексов с более древними, чем они, солями выявляются менее уверенно (особенно с докембрийскими). Во всех случаях весьма важную индикаторную роль могут выполнять другие члены ЩСА (молодые соляные комплексы, а также более древние щелочные) и сопоставление их соотношений с эталонными объектами. Большое информационное значение в восстановлении былой соленосности следует отводить палеогеографическим и палеотектоническим реконструкциям. Среди палеогеодинамических ЩСА наиболее распространены представители покровно-складчатого типа (подобные Итальянскому эталону) и в меньшей мере рифтогенного (подобные Верхнерейнскому); нередко их сочетания. ЩСА пассивных окраин, как и многие рифтогенные, в ходе последующих аккреционно-коллизийных процессов вошли в состав покровно-складчатых и складчато-метаморфических областей и могут быть опознаны с трудом.

В регионах, где щелочные разновидности магматизма известны пока лишь в отдельных проявлениях, наличие значимой соленосности субстрата дает основание предполагать вероятность обнаружения более масштабных щелочных комплексов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

Геологическая модель строения ЩСА

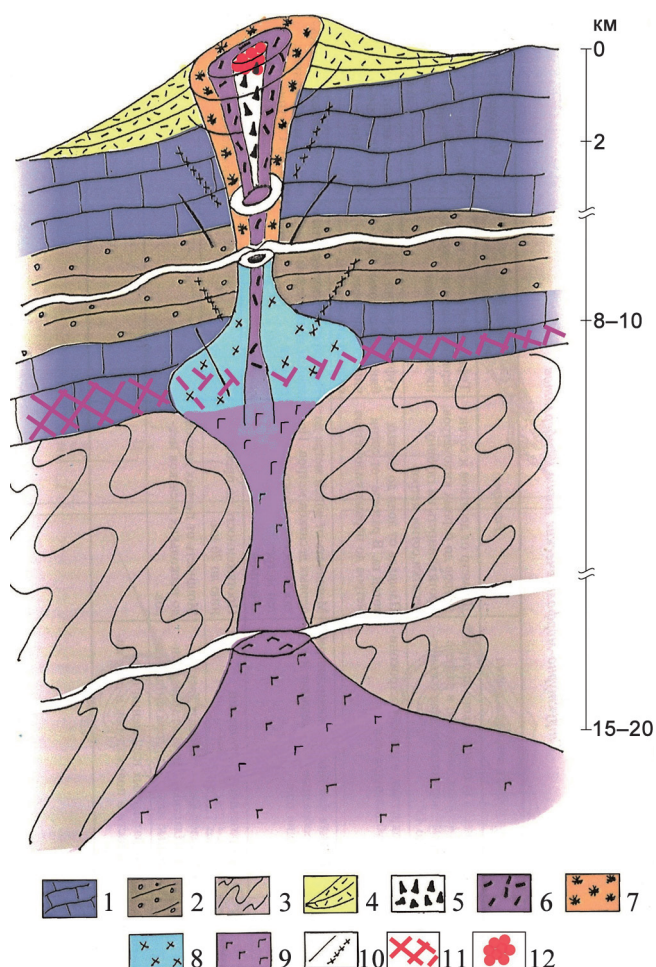
Разносторонний региональный и глобальный анализ размещения и пространственно-временных соотношений между щелочными магматическими и соленосными комплексами показал, что нахождение соленосных (карбонатно-сульфатно-соляных) пород в глубоких зонах земной коры (в составе покровно-складчатых, метаморфических и осадочных комплексов) на путях восходящего движения потоков глубинных магм, связанных с тектономагматической активизацией, представляет собой достаточно распространенное и геологически закономерное явление. Участки их пересечения благоприятны для формирования промежуточных внутрикоровых магматических очагов – областей развития щелочных комплексов. Подтверждением этого являются данные томографии, фиксирующие на-

В рассматриваемой модели основными звеньями можно считать восходящие горячие мантийные аллюмоосиликатные магмы и погребенные соленосные комплексы, находящиеся на путях их следования на глубоких (от 2–4 до 8–10 км и более) уровнях коры. По тектоническим, литологическим и химическим показателям эти уровни благоприятны для возникновения промежуточных камер – центров локализации процессов ассимиляции с образованием расплавных смесей, контаминированных щелочными металлами и летучими компонентами (заимствованными из соленосных комплексов), и генерации в итоге *in situ* щелочных магм, а вокруг них и над ними ареалов щелочных метасоматитов. Таким образом, главными участниками вза-

