УДК 552.33:552.53:552.11(100) **DOI**: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-153-176

ОБ УЧАСТИИ ПРИРОДНЫХ СОЛЕЙ В ЩЕЛОЧНОМ МАГМАТИЗМЕ СТАТЬЯ 1. ПРИРОДНЫЕ СОЛЯНО-ЩЕЛОЧНЫЕ АССОЦИАЦИИ

© 2018 г. Г. А. Беленицкая

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

Поступила в редакцию 28.02.2017 г., принята к печати 09.10.2017 г.

Статья посвящена анализу пространственно-временных соотношений природных солей и щелочных магматических комплексов в целях определения геологической вероятности участия солей в щелочном магматизме. Рассмотрены показатели, указывающие на возможность такого участия: сходство наборов специфических для каждого из них галофильных и фойдафильных (от “фойд” – фельдшпатоид) компонентов состава, сближенность ареалов распространения и сопоставимость ряда закономерностей размещения тех и других. На конкретном региональном и глобальном материале показано частое сонахождение щелочных комплексов с более древними солями с образованием соляно-щелочных ассоциаций. Охарактеризованы особенности временных соотношений между входящими в ассоциации соляными и щелочными объектами, рассмотрены их основные тектонические типы и приведен краткий обзор распространенности разновозрастных представителей. Показано, что положение щелочных магматических комплексов часто совпадает с уровнями распространения погребенных более древних соленосных толщ, отвечая участкам пересечения с ними восходящих глубинных магм. Дана положительная оценка геологической вероятности участия солей в щелочном магматизме. Геолого-генетические аспекты соляно-щелочных взаимодействий будут рассмотрены во второй статье.

Ключевые слова: *природные соли, щелочной магматизм, ассимиляция, соляная тектоника, аллохтонные соляные покровы, инъекционный коровый соляной рециклинг, Средиземноморский бассейн*

ON THE PARTICIPATION OF NATURAL SALTS IN ALKALINE MAGMATISM ARTICLE 1. NATURAL SALT-ALKALINE ASSOCIATIONS

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 28.02.2017, accepted 09.10.2017

The article is devoted to the analysis of spatio-temporal relationships of natural salts and alkaline magmatic complexes in order to determine the geological probability of the participation of salts in alkaline magmatism. Indicators of the possibility of such participation are considered: the similarity for each of them halophilic and foidaphilic (from “foid” i.e. feldspathoid) sets of specific components, the convergence of distribution areas and the comparability of a number of regularities location of both. On a specific regional and global material, it is shown the frequent occurrence of alkaline complexes with older salts with the formation of salt-alkaline associations. Characteristics of the temporal relationships between the salt and alkaline objects are described, their basic tectonic types are examined and a brief overview of different age representatives is given. It is shown that the position of alkaline magmatic complexes often coincides with the levels of the distribution of the burial more ancient salt-bearing sequences and responds to the areas of intersection of ascending deep magmas with them. A positive estimate of the geological probability of the participation of salts in alkaline magmatism is given. Geological and genetic aspects of the salt-alkaline interactions will be considered in the second article.

Keywords: *natural salts, alkaline magmatism, assimilation, salt tectonics, allochthonous salt covers, injection, crustal salt recycling, Mediterranean basin*

Acknowledgements

I thank my colleagues from the staff of VSEGEI E.A. Landu, I.A. Natorkhin, N.N. Sobolev, S.P. Shokalsky, L.N. Sharpyonok, who read the manuscript of the article and made a number of valuable comments, as well as O.G. Safonov for consultation on experimental research.

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

Для цитирования: Беленицкая Г.А. (2018) Об участии природных солей в щелочном магматизме. Статья 1. Природные соляно-щелочные ассоциации. *Литосфера*, **18**(2), 153-176. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-153-176

For citation: 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

ВВЕДЕНИЕ

Щелочные магматические породы отличаются от других типов изверженных пород высоким содержанием элементов группы щелочных металлов, особенно натрия, реже калия, и летучих компонентов, участвующих в их образовании [Заварицкий, 1961; Главнейшие провинции…, 1974; Петрографический кодекс…, 2009; и др.]. Главным проявлением этих особенностей является специфика минерального состава, прежде всего присутствие нефелина и других фельдшпатоидов. Вопрос об источнике в магме щелочных металлов и летучих – один из ключевых в проблеме генезиса щелочных пород. Чаще всего привлекаются разные типы гипотетических глубинных и сверхглубинных поступлений: сквозьмагматические растворы (Д.С. Коржинский), щелочные расплав-флюиды (Л.И. Когарко), флюидно-солевые системы (Л.С. Бородин), производные мантийного рециклирования материала океанической коры, затягиваемой в мантию в зоне субдукции (A.W. Hofmann), флюидные плюмы, генерируемые на границе с жидким ядром (Н.Л. Добрецов Ф.А., Летников и др.). Решение вопроса пока во многом остается дискуссионным. Между тем в самой земной коре на путях восходящего движения магм имеется и весьма широко распространен масштабный источник одновременно и щелочных металлов, и летучих. Это – соленосные комплексы. Масса солей, по ориентировочным оценкам, более чем на порядок превышает массу щелочных пород, а запасы натрия в солях больше, чем в щелочных породах, на полтора порядка. Частый спутник каменных солей – соли калийные. Вместе каменные и калийные соли и сопутствующие им рассолы образуют в земной коре гигантские максимально концентрированные скопления натрия, калия, хлора и широкого спектра “галофильных” (солелюбивых) макро- и микрокомпонентов, в том числе летучих, набор которых сходен со специфическим для щелочного магматизма.

К проблеме взаимодействия солей с магмами и их участия в некоторых эндогенных процессах исследователи проявляли интерес в разные годы (например, [Павлов, Рябчиков, 1968; Рябчиков, Хамильтон, 1971; Главнейшие провинции…, 1974; и др.]). Однако применительно к собственно щелочному петрогенезу вопрос почти не рассматривался. Высказанное М.К. Пильтенко [1964] предположение о участии солей в образовании щелочных пород в петрологической литературе поддержки не получило. Несколько чаще некоторые аспекты проблемы обсуждаются применительно к кимберлитовым трубкам и карбонатитам, для которых нередко устанавливается засоленность их близповерхностных участков (например, [Гришина и др., 2014]). Более значимая роль солям и особенно рассолам отводится в процессах связанного с магматизмом рудогенеза [Бадалов, Виноградов, 1967; Павлов, Рябчиков, 1968; Сердюченко, 1972; Павлов, 1975; Фон-дер-Флаас., 1997; Гришина и др., 2014; и др.]. Основные причины недостатка внимания к солям как возможному источнику щелочных компонентов в магмах мы видим в их незначительной сохранности, особенно в приконтактовых зонах щелочных массивов, а также в слабой освещенности в литературе по геологии солей характера их взаимосвязей с магматическими комплексами. Со стороны петрологии дополнительное тормозящее влияние оказывает, по нашему мнению, доминирующая ориентированность исследований на анализ мантийных и более глубинных источников. Еще одна важная общая причина – традиционная разобщенность петрологии и литологии – дисциплин, изучающих щелочные магматические и соляные объекты.