Изложенные представления в целом не противоречат существующим геологическим моделям строения щелочных (щелочно-карбонатитовых) вулканоплутонических ассоциаций, разработанным и интерпретированным с иных позиций [Бородин, 1994; Фролов и др., 2003; Карбонатиты и кимберлиты..., 2005; и др.] (рис. 7). Согласно этим моделям, щелочные породы в пределах восходящих магматических колонн резко сменяют ультрамафиты. Такую резкую смену типа магматических пород авторы обычно целиком связывают с изменениями на глубинах размещения промежуточных камер тектонических, термобарических и флюидодинамических условий. Рассмотренные результаты выполненного нами геологического анализа показали, что примерно на этих глубинах в разрезах, пересекаемых магматическими колоннами, вероятно нахождение соленосных горизонтов. Совпаде-

1–2 – породы платформенного чехла: 1 – карбонатные, 2 – терригенные; 3 – кристаллические породы (фундамент платформы); 4 – вулканогенные образования конуса; 5 – карбонаты; 6–7 – комплекс щелочных пород верхнего яруса: 6 – сиениты, 7 – фonoлиты и их брекчии; 8 – фойдолиты среднего яруса (породы ийолит-мельтейгитовой серии); 9 – ультрамафитовая интрузия нижнего яруса; 10 – дайковая фация щелочных пород и карбонатов; 11 – уровни соленосности, благоприятные для формирования промежуточных магматических очагов и взаимодействия солей с магмой; 12 – мощные “флюидогенные коры выветривания”, связанные с активной разгрузкой в зону гипергенеза магматогенных флюидов, обогащенных летучими компонентами.

1–2 – platform cover rocks: 1 – carbonate, 2 – terrigenous; 3 – crystalline rocks (platform basement); 4 – volcanic rocks assemblages of the cone; 5 – carbonatite; 6–7 – alkaline rock assemblage of the upper stage: 6 – syenite, 7 – phonolite and its breccias; 8 – foidolite of the intermediate stage (ijolite-melteigte rocks); 9 – ultramafic intrusion of the lower stage; 10 – dike facies of alkaline rock and carbonatite; 11 – levels of salts content, favorable for the formation of intermediate magma chamber and interaction magma with salts; 12 – powerful “fluid weathering crusts” associated with active unloading into the hypergenesis zone of magmatogenic fluids enriched in volatile components.



ние глубин их размещения с уровнями соленосности может служить подтверждением правомерности включения литологического фактора в число важных причин наблюдаемых резких изменений в характере магматизма.

Показательны результаты экспериментальных исследований процессов взаимодействия высокотемпературных алюмосиликатных расплавов с солевыми системами NaCl и KCl. Пока, к сожалению, изучаются преимущественно лишь растворы солей очень слабой концентрации, сведения же о взаимодействиях с высококонцентрированными рассолами и природными солями весьма немногочисленны. Однако уже имеющиеся экспериментальные данные во многих аспектах подтверждают рассмотренную геологическую модель. Эти данные мы обсудим в следующей статье.

Все сказанное позволяет оценивать пересекаемые магмой уровни соленосности в качестве участков, наиболее благоприятных для формирования коровых очагов соляно-магматических взаимодействий, соляные (и соляно-карбонатные) породы – как возможные активные участники этих взаимодействий, а их ассимиляцию внедряющейся горячей магмой и химическое взаимодействие в объемах формирующихся промежуточных камер – как ведущие геологические процессы, способствующие возникновению магм щелочной (а в случае калийных солей – щелочно-калиевой) специализации.

Обсуждая вопрос участия солей в щелочном магматизме, следует подчеркнуть ряд положений, касающихся оценки вероятной роли солей разного пространственного, стратиграфического и гипсометрического положения. Во-первых, часто наблюдаемая относительная удаленность установленных границ современного распространения солей от выходов щелочных комплексов (на расстояние 200–300 км, возможно, больше) вовсе не означает отсутствия солей в зонах проявления магматизма во время его осуществления (а нередко и в настоящее время). Известно, что соленосные бассейны исходно (до тектонической трансформации) занимают обширные площади в пределах большей части контролирующих их палеоструктур и имеют протяженность многие сотни (порой тысячи) км. Совместные палеогеографические и палеотектонические реконструкции позволяют восстановить исходные границы соленосных бассейнов, а анализ их палеогеодинамической эволюции дает возможность определить характер распространения солей на время проявления магматизма, включая их нахождение в ныне глубоко погребенных поднадвиговых условиях покровно-складчатых и складчато-метаморфических областей и в глубоких зонах палеорифтогенных структур. Именно такого рода реконструкции послужили основанием для выделения приведенных выше примеров разновозрастных щелочно-соляных провинций.

Во-вторых, во многих регионах, в том числе в эталонных, весьма вероятно наличие глубоко в субстрате (помимо рассмотренных) солей еще более древних, либо глубоко погребенных *in situ*, либо/и тектонически “затащенных” на эти глубины. Эти соли не только тоже могли быть участниками щелочного магматизма (в том числе и более древнего), но даже находились в более благоприятных для этого условиях. Так что во многих случаях именно им могла принадлежать основная роль в росте щелочности магм. Соли же более молодые, располагающиеся на более высоких гипсометрических уровнях, могли в этих случаях оказывать дополнительное влияние на уже измененный состав магм и флюидов. К сожалению, фактор “плохой сохранности” и глубокого нахождения еще более древних солей делает расшифровку их участия еще более сложной.

В-третьих, в любом случае мы считаем значимым участие в магматизме солей лишь древних, глубоко погребенных в субстрате. Только они и могли активно взаимодействовать с горячей магмой и служить основной причиной роста ее щелочности. У солей же, залегающих неглубоко, вероятность масштабного взаимодействия с магмой небольшая из-за неблагоприятных термобарических условий. (Некоторые, хотя и редкие, исключения имеют преимущественно локальный характер.) Это важно учитывать, поскольку в ряде случаев при анализе регионального материала встает вопрос об участии в магматических процессах солей, развитых в близповерхностных условиях. Эти соли часто сами являются производными древних солей и могут служить важным индикаторами распространения последних на глубине (былого, а порой и нынешнего остаточного) и одновременно косвенными показателями вероятного участия древних солей в щелочном магматизме.

Изложенные данные подтверждают правомерность оценки процессов взаимодействия восходящих мантийных магм с глубоко погребенными в субстрате более древними (чем магмы) соляными (соляно-карбонатными) комплексами в качестве вероятного фактора, способного отвечать, хотя бы частично, за рост щелочной специализации магм, т. е. оценивать их как возможный важный и активный участник онтогенеза щелочных (часто – щелочно-карбонатных) комплексов. Таким образом, совокупность данных позволяет дать положительную оценку вероятности участия солей в щелочном магматизме и принять изложенные представления в качестве рабочего варианта геологической модели образования щелочных магм.

Признаки реализации модели

В качестве признаков, которые способны прямо или косвенно подтверждать связь щелочных комплексов с процессами взаимодействия магматических расплавов с соляными (соляно-карбонатными)

отложениями и служить доводами в пользу реализации предлагаемой модели, могут выступать, с одной стороны, факты, послужившие предпосылками для совместного рассмотрения соляных и щелочных магматических пород, с другой – различные конкретные следствия-признаки взаимодействий компонентов солей и магм. Напомним, что в качестве главных предпосылок предпринятого анализа мы считаем сходство наборов “фойдафильных” и галофильных компонентов, а также устойчивое пространственное сонахождение щелочных магматических комплексов с соленосными и закономерное соотношение между ними во времени. Эти же факторы могут служить свидетельствами вероятности реализации модели.

Теперь подытожим конкретные признаки взаимодействий компонентов солей с магмой, используя данные обобщающих работ и региональных исследований [Карбонатиты, 1969; Главнейшие провинции..., 1974; Щелочные породы..., 1976; Когарко, 1977; Лазаренков, 1988; Фор, 1989; Покровский, 2000; Карбонатиты и кимберлиты..., 2005; Мазарович, 2006; Цыпукова, Владыкин, 2008; Aіurpa et al., 2009; Беленицкая, 2017; и др.].

Вещественные признаки многочисленны. Наиболее характерны следующие.

– Частая значительная *обогащенность* многих разновидностей щелочных пород главными компонентами породообразующих алюмосиликатных минералов соленосных пород: как катионами – Na, K, так и анионами – хлором (до 1.2–1.5%, порой более), сульфат-ионом (до 3.0%), карбонат-ионом (до 5.4% и более). Показательно, что и те, и другие максимально локализуются в типоморфных минералах щелочных пород, чаще всего в фельдшпатоидах. Первые – в породообразующих (нефелин, лейцит), вторые – в обогащенных ими специфических минералах (содалите, гаюине, канкрините и др.), которые на отдельных участках также приобретают породообразующее значение.

– Чрезвычайное *многообразие* минералов и пород щелочных комплексов, “сверх нормы” обогащенных галофильными компонентами и микрокомпонентами. В результате щелочные породы лидируют по количеству и многообразию разновидностей пород и минералов, большинство из которых отсутствует в других типах магматических пород. Особенно большое разнообразие минеральных видов, в том числе очень редких и даже уникальных, присуще наиболее щелочным агпаитовым разновидностям.