За последние десятилетия знания по многим важным в данном случае вопросам существенно пополнились в обеих дисциплинах. В частности, выполнен разносторонний анализ закономерностей кинематической эволюции и итогового размещения солей в недрах, включая ранее наименее охарактеризованные в этом плане покровно-складчатые области и фундамент платформ [Belenitskaya, 2016; Беленицкая, 2017]; раскрыты своеобразные черты проявлений соляной тектоники на больших глубинах вдоль окраин молодых океанов [Hudec, Jackson, 2006; Brun, Fort, 2011; Cramez, 2014; Rowman, 2014; и др.]; систематизированы сведения о галофильных ассоциациях, их составе и строении, разработаны принципиально новые модели образования соляных тел [Кореневский, 1973; Беленицкая, 1998, 2000, 2008; Belenitskaya, 2016]. Значимые результаты получены и в области петрологии: накоплен разносторонний фактический материал по региональной геологии и тектонике многих щелочных провинций [Ритманн, 1964; Пущаровский, 1969; Карбонатиты, 1969; Рябчиков, Хамильтон, 1971; Главнейшие провинции…, 1974; Щелочные породы, 1976; Когарко, 1977; Когарко, Рябчиков, 1978; Alkaline rocks…, 1987; Мазарович и др., 1990; Богатиков и др., 1991; Карта…, 1995; Маракушев и др., 1997; Фролов и др., 2003; Карбонатиты и кимберлиты, 2005; Peccerillo, Martinotti, 2006; Когарко, Асавин, 2009; и мн. др.]; систематизирован комплекс специфических для щелочного петрогенеза макро- и микрокомпонентов [Главнейшие провинции…, 1974; Когарко, 1977; Лазаренков, 1988; Aiuppa et al., 2009; и др.]; получены интересные данные в области изотопной геохимии щелочных пород, а также в экспериментальном изучении высокотемпературных взаимодействий в соляно-алюмосиликатных системах [Щелочные породы, 1976; Когарко, 1977; Когарко, Рябчиков, 1978; Фор, 1989; Маракушев и др., 1997; Покровский, 2000; Пуртов и др., 2002; Карбонатиты и кимберли-

ты, 2005; Chelazzi et al., 2006; Peccerillo, Martinotti, 2006; Сафонов и др., 2007; Alagna et al., 2010; и мн. др.]; получен и обобщен обширный материал по содержанию летучих, в том числе хлора, брома и других галоидных компонентов в расплавах магм и в закалочных стеклах [Aiuppa et al., 2009], что позволило оценить их потоки между внешними оболочками Земли [Ярмолюк и др., 2005; Aiuppa et al., 2009]. Однако все эти важные данные пока не повлияли на подходы к вопросу о возможном участии природных солей в процессах щелочного петрогенеза.

Многолетние исследования автора были посвящены разнообразным вопросам геологии солей и галофильного сообщества, закономерностей их пространственно-временного размещения, палеогеодинамической истории, процессов формирования, кинематической эволюции и итогового распространения в разных типах геологических структур, включая складчатые области и фундамент платформ [Беленицкая, 1982, 1998, 2000, 2008, 2013, 2017; Belenitskaya, 2016]. Результаты всех этих работ в сочетании с целенаправленным анализом данных о геолого-тектоническом строении и соленосности недр регионов проявления щелочного магматизма, а также по возможности тщательное знакомство с литературой по проблемам щелочного петрогенеза – все это послужило основой данного исследования. Его краткие итоги были изложены в [Беленицкая, 2015].

Общая цель исследования – обозначить проблему вероятного участия природных солей в щелочном магматизме. Его задачи – оценить геологические и генетические аспекты такого участия, показать, что “встречи” соленосных толщ глубинными магмами на путях их восходящего движения – явления достаточно распространенные и вполне закономерные, определить обстановки, благоприятные для таких “встреч”, и на этой основе разработать геолого-генетические модели, характеризующие возможную роль солей в щелочном магматизме. Обсуждению этих вопросов посвящены две статьи. Цель первой – выявление природных щелочно-соляных ассоциаций. В данной статье на конкретном материале рассматриваются природные сонахождения солей и щелочных комплексов, оцениваются особенности пространственных и временных соотношений между ними, выделяются тектонические типы, приводится краткий обзор распространения, намечаются ключевые положения геологической модели участия соленосных толщ в щелочном магматизме. Вторая статья будет посвящена рассмотрению геолого-генетических аспектов этой модели с обсуждением роли компонентов соленосных комплексов в формировании щелочной специализации магм, в возникновении различных “необычных” особенностей щелочных пород, являющихся итогом и свидетельством процессов контаминации магм солями.

Ряд положений и выводов выдвигается автором впервые и, безусловно, требует более глубокого обоснования и дополнительных целенаправленных исследований с участием специалистов, занимающихся теоретическими и экспериментальными проблемами щелочного петрогенеза. Данную работу автор рассматривает как начальное звено исследований по обозначенной проблеме, как попытку привлечь к ней внимание.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ОБСУЖДЕНИЕ

Природные соли земной коры как потенциальные участники магматизма

Естественным условием участия солей в магматических процессах является их наличие на путях восходящего движения глубинных магм, что определяет важность знания о соленосности коровочехольного субстрата во время их движения. Исходя из этого, автором был предварительно выполнен целенаправленный анализ особенностей размещения солей в недрах в различных структурно-тектонических ситуациях, в разной мере благоприятных для щелочного магматизма [Belenitskaya, 2016; Беленицкая, 2017]. Основываясь в большой мере на результатах этого анализа, приведем некоторые положения, характеризующие общую картину распространения и морфологии соляных тел в недрах Земли, учитываемые в обсуждаемых ниже проблемах.

Среди геотектонических обстановок распространения соляных тел, в которых наиболее вероятно взаимодействие солей с восходящими глубинными магмами и их участие в магматических процессах, главный интерес представляют три их типа: 1) покровно-складчатый, объединяющий разные части складчатых областей (включая зоны тектонических перекрытий складчато-надвиговыми пакетами окраин платформ и срединных массивов), в том числе развитых в фундаменте платформ и срединных массивов, 2) рифтогенный и 3) пассивно-окраинный.

Относительно докембрийских солей, ранее известных преимущественно лишь в реликтовых формах, а ныне установленных и в масштабных проявлениях, хотя пока лишь в единичных (см. обзор в [Беленицкая, 2017]), имеются веские основания полагать, что их исходные масштабы были сопоставимы с фанерозойскими и их сохранение не исключено в том числе и в разрезах метаморфических и складчато-метаморфических комплексов, включая щиты.

Весьма важным и во многом не решенным является вопрос о распространении солей на больших глубинах. Судя по имеющимся данным, они могут быть весьма значительными и, возможно, дискрет-

но охватывают земную кору на полную мощность. Наряду с солями, погребенными в составе осадочных толщ до глубин более 8–10 км, следует учитывать и тектонические варианты их попадания на значительные глубины. В частности, в условиях континентальной коллизии, когда при максимально интенсивном сжатии происходит далекое поддвигание окраин континентальных плит и микроплит и их глубокое (десятки км) погружение в зонах субдукции (в ходе континентальной субдукции "типа А" [Геологический словарь, 2010]), соли, весьма характерные для осадочных разрезов погружающихся окраин плит, могут быть "затащены" на большие расстояния и на очень большие глубины под формирующиеся над ними покровно-складчатые орогены. Образующиеся при этом гигантские алллохтонные перекрытия, включающие как комплексы осадочного чехла, так и сорванные мощные блоки складчато-метаморфического и кристаллического фундамента, а также пластины океанической коры, островодужные комплексы и т. д., все эти перекрытия могут оказаться пронизанными мигрирующими соляными массами, создающими интенсивную наложенную инъекционно-тектоническую соленосность всей мощной континентальной коры. Подобные ситуации по-видимому характерны для многих глубоко погруженных участков Альпийско-Гималайского пояса, хотя информация об их соленосности пока весьма ограничена.

Неизменными попутчиками соляных масс в разрезах являются высококонцентрированные рассолы. Вместе с тем рассолы установлены и в разрезах континентальной земной коры, где соленосные породы пока не установлены. Особый интерес представляют глубокие зоны древних платформ, в том числе в пределах многих щитов, где нередко присутствуют рассолы преимущественно хлоркальциевого типа и обнаруживаются следы и признаки былого присутствия солей. Не опровергнуты и представления [Гавриленко, Дерпгольц, 1971] о возможном наличии "гидрохлоросферы" – глубинной рассольной дискретной оболочки.