– Близость *пространственного нахождения калиевых* и ультракалиевых щелочных комплексов с калиеносными разновидностями соляных толщ (древними и молодыми); нередкая обогащенность тех и других Br, Rb, Cs.

– Наличие в магматических комплексах ксенолитов доломитов – обычных спутников солей.

– Присутствие в составе *флюидных и твердых включений* в минералах щелочных пород натрия, калия, хлора, микрокомпонентов, летучих, нередко кристаллов галита, сильвина, иногда других солевых минералов. Присутствие хлора, иногда брома в вулканических газах щелочных вулканов дало основание говорить о сопряженной с ними “гало-генной дегазации”, по [Aіurpa et al., 2009].

– Кристаллизация солей и самородной серы из *выбросов действующих вулканов* и в их кратерах, инкрустация их стенок солями, в том числе калийными, и серой.

– Наблюдаемые *изотопные показатели C, O, Sr* щелочных пород и характер их вариаций, в том числе значительная изотопная гетерогенность, частые отклонения значений Sr от мантийных меток, нередкое их совпадение с типичными для соляно-карбонатных комплексов – все эти данные не противоречат вероятности ассимиляции соленосных толщ.

Структурно-текстурные и пространственно-морфологические признаки. “Аномальные” структурно-текстурные показатели, особенно характерные для наиболее богатых щелочами агпаитовых разновидностей с необычной (агпаитовой) последовательностью кристаллизации минералов, могут быть одними из важных следствий и отражений пересыщенности среды щелочными металлами и летучими.

Сходство пространственно-морфологических особенностей, размеров и границ щелочных массивов с таковыми, свойственными для соляно-тектонических тел, наиболее отчетливо проявляются у трубообразных тел щелочных пород, подобных соляным диапирам. Хотя этот показатель не может служить уверенным признаком их “родства”, поскольку такая форма является довольно характерной чертой и других восходящих масс, однако все же его стоит иметь в виду, особенно учитывая, что она весьма свойственна для щелочных тел агпаитового ряда, аномально пересыщенных щелочами и летучими [Когарко, 1977]. Показательна в этом отношении нередкая неоднозначность интерпретации природы выявленных геофизическими методами диапироподобных, а также силло-, жило- и дайкообразных тел (о-ва Зеленого Мыса, Хатангский прогиб, Хибин, Припятский прогиб). Некоторые из них могут иметь соляную или смешанную (соляно-магматическую) природу.

Характер проявления и соотношения различных признаков. Неоднократно отмечавшаяся гетерогенность состава и структуры щелочных пород, контрастность, дискретность и частота изменений многих их вещественных показателей (от породных до изотопных) наблюдаются в щелочных массивах даже на ограниченных площадях. При этом показательна согласованность возникновения многих резких изменений особенностей состава и стро-

ения. Все эти черты могут быть отражением (и индикатором) вариаций состава ассимилируемых соленосных пород и неравномерного характера распределения захваченных включений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Охарактеризованы эталонные щелочно-соляные провинции трех основных тектонических типов – Итальянская (покровно-складчатый тип), Верхнерейнская (рифтогенный) и Северозападно-Африканская (пассивноокраинный). Приведены их наиболее значимые структурно-литологические особенности и восстановлена картина пространственно-временных соотношений щелочных магматических комплексов с солями, находящимися во время их формирования в субстрате, а также с “молодыми” соляными толщами предполагаемой регенерационной природы, субсинхронными магматизму.

Аналоги эталонных объектов наиболее уверенно устанавливаются среди неогеодинимических щелочных провинций, где молодым щелочным комплексам сопутствуют более древние соли в геоструктурах всех трех тектонических типов. В палеогеодинимических провинциях сонахождения щелочных комплексов с более древними, чем они, солями выявляются менее уверенно (особенно в докембрийских) из-за ограниченной сохранности солей. При выделении и анализе щелочно-соляных провинций эффективно комплексное рассмотрение ЩСА в целом, с учетом всех членов, и их сопоставление с показателями эталонных объектов. Весьма важную (порой определяющую) роль могут играть региональные палеогеографические и палеотектонические реконструкции с целью восстановления исходных границ распространения соленосных комплексов и характера их размещения на время проявления щелочного магматизма.

Сравнительный анализ глобального и регионального материала показал, что нахождение соленосных пород на путях восходящего движения глубинных магм, связанных с тектоно-магматической активизацией, представляет собой достаточно распространенное и геологически закономерное явление. Уровни соленосности благоприятны для инъекционного внедрения горячих алюмосиликатных магм и образования промежуточных камер – центров (очагов) их взаимодействия с компонентами соленосных (соляно-карбонатных) комплексов. Заключенные в этих комплексах локализованные концентрации щелочных и летучих компонентов способствуют образованию резко обогащенных (пересыщенных) ими расплавных смесей, что ведет к формированию высокощелочных магм.