Заслуживает внимания одно из важных следствий солянотектонических и ортотектонических деформаций с массовой эмиграцией солей – их вынос из недр и разгрузка в седиментационные бассейны, сопровождаемые сомасштабной аккумуляцией значительной их части на более молодых стратиграфических уровнях. Эти процессы проявляются в ходе активного развития соляной тектоники, достигая максимальных масштабов в фазы тектонических перестроек и интенсивных ортотектонических деформаций. Формирующиеся при этом соляные покровообразные толщи инъекционной или смешанной инъекционно-осадочной природы, имея пластообразный характер залегания, субсогласный с более молодыми стратифицированными отложениями, состоят в значительной мере из вещества более древних материнскими солей. При их обсуждении возникает ряд неопределенностей [Беленицкая, 2017]. Прежде всего, это вопросы генетической идентификации таких тел, морфологически и пространственно близких седиментационным, но в большой мере обязанных коровому (корово-чехольному) рециклингу или регенерации. Неоднозначны и вопросы их датирования, учитывая значительное (до преобладающего) участие в их составе материала более древних солей. Особую проблему составляют и вопросы терминологии. Для этих и ряда других проблем весьма желательны специальные исследования. В данной работе при обсуждении таких соляных тел мы будем использовать термины "молодые", или "регенерационные".

Предпосылки для рассмотрения солей в качестве участников щелочного магматизма

Главными предпосылками для постановки вопроса об участии солей в щелочном магматизме мы считаем два фактора – сходство наборов специфических для каждого из них компонентов состава и частую сближенность (до совмещения) наблюдаемых ареалов их размещения. Важна также ориентировочная сопоставимость ряда закономерностей пространственно-временного распространения тех и других. Охарактеризуем эти факторы немного более развернуто.

Сходство специфических компонентов состава соленосных и щелочных пород. Галофильные (солелюбивые) сообщества охарактеризованы во многих публикациях и систематизированы [Кореневский, 1973; Беленицкая, 1998; и др.]. Их главный элемент – каменная соль (или галитит) – порода высоко- (ультра)натриевая, на 80–90% и более состоящая из галита, NaCl (39.34% Na, 60.66% Cl). Ее частый, хотя количественно и пространственно более ограниченный спутник, – соли калийные (точнее, хлоридные калиево-магниевые – сильвин KCl, карналлит $KMgCl_3 6H_2O$ и др.) – породы высоко- (ультра)калиевые, содержащие до 30–35%, реже до 40–50%, KCl. Каменная и калийная соли, вместе с парагенетичными им породами, прежде всего ангидритом и доломитом, и сопутствующими крепкими и сверхкрепкими рассолами, содержат по существу суперконцентрации Na, K, Cl, а также Mg, Ca, SO_4, CO_3 и сопутствующий им широкий спектр микрокомпонентов (Rb, Br, B, Cs, Sr, F и др.), для многих из которых характерна склонность переходить в летучее состояние. Все это резко выделяет галофильные сообщества среди других осадочных пород, создавая в литосфере связанные с ними комплексные геохимические и минерагенические аномалии [Беленицкая, 1998].

Наборы макро- и микрокомпонентов, обогащающих щелочные или "фойдовые породы" и

специфических для них, неоднократно обсуждались в работах петрологов [Главнейшие провинции…, 1974; Щелочные породы, 1976; Когарко, 1977; Когарко, Рябчиков, 1978; Лазаренков, 1988; и др.]. Эти наборы, названные В.Г. Лазаренковым [1988] "фойдафильными", включают щелочные металлы, галоиды и летучие (Na, K, Cl, Rb, Br, B, Cs, S, Sr, F, CO_2 и др.). Большинство из этих макро- и микрокомпонентов непосредственно входит в состав специфических петрогенных или акцессорных минералов щелочных пород, определяя их вещественные макро- и микроотличия от магматических пород нормальных рядов. Другие являются активными участниками их образования и в большой мере играют каталитическую роль, влияя на их генезис и на те или иные типоморфные особенности – вещественные, структурно-морфологические, пространственные и др. Многие выполняют обе функции.

Сопоставление наборов галофильных и фойдафильных компонентов, специфических для двух столь различных групп пород, обнаруживает их несомненное сходство. Иначе говоря, макро- и микроспециализации пород – соляная, или галофильная (в терминах геологии солей), либо щелочная, или фойдафильная (в терминах петрологии) – во многом близки (порой почти тождественны). Можно сказать, что разница в какой-то мере терминологическая. Такое сходство является, по нашему мнению, весьма веским основанием для совместного анализа соленосных и щелочных сообществ.

Заметим, что не менее пристального внимания заслуживает сходство сообществ более крупного ранга: с одной стороны, хорошо известных устойчивых парагенезов соляных тел с карбонатными, прежде всего с доломитовыми, в осадочных разрезах, с другой – все более отчетливо устанавливаемых парагенезов щелочных магматических комплексов с карбонатитовыми, в том числе с высокомагнезиальными, в эндогенных последовательностях [Главнейшие провинции…, 1974, Фролов и дрю, 2003; и др.], т.е. сходство природных соляно-карбонатных и щелочно-карбонатитовых сообществ.

Пространственные сонахождения соляных и щелочных магматических объектов[1]. На территории земного шара выделено более ста крупных соленосных бассейнов и свыше 50 щелочных провинций [Главнейшие провинции…, 1974]. На рис. 1 мелкомасштабная схема глобального распространения щелочных магматических объектов (заимствованная из [Главнейшие провинции…, 1974] с некоторыми дополнениями и изменениями по [Карта размещения…, 1995; Alkaline rocks…, 1995; и др.]) совмещена с составленной нами ранее схематической картой размещения соляных тел земного шара [Беленицкая, 2017]. Полученная картина, при всей ее ориентировочности, иллюстрирует довольно частую пространственную сближенность, а иногда и перекрытие ареалов распространения щелочных комплексов с соленосными (более древними, находящимися в субстрате, и молодыми синмагматическими). При этом следует учитывать, что на мелкомасштабной карте соленосности тела ограниченного размера не могли быть отражены. (Исключение составляют лишь показанные внемасштабными знаками проявления и косвенные признаки соленосности в докембрийских комплексах, см. рис. 1, зн. 9.) В частности, не нашли отражения многие соленосные тела, развитые в пределах складчатых областей и в фундаменте платформ, а частично и глубоко погребенные в палеорифтогенных структурах. Между тем соленосность именно этих областей в рассматриваемом контексте имеет большое значение, поскольку с ними связана существенная часть щелочных комплексов. Если учитывать и эти области, то сближенность ареалов распространения щелочных объектов с соленосными становится еще более отчетливой. Это ярко проявляется, например, в регионах Центральной, Западной Европы и Западного Средиземноморья, Приатлантических окраин Африки и Мозамбикско-Мадагаскарского района, для которых в мезозое и кайнозое характерно масштабное развитие и соленосности и щелочного магматизма. Сходная картина обнаруживается и в других регионах. Ниже будет приведен их краткий обзор, а некоторые будут рассмотрены более подробно.

Черты сходства закономерностей распространения соляных и щелочных объектов. Сопоставление закономерностей пространственно-временного размещения, установленных для природных солей [Кореневский, 1973; Яншин, Жарков, 1986; Беленицкая, 2000, 2013; и др.] и для щелочных магматических комплексов [Шейнманн, 1960; Главнейшие провинции…, 1974; Щелочные породы, 1976; Лазаренков, 1988; Карта…, 1995; Когарко, 1997; Фролов и др., 2003; Карбонатиты и кимберлиты…, 2005; и др.], хотя и носит ориентировочный характер, выявляет некоторые черты их сходства.

Геотектоническая позиция. Мы уже отмечали наличие определенных типов крупных геоструктур, благоприятных для распространения как соляных тел, так и щелочных комплексов: преобладающие разновозрастные покровно-складчатые пояса с прилежащими обширными областями молодых и древних платформ; рифтовые системы платфор-

[1] *Соленосными и щелочными объектами*, в соответствии с [Петрографический кодекс, 2009; Геологический словарь, 2010; Беленицкая, 2013], будем называть тела разного ранга: соленосными – преимущественно ранга осадочных бассейнов, формаций, их сохранившихся крупных фрагментов; щелочными – чаще всего ранга магматических комплексов или их пространственных совокупностей.

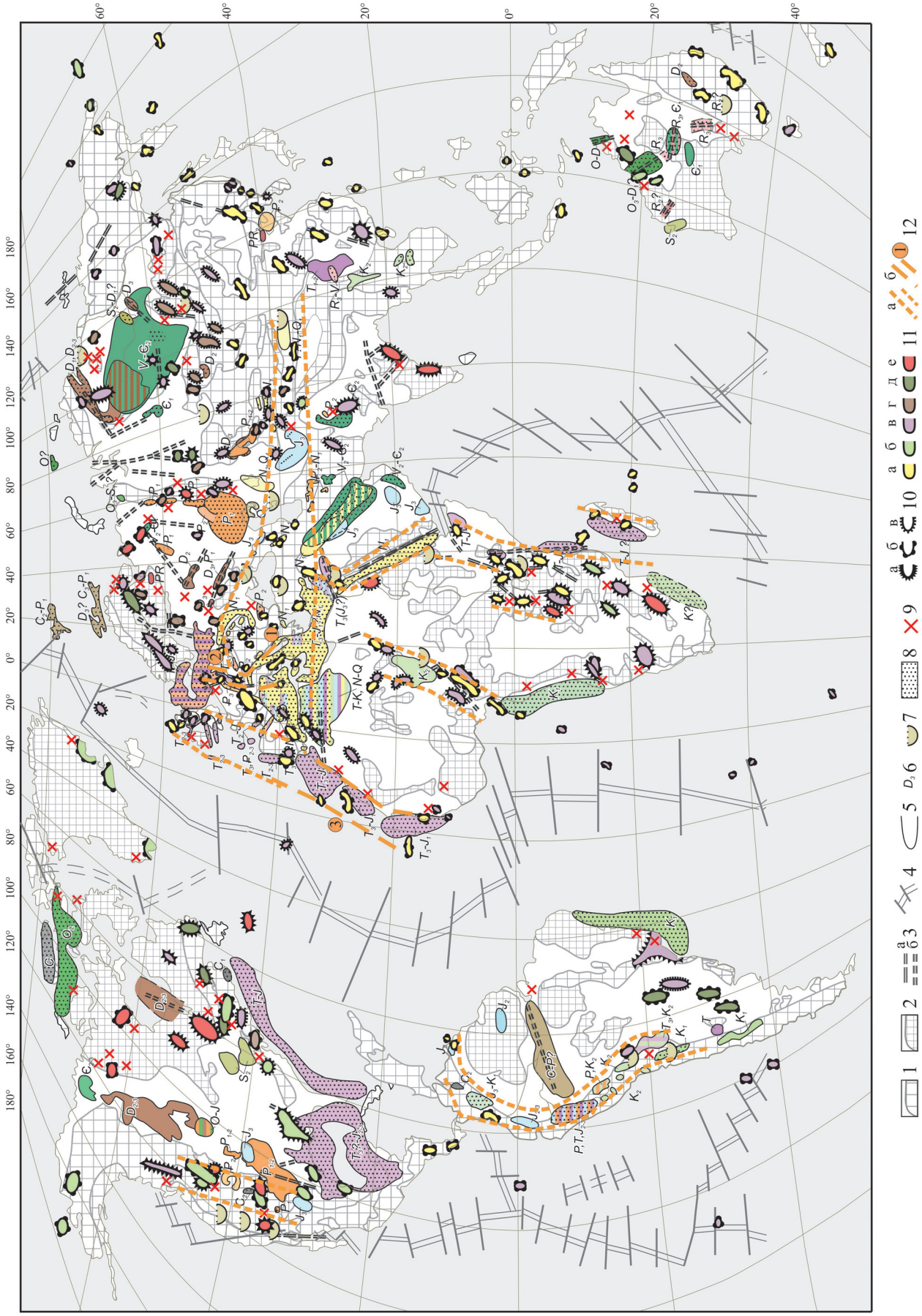

Рис. 1. Схематическая карта размещения и соотношения соленосных [Беленицкая, 2008, 2017] и щелочных (по [Главнейшие провинции…, 1974; Когарко, Рябчиков, 1978; Alkaline rocks…, 1987] с дополнениями) объектов мира.

1 – покровно-складчатые области с дискретной остаточной и инъекционно-тектонической соленосностью; 2 – выступы фундамента в пределах древних платформ; 3 – внутриконтинентальные рифты: а – неогеодинамические, б – докайнозойские погребенные; 4 – рифты внутриокеанические; 5 – границы соленосных бассейнов (цвета закраски полей отвечают общепринятым для стратиграфических подразделений; при наличии двух и более мощных соляных толщ дана полосатая закраска); 6 – возраст солей; 7 – четвертичные и современные соленосные бассейны; 8 – площади проявления соляной тектоники; 9 – проявления солей и сульфатов в докембрийских комплексах; 10 – щелочные магматические комплексы разной формационной принадлежности: а – щелочно-ультраосновные с карбонатитами, б – щелочно-базальтоидные и щелочно-габброидные, в – нефелин-сиенитовые; 11 – возраст щелочных объектов: а – неоген-антропогеновые, N–Q; б – позднемезозойские-палеогеновые, MZ_3–Ꝑ; в – позднепалеозойские-раннемезозойские, PZ_3–MZ_1; г – среднепалеозойские, преимущественно девонские, D; д – раннепалеозойские, PZ_1; е – докембрийские, pЄ; 12 – ориентировочные границы ареалов распространения неогеодинамических соляно-щелочных ассоциаций: а – поясов и суперпоясов, б – провинций, выбранных в качестве эталонных (**1** – Итальянской, **2** – Верхнерейнской, **3** – Северозападно-Африканской).

Fig. 1. Schematic map of accommodation and relations of salt-bearing (according to [Belenitskaya, 2008, 2017]) and alkaline (generalization of [Glavneishie provintsii…, 1974; Kogarko, Ryabchikov, 1978; Alkaline rocks…, 1987], with supplements) objects of the World.

1 – fold-thrust areas with discrete residual and injected-tectonic salts; 2 – basement highs within old platforms; 3 – intracontinental rifts: a – neogeodynamic, б – pre-Cenozoic buried; 4 – intraoceanic rifts; 5 – limits of salt-bearing basins (colours of field tints correspond to those common for stratigraphic units; where there are two and more thick salt strata, striped colouring is given); 6 – salt ages; 7 – Quaternary and Recent salt-bearing basins; 8 – areas with salt tectonics shows; 9 – salt and sulphate occurrences in Precambrian complexes; 10 – alkaline magmatic complexes of various formation types: a – alkaline-ultrabasic with carbonatite, б – alkaline-basaltoid and alkaline-gabbroid, в – nepheline-syenite; 11 – age of alkaline objects: a – Neogene-Anthropogene, N–Q; б – Late Mesozoic-Paleogene, MZ_3–Ꝑ; в – Late Paleozoic-Early Mesozoic, PZ_3–MZ_1; г – Middle Paleozoic, mainly Devonian, D; д – Early Paleozoic, PZ_1; e – Precambrian, pЄ; 12 – approximate boundaries of areas of neogeodynamic salt-alkaline associations: a – belts and superbelts, б – provinces, selected as reference ones (**1** – Italian, **2** – Upper Rhine, **3** – Northwestern African).

менных областей; современные эпирифтовые пассивные окраины. При этом и для щелочного магматизма, и для соленакопления характерна отчетливая связь с областями, подвергшимися разным типам тектоно-магматической активизации.