Критерием применимости модели к регионам современной или былой тектоно-магматической активизации является соленосность их разрезов. Главные ее проявления: наличие в глубоких частях

разрезов древних (домагматических) погребенных солей (ныне часто лишь их реликтов), а также молодых солей регенерационной природы, субсинхронных магматизму. Щелочные комплексы и “молодые” соли представляют собой две линии производных древних солей – “горячую” магматогенную и “холодную” инъекционно-осадочную. Они имеют общие корни (погребенные более древние соли) и единый регулятор (тектоно-магматическую активность недр).

Подтверждением реализации модели могут служить конкретные вещественные, структурно-морфологические и пространственные признаки щелочных магматических пород, отражающие участие компонентов соленосных комплексов в их образовании.

Таким образом, совокупность геологических данных позволяет дать положительную оценку вероятности участия погребенных в субстрате солей в щелочном магматизме и принять изложенные представления в качестве геологической модели образования щелочных магм.

Обсуждение генетических аспектов модели с рассмотрением вероятной роли различных галофильных компонентов соленосных комплексов в формировании щелочной специализации магм, а также сравнительный анализ различных геолого-генетических моделей щелочного петрогенеза составят основные задачи следующей статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации и Российского Фонда фундаментальных исследований (проекты 07-05-00907-а, 10-05-00555-а, 12-05-00513-Д-с, 16-15-20048-Д-с).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беленицкая Г.А. (1998) Галогенсодержащие бассейны. *Литогеодинамика и минерализация осадочных бассейнов* (Под ред. А.Д. Щеглова). СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 220-320.
- Беленицкая Г.А. (2016) Соляная тектоника на окраинах молодых океанов. *Геотектоника*, (3), 26-41.
- Беленицкая Г.А. (2017) Соли в земной коре: распространение и кинематическая история. *Литосфера*, **17**(3), 5-28.
- Беленицкая Г.А. (2018) Об участии природных солей в щелочном магматизме. Ст. 1. Природные соляно-щелочные ассоциации. *Литосфера*, **18**(2), 153-176. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-153-176.
- Богатиков О.А., Кононова В.А. (1999) Магматическое “окно” в глубины Земли. *Природа*, (5), 17-24.
- Бородин Л.С. (1994) Генетические типы и геохимические особенности мантийно-коровых карбонатитовых формаций. *Геохимия*, (12), 1683-1692.
- Высоцкий Э.А., Гарецкий Р.Г., Кислик В.З. (1988) Калиеносные бассейны мира. Минск: Наука и техника, 387 с.