Стратиграфическое распределение. Для солей установлен дискретный характер распределения по шкале фанерозоя с крупными глобальными максимумами – эпохами галогенеза [Яншин, Жарков, 1986; Беленицкая, 2000] (рис. 2). Ряд значительных пиков соленосности предполагается и в докембрии, в том числе в раннем протерозое [Беленицкая, 2017]. Для щелочного магматизма многие исследователи также отмечают наличие эпох повышенной интенсивности, которым дают сравнительно близкие возрастные оценки [Главнейшие провинции…, 1974; Богатиков и др., 1991; Когарко, 1997; Фролов и др., 2003; Карбонатиты и кимберлиты…, 2005; и др.]. Так, Л.С. Бородин выделяет следующие эпохи [Главнейшие провинции…, 1974, с. 327]: 1 – несколько раннедокембрийских; 2 – гренвильская; 3 – PZ_1 (преимущественно V–$Є_1$,); 4 – PZ_2 (преимущественно D_{2-3}); 5 – PZ_3–MZ_1 (с максимумом в T); 6 – MZ_3–Ꝑ; 7 – N–Q. Сопоставление эпох повышенной интенсивности процессов соленакопления и щелочного магматизма в фанерозое (рис. 3) обнаруживает их близость между собой и корреляцию с эпохами рифтогенеза и крупных тектонических перестроек трансрегионального и глобального масштабов.

Особенности размещения и состава калиевых разновидностей соляных и щелочных комплексов. На фоне пространственных сонахождений щелочных и соляных ареалов проявляется избирательная близость контуров развития высококалиевых щелочных магматических комплексов и калиеносных соляных толщ (более древних глубоко погребенных и молодых синмагматических), а на фоне близости стратиграфических уровней интенсивного соленакопления и щелочного магматизма намечается корреляция эпох преимущественного развития высококалиевых разновидностей тех и других (см. рис. 2). Такой пространственно-временной корреляции калийных разновидностей соленосных и щелочных комплексов отвечает согласованность распределения в них микроэлементов, прежде всего рубидия и, возможно, цезия, которые связаны преимущественно с горизонтами калийных солей [Кореневский, 1973; Яншин, Жарков, 1986; и др.] и с калийными щелочными комплексами, где содержания рубидия коррелируют с содержаниями калия, а его важнейшими концентраторами являются лейцит и псевдолейцит [Главнейшие провинции…, 1974; Щелочные породы, 1976; Лазаренков, 1988].

Унаследованно-цикличный характер размещения. Еще одна общая особенность солей и щелочных пород – унаследованность размещения их разновозрастных объектов. Повторяемость развития

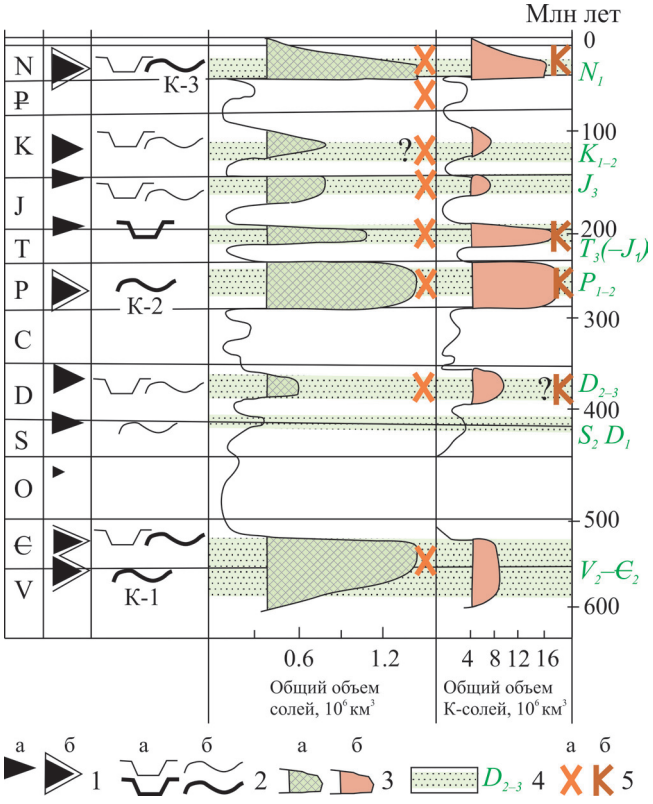

Рис. 2. Соотношение глобальных уровней максимальной интенсивности соленакопления [Яншин, Жарков, 1986; Беленицкая, 2000] и щелочного магматизма (обобщение по [Главнейшие провинции…, 1974; Богатиков и др., 1991; Когарко, 1997; Фролов и др., 2003; Карбонатиты и кимберлиты, 2005; и др.]).

1 – эпохи диастрофизма: а – основные, б – завершающие байкальский, герцинский и альпийский циклы; 2 – геодинамические типы важнейших поясов соленакопления (утолщенный знак – наиболее масштабных): а – растяжения – рифтогенные внутри- и межконтинентальные, б – сжатия – активноокраинные и коллизионные ($К_1$, $К_2$, $К_3$ – коллизионные пояса, связанные с замыканием трех генераций Тетисных бассейнов); 3 – кривые изменения объемов соленакопления (заливкой выделены максимумы): а – всех солей, б – калийных солей; 4 – глобальные эпохи галогенеза; 5 – ориентировочные уровни максимального проявления щелочного магматизма: а – всех разновидностей, б – существенно калиевых.

Fig. 2. Ratio of global levels of maximum intensity of salt accumulation [Yanshin, Zharkov, 1986; Belenitskaya, 2000] G and alkaline magmatism (generalization of [Glavneishie provintsii…,1974; Bogatikov et al., 1991; Kogarko, 1997; Frolov et al., 2003; Karbonatity i kimberlity, 2005; et al.]).

1 – epochs of diastrophism: a – main, б – completing the Baikalian, Hercynian, and Alpine cycles; 2 – geodynamic types of the most important salt accumulation belts (bold symbols show the largest of them): a – tensions – riftogenic intra- and intercontinental, б – compressions – of active margins and collisional (K_1, K_2, K_3 – collisional belts related to three generations closing of Tethys basins); 3 – curves of salt accumulation volume changes (maximums are shown by plain tint): a – all salts, б – potassium salts; 4 – global epochs of halogenesis; 5 – indicative levels of maximum manifestation of alkaline magmatism: a – all varieties, б – essentially potassic.

неоднократно отмечалась и для солей (например, [Беленицкая, 1998]), и для щелочных пород [Главнейшие провинции…, 1974; Щелочные породы, 1976; Когарко, 1997; и др.]. По-видимому, унаследованность тех и других в пределах общих ареалов является результатом (и свидетельством) совместного проявления двух важных факторов: наличия крупных аномальных участков коры (а возможно и верхней мантии) со “сквозной” геохимической гало- и фойдафильной специализацией и цикличной повторяемости тектоно-магматической активности.

Соляно-щелочные ассоциации

Сходство или близость рассмотренных показателей соляных и щелочных магматических комплексов: их геохимической специализации, ареалов распространения и ряда закономерностей размещения – все эти факторы свидетельствуют о неслучайном характере таких сонахождений и позволяют рассматривать их в качестве естественно-природных *соляно-щелочных, или щелочно-соляных ассоциаций*[2] *(ЩСА)* [Беленицкая, 2015]. Обобщенные ареалы (территории) распространения ассоциаций удобно подразделять и называть в зависимости от ранга входящих в них объектов. Ареалы объектов, примерно отвечающих рангам соленосных осадочных бассейнов и формаций и щелочных комплексов и их сочетаний, будем называть *соляно-щелочными провинциями*, более высоким рангам – соляно-щелочными поясами и суперпоясами, а более низким – зонами, узлами. Наблюдается примерная (хотя и не строгая) корреляция разноранговых объединенных соляно-щелочных ареалов с границами сомасштабных тектонических структур, чаще всего рифтогенных и коллизионных: суперпоясов и поясов, их сегментов, ветвей и отдельных звеньев.

В пределах обобщенных ареалов распространения ЩСА присутствуют те или иные наборы щелочных и соляных объектов, определяющие состав ассоциаций. Временные и пространственные соотношения между ними характеризуют их строение и итоговую зональность соляно-щелочных провинций. Наиболее значимыми (доминантными) че-

[2] Понятие “*ассоциация*” пород рекомендуется [Петрографический кодекс…, 2009, с. 19] в качестве термина свободного пользования (в случаях, когда таксономические подразделения не выделяются) для обозначения любой совокупности пород, сопряженных пространственно и объединенных по некоторым признакам.