- Главнейшие провинции и формации щелочных пород (1974) (Отв. ред. Л.С. Бородин). М.: Наука, 376 с.
- Карбонатиты. (1969) (Под ред. О. Таттла и Дж. Гиттинса). М.: Мир, 487 с.
- Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерогения, прогноз) (А.А. Фролов, А.В. Лапин, А.В. Толстов, Н.Н. Зинчук, С.В. Белов, А.А. Бурмистров). (2005) М.: НИИ-Природа, 540 с.
- Карта размещения и минерогенической специализации щелочных магматических комплексов России. Масштаб 1 : 10 000 000. (1995) (Ред. М.П. Орлова, В.И. Краснов). СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ.
- Ковальская Т.Н. (2003) Происхождение высококальциевых вулканитов Везувия (Италия). Автореф. ... дисс. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 29 с.
- Когарко Л.Н. (1977) Проблемы генезиса агпайтовых магм. М.: Наука, 294 с.
- Когарко Л.Н., Асавин А.М. (2009) Калиевый магматизм Мирового океана (на примере Атлантики). *Геохимия*, (9), 899-909.
- Лазаренков В.Г. (1988) Формационный анализ щелочных пород континентов и океанов. Л.: Недра, 236 с.
- Мазарович А.О. (2006) Строение дна Мирового океана и окраинных морей России. М.: ГЕОС, 192 с.
- Мазарович А.О., Фрих-Хар Д.И., Когарко Л.Н., Копорулин В.И., Рихтер А.В., Ахметьев М.А., Золотарев Б.П. (1990) Тектоника и магматизм островов Зеленого мыса. М.: Наука, 246 с.
- Милановский Е.Е. (1983) Рифтогенез в истории Земли. Рифтогенез на древних платформах. М.: Недра, 280 с.
- Покровский Б.Г. (2000) Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. М.: Наука, 225 с.
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Гилем, 146 с.
- Пучков В.Н. (2005) Везувий и другие. Самиздат. http://samlib.ru/p/puchkow_w_n/vezuviyokrestnosti.shtml (accessed 12.12.2015).
- Ритманн А. (1964) Вулканы и их деятельность. М.: Мир, 438 с.
- Рифовые, соленосные и черносланцевые формации России (2015) (Отв. ред. Г.А. Беленицкая, О.В. Петров, Н.Н. Соболев). СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 624 с.
- Тектоническая карта Средиземного моря. Масштаб 1 : 5 000 000 (Н.А. Богданов, В.Е. Хаин, В.Д. Чехович, Н.В. Короновский, М.Г. Ломизе и др.) (1994) М.: ВИЭМС.
- Фор Г. (1989) Основы изотопной геологии. М.: Мир, 590 с.
- Фролов А.А., Толстов А.В., Белов С.В. (2003) Карбонатитовые месторождения России. М.: НИИ-Природа, 494 с.
- Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Т. 2. Внеальпийская Европа и Западная Азия. (1977) 359 с. Т. 4. Альпийский Средиземноморский пояс. (1984) 344 с. М.: Недра.
- Цыпукова С.С., Владыкин Н.В. (2008) Петрогеохимические особенности щелочного вулканогенного карбонатитового комплекса Кайзерштуль. Школа "Щелочной магматизм Земли". <http://geo.web.ru/conf/alkaline/2008/Tsyapunova.htm>
- Щелочные породы. (1976) (Под ред. Х. Серенсена). М.: Мир, 400 с.
- Юнов А.Ю. (1980) Строение, развитие и перспективы нефтегазоносности подводных окраин Западной Африки и Восточной Азии. *Тектоника Сибири*. Т. IX. М.: Наука, 127-139.
- Ямпольский М. (2000) Везувий. М.: Наблюдатель, 95-110.
- Aiuppa A., Baker D.R., Webster J. (Ed. Guest) (2009) Halogenes in Volcanic Systems and Their Environmental Impacts. Special Issue. *Chem. Geol.*, **263**(1-4), 163 p.
- Alagna K.E., Peccerillo A., Martin Silvana, Donati C. (2010) Tertiary To Present Evolution Of Orogenic Magmatism In Italy. *J. Virt. Explor.*, **36**(18). doi: 10.3809/jvirtex.2010.00233
- Alkaline Rocks and Carbonatites of the World. Pt 1: North and South America. (1987) A.R. Woolley. London: Hardcover, 216 p. Pt 2: Former USSR (1995). L.N. Kogarko, V.A. Kononova, M.P. Orlova, A.R. Woolley. London: Chapman & Hall, 226 p. Pt 3: Africa. (2001) A.R. Woolley. London: Hardback, 372 p.
- Busson G. (1982) Le Trias comme periode salifere. *Geologische Rundschau*, **71**(3), 857-880.
- Chelazzi L., Bindi L., Olmi F., Menchetti S., Peccerillo A., Conticelli S. (2006) A lamproitic component in the high-K calc-alkaline volcanic rocks of the Capraia Island, Tuscan Magmatic Province: evidence from clinopyroxene crystal chemical data. *Per. Miner.*, **75**(2-3), 75-94.
- Cramez C. (2014) Salt Tectonics. Short Course. Universidade Fernando Pessoa Porto, Portugal. <http://homepage.ufp.pt/biblioteca/SaltTectonicsNovo.htm>
- Peccerillo A., Martinotti G. (2006) The Western Mediterranean lamproitic magmatism: origin and geodynamic significance. *Terra Nova*, (18), 109-117.
- Rouchy J.-M. (1982) La Genese des Evaporites Messiniennes de Mediterranee. Paris: Editions du Museum national d'Histoire naturelle, 267 p.
- Ziegler P.A., Horvath F. (Eds.) (1996) Peri-Tethys Memoir 2: Structure and Prospects of Alpine Basins and Forelands. Mem. Mus. nation. Hist. nat. Paris, **170**, 511.