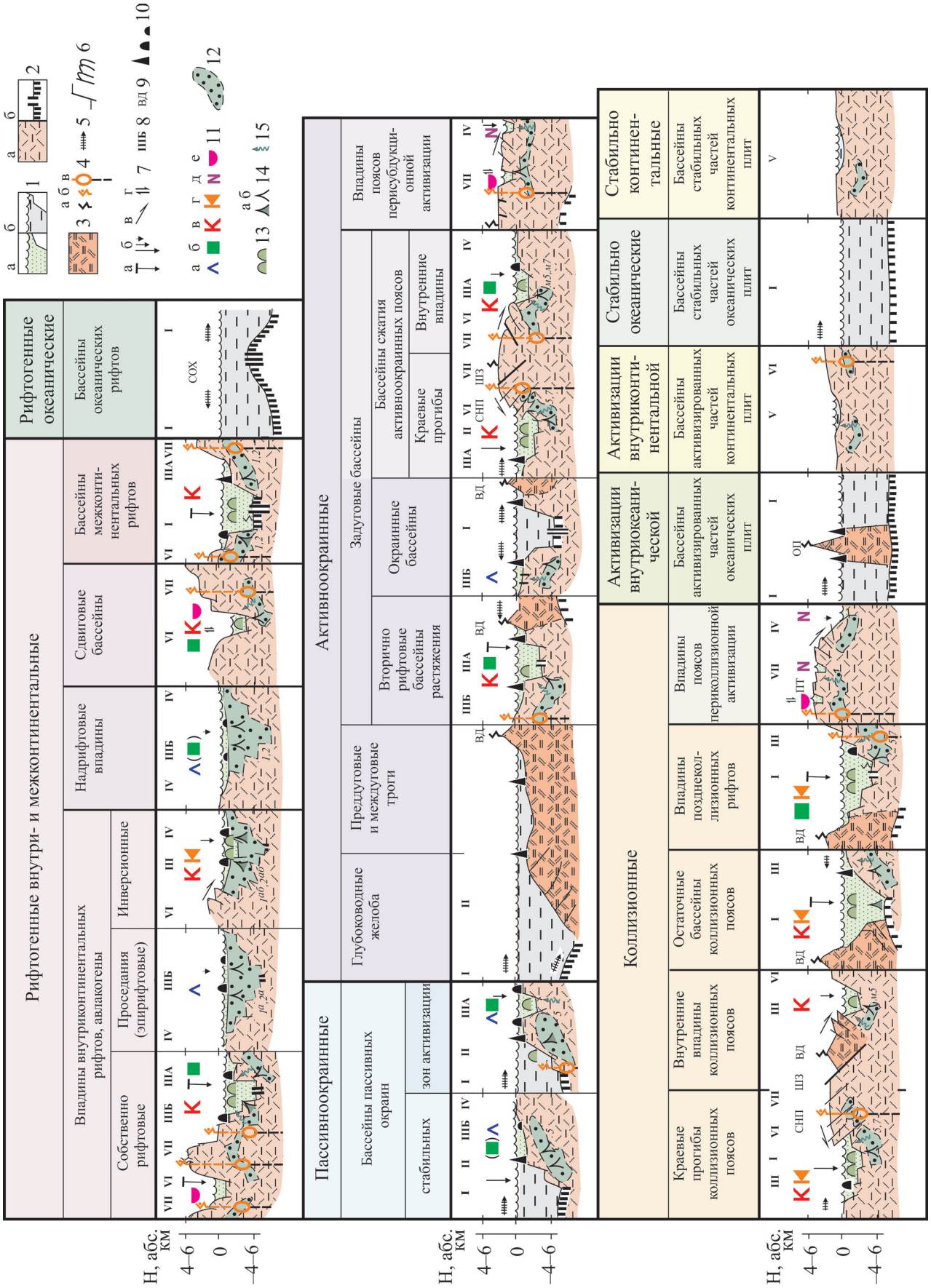

Рис. 3. Геодинамические модели обстановок соленакопления и проявлений щелочного магматизма, по [Беленицкая, 1998, 2008] с дополнениями.

1 – бассейны субаквальной седиментации: а – соленакопление характерно, б – соленакопление не характерно; 2 – тип земной коры (включая осадочный чехол): а – континентальная и субконтинентальная, б – океаническая, субокеаническая и оси спрединга; 3 – комплексы вулканических дуг и внутриокеанических поднятий; 4 – активные вулкано-плутонические комплексы: а – вулканизм, б – вулканизм высокой щелочности, в – внутрикоровые промежуточные очаги щелочного магмообразования на уровнях распространения погребенных соляных тел; 5 – направление движения литосферных плит; 6 – синседиментационные тектонические смещения в субстрате и обрамлениях бассейнов; 7 – типы тектонических смещений: а – раздвиги с прогибанием, б – прогибания разной интенсивности, в – надвиги, г – сдвиги, сдвиго-раздвиги; 8 – ландшафтные обстановки: I – абиссальная и батиально-абиссальная, II – батиальная и внешнего шельфа, III – шельфовая (IIIA – депрессионная, IIIБ – мелководная), IV – прибрежная сэбхово-лагунная, V – низменно-озерная, VI – предгорно-озерная, VII – горно-озерная); 9 – области межбассейновых тектонических поднятий: ВД – вулканические дуги, ШЗ – шовные зоны, СНП – складчато-надвиговые пояса, ПТ – сводово-глыбовые "пояса торошения"; 10 – биогермно-рифовые комплексы разного масштаба; 11 – геохимические типы галогенеза (в скобках – ограниченное развитие): а – сульфатно-кальциевый, б – галититовый, в – хлоридно-калиевый, г – сульфатно-калиевый, д – пестрого состава, часто сульфатно-натриевый, е – то же, содовый; 12 – погребенные соленосные комплексы в субстрате; 13 – солянотектонические осложнения формирующихся соляных тел; 14 – солянотектонические и ортотектонические осложнения погребенных соляных тел: а – интенсивные, б – ограниченного масштаба или предполагаемые; 15 – восходящая разгрузка рассольно-соляных масс из погребенных соленосных комплексов.

Fig. 3. Geodynamic models of salt accumulation and alkaline magmatism environments, after [Belenitskaya, 1998, 2008] with supplements.

1 – subaqueous sedimentation basins: a – salt accumulation is typical, б – salt accumulation is not typical; 2 – crustal type (including sedimentary cover): a – continental and subcontinental, б – oceanic, suboceanic and spreading axis; 3 – complexes of volcanic arcs and intra-oceanic uplifts; 4 – active volcano-plutonic complexes: a – volcanism (a), б – high-alkaline volcanism, в – intracrustal intermediate foci of alkaline magma generation at the levels of buried salt bodies; 5 – direction of lithospheric plate movements; 6 – synsedimentary tectonic displacements in the substrate and basin frames; 7 – types of tectonic displacements: a – pull-apart with downwarping, б – downwarping of various intensity, в – thrust-faults, г – wrenched faults, pull-apart faults; 8 – landscape settings: I – abyssal and bathyal-abyssal, II – bathyal and outer shelf, III – shelf (IIIA – depression, IIIБ – shallow-water), IV – coastal sabkha-lagoon, V – lowland-lacustrine, VI – piedmont-lacustrine, VII – mountain-lacustrine); 9 – areas of intrabasin tectonic elevations: ВД – volcanic arcs, ШЗ – suture zones, СНП – fold-thrust belts, ПТ – dome-block "ridging belts"; 10 – bioherm-reef assemblages of various scales; 11 – geochemical types of halogenesis (in brackets – limited development): a – sulphate-calcium, б – halitite, в – chloride-potassium, г – sulphate-potassium, д – of variegated composition, often sulphate-sodium, e – the same, soda; 12 – buried salt-bearing complexes in substrate; 13 – salt-tectonic complications of forming salt bodies; 14 – salt-tectonic and orthotectonic complications of buried salt bodies: a – intensive, б – limited scale or supposed; 15 – ascending discharge brine-salt masses from buried salt-bearing complexes.