REFERENCES

- Aiuppa A., Baker D.R., Webster J. (2009) (Ed. Guest). Halogenes in Volcanic Systems and Their Environmental Impacts. Spec. Iss. *Chem. Geol.*, **263**(1-4), 163 p.
- Alagna K.E., Peccerillo A., Martin Silvana, Donati C. (2010) Tertiary to Present evolution of orogenic magmatism in Italy. *J. Virtual Explorer*, **36**(18). doi: 10.3809/jvirtex.2010.00233.
- Alkaline Rocks and Carbonatites of the World. Part 1: North and South America. (1987) A.R. Woolley. London, Hardcover, 216 p. Part 2: Former USSR. (1995) L.N. Kogarko, V.A. Kononova, M.P. Orlova, A.R. Woolley. London Chapman & Hall, 226 p. Part 3: Africa. (2001) A.R. Woolley. London, Hardback, 372 p.
- Belenitskaya G.A. (1998) Halogen-bearing basins. *Litogeodinamika i minerogeniya osadochnykh basseinov* [Lithogeodynamics and minerogenetic of sedimentary basins] (Ed. A.D. Shcheglov). St.Petersburg, VSEGEI Publ., 220-320. (In Russian)
- Belenitskaya G.A. (2016) Salt Tectonics at the Margins of Young Oceans. *Geotectonics*, **50**(3), 244-256.
- Belenitskaya G.A. (2017) Salt in the Earth's crust: distribution and kinematic history. *Litosfera*, **17**(3), 5-28. (In Russian)
- Belenitskaya G.A. (2018) On the participation of natural