нами ассоциаций можно считать пару: щелочные и относительно более древние соляные объекты. В упоминавшихся региональных примерах такими парами являются кайнозойские (чаще неоген-четвертичные) щелочные комплексы и мезозойские соли в субстрате. Еще одним важным объектом являются молодые соли, присутствующие на уровнях, субсинхронных проявлениям щелочного магматизма, часто связанные с процессами эмиграции древних солей и их локализацией на уровнях разгрузки. Нередко присутствуют еще одни щелочные комплексы, по возрасту близкие более древним солям.

В итоге для ЩСА характерны четыре члена: Щм – молодые щелочные объекты; Сд – соли более древние, распространенные в субстрате щелочных объектов; См – соли молодые, в стратиграфическом разрезе верхние, близсинхронные молодым щелочным объектам; Щд – древние щелочные объекты, чаще всего близсинхронные древним солям. Первые два члена определяют само наличие ассоциаций; часто устанавливается третий член, тоже весьма характерный и информативный, – молодые соли (предполагаемой "дочерней", по отношению к древним солям, регенерационной природы); несколько реже наблюдаются одновременно четыре члена, включая древние щелочные комплексы. В зависимости от полноты ЩСА их можно записать разными последовательностями (знак плюс стоит между субсинхронными членами, отражая связи близкие парагенетическим, стрелка направлена в сторону более молодых членов, отражает связи генетические): Щд + Сд → Щм + См (четырехчленная ассоциация, наиболее полная); Сд → Щм + См (трехчленная); Сд → Щм (двучленная). Весьма часто известны лишь молодые одноуровенные щелочные и соленосные комплексы (Щм + См), наиболее доступные наблюдению и наименее разрушенные; сведения же о более древних соляных членах отсутствуют, т. е. собственно доминантные пары не установлены. Хотя в таких случаях ассоциации пока можно лишь прогнозировать, однако наличие таких пар дает для этого веские основания.

Типовые сочетания и ориентировочные соотношения в разных геодинамических обстановках трех объектов: щелочных магматических комплексов, погребенных в субстрате относительно более древних солей (предполагаемых участников щелочного магматизма и молодого соленакопления), и молодых "синмагматических" солей (предполагаемой регенерационной природы) – схематично иллюстрирует рис. 3, отражающий также характер итоговой зональности.

В большинстве ЩСА их члены располагаются на двух стратиграфических уровнях, образуя на каждом сочетания солей и щелочных комплексов. Сами же уровни коррелируются с фазами текто-

нической активности рассматриваемых геоструктур, чаще с двумя фазами одного тектонического цикла, реже – с фазами двух разных циклов. Пространственно-временные взаимосвязи между щелочными и соляными объектами в составе ЩСА, определяющие латеральные и вертикальные соотношения между ними, формируют общую региональную зональность.

Иногда в тех же ареалах обнаруживаются еще более древние щелочные комплексы и/или соли (однако для солей обычно устанавливаются лишь признаки их былого присутствия). Итоговая многоуровенность отражает уже отмечавшуюся общую для солей и щелочных пород особенность их распространения: унаследованность развития в пределах одних и тех же аномальных (соляно-щелочных) коровых (возможно корово-мантийных) зон в сочетании с унаследованно-цикличным развитием контролирующих их геоструктур. Во всех случаях члены ассоциаций и уровни их развития могут служить ориентировочными взаимными индикаторами: установление одних из них дает основание предполагать наличие других.

Тектонические типы соляно-щелочных ассоциаций

Отмеченное выше наличие трех наиболее распространенных типов геоструктур, благоприятных для нахождения в субстрате соляных тел и одновременно для проявлений щелочного магматизма, послужило основанием для использования этого подразделения применительно к ЩСА в целом с выделением и среди них тех же трех типов (рис. 4). 1. *Покровно-складчатый.* Наиболее широко распространен и разнообразен по структурно-тектоническим показателям. Представлен соленосными комплексами преимущественно ортотектонической и частично солянотектонической природы, заключенными в разных частях складчатых областей (включая зоны тектонических перекрытий покровно-надвиговыми пакетами соленосных комплексов окраин платформ и срединных массивов), а также в фундаменте платформ и срединных массивов. 2. *Рифтогенный.* Представлен соляными телами солянотектонической и частично ортотектонической групп, глубоко погруженными во внутриконтинентальных палеорифтах молодых и древних платформ и в их обрамлениях. 3. *Пассивноокраинный.* Соленосные тела преимущественно солянотектонической природы развиты вдоль протяженных периокеанических зон современных активизированных пассивных окраин молодых океанов, еще не переживших аккреционно-коллизионных деформаций. Большую роль играют покровообразные разновидности солянотектонических тел, внедрившиеся в прилежащие области с субокеанической корой. Характерны частые сочетания и взаимопереходы разных тектонических типов, особенно на окраинах платформ.

Особого внимания заслуживает объединенный покровно-складчатый тип с наименее изученным и своеобразным характером соленосности. В складчатых областях соли в том или ином количестве присутствуют как в составе аллохтонных складчато-надвиговых пакетов (в основании и внутри), так и в перекрытых ими поднадвиговых осадочных сериях палеоокраин континентальных и микроконтинентальных блоков с остаточной соленосностью. В фундаменте молодых и древних платформ, в том числе в пределах щитов, соляные тела заключены в составе погребенных складчато-надвиговых комплексов в областях палеоаккреций и палеоколлизий, в зонах скучивания складчато-метаморфических и кристаллических блоков, под блоками, перекрывающими более молодые соленосные отложения и др. Нахождение солей здесь наиболее вероятно в поднадвиговых и/или тектонически “зажатых” условиях, преимущественно в зонах глубоко погребенных масштабных перекрытий блоками докембрийских пород. Относительная ограниченность установленных солей в большинстве тектонически деформированных серий всех этих областей, как правило, не является седиментационной; масштабы исходной (доскладчатой и дометаморфической) соленосности во многих случаях были значительными; весьма масштабной нередко является и их сохранившаяся соленосность.

Палеотектонические (палеогеодинамические) ситуации образования солей и щелочных пород на время проявления щелочного магматизма систематизированы на рис. 3 в виде мелкомасштабных профильных моделей основных типов геодинамических обстановок осадконакопления (и соленакопления) и их обрамлений. Для каждой из обстановок показаны главные черты строения литосферы, ландшафтные особенности и некоторые проявления эндогенной активности недр. На этом фоне обозначены обстановки проявления щелочного магматизма и синмагматического накопления солей, а также показано наличие в субстрате более древних погребенных солей. Рисунок намечает основные типы конкретных геодинамических обстановок, в которых вероятны сочетания щелочных и соляных (пред- и синмагматических) объектов.

Первый, покровно-складчатый тип, ЩСА характерен для широкого спектра палеогеодинамических обстановок аккреционно-коллизионных поясов с прилежащими перисубдукционными и периколлизионными областями (примерно отвечающими областями резонансной, по Ю.М. Пущаровскому [1969], активизации); второй, рифтогенный, – для обстановок внутриконтинентальных рифтогенных систем, третий – для пассивных окраин, не подвергнувшихся аккреционно-коллизионным деформациям.