- salts in alkaline magmatism. Article 1. Natural salt-alkaline associations. *Litosfera*, **18**(2), 153-176. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-153-176.
- Belenitskaya G.A., Petrov O.V., Sobolev N.N. (Otv. Red) (2015) *Rifovye, solenosnye i chernoslantsevye formatsii Rossii* [Reef, saliferous and black shale formations of Russia]. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 624 p. (In Russian)
- Bogatikov O.A., Kononova V.A. (1999) Magmatic "window" to the Earth's depths. *Priroda* (5), 17-24. (In Russian)
- Borodin L.S. (1994) Genetic types and geochemical features of mantle-crust carbonatite formations. *Geokhimiya* (12), 1683-1692. (In Russian)
- Busson G. (1982) Le Trias comme periode salifere. *Geologische Rundschau*, **71**(3), 857-880.
- Chelazzi L., Bindi L., Olmi F., Menchetti S., Peccerillo A., Conticelli S. (2006) A lamproitic component in the high-K calc-alkaline volcanic rocks of the Capraia Island, Tuscan Magmatic Province: evidence from clinopyroxene crystal chemical data. *Per. Mineral*, **75**(2-3), 75-94.
- Cramez Carlos (2014) Salt Tectonics. Short Course. Universidade Fernando Pessoa Porto, Portugal. <http://homepage.ufp.pt/biblioteca/SaltTectonicsNovo.htm>
- For G. (1989) *Osnovy izotopnoi geologii* [Principles of isotope geology]. Moscow, Mir Publ., 590 p. (In Russian)
- Frolov A.A., Tolstov A.V., Belov S.V. (2003) *Karbonatitovye mestorozhdeniya Rossii* [Carbonatite deposits of Russia]. Moscow, NIA-Priroda Publ., 494 p. (In Russian)
- Glavneishie provintsii i formatsii shchelochnykh porod* [Major provinces and formations of alkaline rocks]. (1974) (Chief ed. L.S. Borodin). Moscow, Nauka Publ., 376 p. (In Russian)
- Hain V.E. *Regional'naya geotektonika* [Regional geotectonics]. Vol. 2. (1977) *Vneal'piiskaya Evropa i Zapadnaya Aziya* [Extra-Alpine Europe and West Asia]. Moscow, Nedra Publ., 359 p. Vol. 4. (1984) *Al'piiskii Sredizemnomorskii poyas* [Alpine Mediterranean belt]. Moscow, Nedra Publ., 344 p. (In Russian)
- Karbonatity* [Carbonatites]. (1969) (Ed. O. Tattl, Dzh. Gitins). Moscow, Mir Publ., 487 p. (In Russian)
- Karbonatity i kimberlity (vzaimootnosheniya, minerageniya, prognoz)* [Carbonatites and kimberlites (relationships, minerageny, forecast)]. (2005) (A.A. Frolov, A.V. Lapin, A.V. Tolstov, N.N. Zinchuk, S.V. Belov, A.A. Burmistrov). Moscow, NIA-Priroda Publ., 540 p. (In Russian)
- Karta razmeshcheniya i mineragenicheskoi specializatsii shchelochnykh magmaticheskikh kompleksov Rossii* [Map of location and mineragenic orientation of alkaline igneous complexes of Russia]. (1995) Masshtab 1 : 10 000 000. (Eds. M.P. Orlova, V.I. Krasnov). St.Petersburg, Kartfabrika VSEGEI Publ. (In Russian)
- Kogarko L.N. (1977) *Problemy genezisa agpaitovykh magm* [Problems of agpaitic magma genesis]. Moscow, Nauka Publ., 294 p. (In Russian)
- Kogarko L.N. Asavin A.M. (2009) Potassium magmatism of the World's ocean (case study of the Atlantic). *Geokhimiya*, (9), 899-909. (In Russian)
- Koval'skaya T.N. (2003) *Proiskhozhdenie vysokokalievyykh vulkanitov Vezuviya (Italiya)*. Dis. kand. geol-min nauk [Origin of high-potassic volcanic rocks of Vesuvius (Italy). Cand. Geol. and min. sci diss.]. Moscow, Moscow Stat. Univ. Publ., 29 p. (In Russian)
- Lazarenkov V.G. (1988) *Formatsionnyi analiz shchelochnykh porod kontinentov i okeanov* [Formation analysis of alkaline rocks of continents and oceans]. Leningrad, Nedra Publ., 236 p. (In Russian)
- Mazarovich A.O. (2006) *Stroenie dna Mirovogo okeana i okrainnykh morei Rossii* [Floor structure of the World's ocean and marginal seas of Russia]. Moscow, GEOS Publ., 192 p. (In Russian)
- Mazarovich A.O., Frih-Har D.I., Kogarko L.N., Koporulin V.I., Rikhter A.V., Akhmet'ev M.A., Zolotarev B.P. (1990) *Tektonika i magmatizm ostrovov Zelenogo mysa* [Tectonics and magmatism of Cape Verde Islands]. Moscow, Nauka Publ., 246 p. (In Russian)
- Milanovskii E.E. (1983) *Riftogenez v istorii Zemli. Riftogenez na drevnikh platformakh* [Riftogenesis in the Earth's history. Riftogenesis in old platforms]. Moscow, Nedra Publ., 280 p. (In Russian)
- Peccerillo A., Martinotti G. (2006) The Western Mediterranean lamproitic magmatism: origin and geodynamic significance. *Terra Nova*, **18**, 109-117.
- Pokrovskii B.G. (2000) *Korovaya kontaminatsiya mantiinykh magm po dannym izotopnoi geokhimii* [Crustal contamination of mantle magmas on evidence of isotope geochemistry]. Moscow, Nauka Publ., 225 p. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2000) *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of Southern and Middle Urals]. Ufa, Gilem Publ., 146 p.
- Puchkov V.N. (2005) *Vezuvii i drugie* [Vesuvius and others]. Samizdat. http://samlib.ru/p/puchkov_w_n/vezuviyiokrestnosti.shtml Ot 12.12.15. (In Russian)
- Ritmann A. (1964) *Vulkany i ikh deyatel'nost'* [Volcanoes and their activity]. Moscow, Mir Publ., 438 p. (In Russian)
- Rouchy J.-M. (1982) La genese des evaporites Messiniennes de Mediterranee. Paris: Editions du Museum national d'Histoire naturelle, 267 p.
- Shchelochnye porody* [Alkaline rocks]. (1976) (Ed. H. Serensen). Moscow, Mir Publ., 400 p. (In Russian)
- Tektonicheskaya karta Sredizemnogo morya* [Tectonic map of the Mediterranean Sea]. Masshtab 1 : 5 000 000 (N.A. Bogdanov, V.E. Hain, V.D. Chekhovich, N.V. Koronovskii, M.G. Lomize et al.). (1994) Moscow, VIEMS Publ. (In Russian)
- Tsyupkova S.S., Vladykin N.V. (2008) *Petrogeokhimicheskie osobennosti shchelochnogo vulkanogennoy karbonatitovogo kompleksa Kaizershtul'* [Petrochemical features of the Kaiserstuhl alkaline volcanogenic carbonatite complex]. Shkola "Shchelochnoi magmatizm Zemli". <http://geo.web.ru/conf/alkaline/2008/Tsyupnova.htm>. (In Russian)
- Vysotskii E.A., Garetskii R.G., Kislik V.Z. (1988) *Kalienosnye basseiny mira* [Potassium-bearing basins of the world]. Minsk, Nauka i tekhnika, 387 p. (In Russian)
- Yampol'skii M. (2000) Vesuvius. Moscow, *Nablyudatel'*, 95-110. (In Russian)
- Yunov A.Yu. (1980) Structure, evolution, and oil-and gas potential of continental margins of West Africa and East Asia. *Tektonika Sibiri* [Tectonics of Siberia]. IX, Moscow, Nauka Publ., 127-139. (In Russian)
- Ziegler P.A., Horvath F. (Eds.). (1996) Peri-Tethys Memoir 2: Structure and Prospects of Alpine Basins and Forelands. *Mem. Mus. nation. Hist. nat.* Paris, **170**, 511 p.