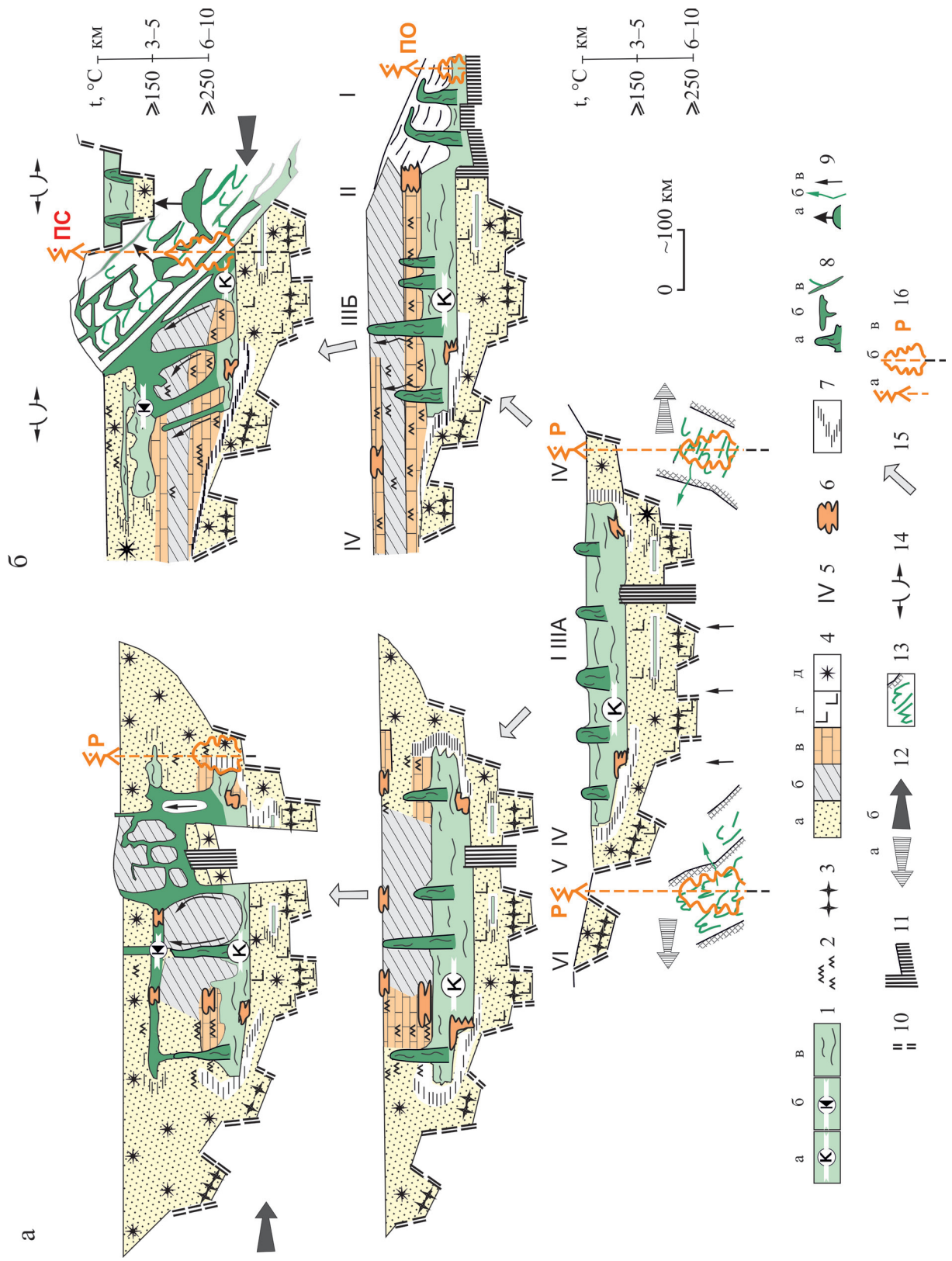

Рис. 4. Типовые варианты последовательности формирования соляно-щелочных ассоциаций разных тектонических типов, по [Беленицкая, 1998, 2017] с дополнениями. а – эволюция внутриконтинентально-рифтовых систем, подстадии: собственно-рифтовая, проседания, инверсионная; б – эволюция окраинно-континентальных систем, стадии: межконтинентально-рифтовая, пассивноокраинная, субдукционная и коллизионная.

1–3 – геохимические типы формирующихся соленосных осадочных бассейнов: 1 – хлоридно-калиевые (а), хлоридно-сульфатно-калиевые (б), хлоридно-натриевые (в); 2 – сульфатно-кальциевые; 3 – пестрого состава, часто сульфатно-натриевые, содовые; 4 – преобладающие типы отложений: а – терригенные, б – терригенные и карбонатные в разных соотношениях, в – карбонатные, г – вулканогенные, д – красноцветные; 5 – ландшафтные обстановки (I – абиссальная, II – батиальная, IIIА – депрессионно-шельфовая, IIIБ – мелководно-шельфовая, IV – прибрежная сэбхово-лагунная, V – низменно-озерная, VI – предгорно- и горно-озерная); 6 – барьерно-рифовые комплексы; 7 – ориентировочное перемещение прибрежной зоны; 8 – деформированные соляные тела разных морфокинетических групп: а, б – соляногекстонической (а – в диапирах, б – в аллохтонных покровах), в – ортотектонической; 9 – направление истечения и миграции: а – солей, б – рассолов, в – углеводородов; 10 – тектонические нарушения; 11 – кора субокеанического и океанического типов; 12 – преобладающий тип напряжений: а – растяжение, б – сжатие; 13 – комплексы субстрата с "запечатанными" рассольно-соляными массами (или их реликтами); 14 – варианты расположения зарождающихся син- или постскладчатых рифтогенных структур; 15 – последовательность тектонического развития; 16 – условное положение щелочных вулкано-плутонических комплексов: а – вулканические постройки, б – промежуточные камеры на уровнях распространения погребенных солей, в – тектонические типы соляно-щелочных ассоциаций: Р – рифтогенный, ПО – активизированных пассивных окраин, ПС – покровно-складчатый.

Fig. 4. Typical variants of the succession of salt-alkaline associations of various tectonic types. After [Belenitskaya, 1998, 2008], with supplements. a – evolution of intracontinental-rift systems, substages: rifting proper,subsidence, inversion; б – evolution of marginal-continental systems, stages: intracontinental-rifting, passive margins, subduction and collisional.

1–3 – geochemical types of forming salt sedimentary basins: 1 – chloride-potassium (a), chloride-sulphate-potassium (б), chloride-sodium (в); 2 – sulphate-calcium; 3 – variable composition, often sodium sulphate, soda; 4 – prevailing types of deposits: a – terrigenous, б – terrigenous and carbonate in different proportions, в – carbonate, г – volcanic, д – red; 5 – landscape settings: I – abyssal, II – bathyal, IIIA – depression-shelf, IIIБ – shallow-shelf, IV – coastal sabkha-lagoon, V – lowland-lacustrine, VI – piedmont- and mountain-lacustrine); 6 – barrier-reef complexes; 7 – approximate movement of the coastal zone; 8 – deformed salt bodies of different morpho-kinetic groups: a, б – salt tectonic (a – in diapires, б – in allochthonous covers), в – orthotectonic; 9 – outflow and migration direction: a – salts, б – brines, в – hydrocarbons; 10 – tectonic faults; 11 – suboceanic and oceanic crust; 12 – prevailing type of strain: a – tension, б – compression; 13 – substrate complexes with "sealed" brine-salt masses (or their relics); 14 – variants of emplacement of emerging syn- or post-folded riftogenic structures; 15 – succession of tectonic development; 16 – conditional position of alkaline volcano-plutonic complexes: a – volcanic edifices, б – intermediate chambers at the levels of buried salt bodies, в – tectonic types of saline-alkaline associations: P – riftogenic, ПО – activated passive margins, ПС – nappe-folded.

Характерные литолого-тектонические черты соляно-щелочных ассоциаций разных тектонических типов и типовые варианты последовательности их формирования на разных стадиях геодинамических циклов отражены на рис. 4.

О распространенности разновозрастных соляно-щелочных ассоциаций

Общее время образования каждой ЩСА, включающей щелочные и соляные объекты разного возраста, охватывает значительный стратиграфический интервал. При проведении анализа удобнее возраст конкретных ЩСА соотносить с возрастом молодых щелочных комплексов, образование которых условно можно принять за показатель "становления" ассоциации в целом. ЩСА с проявлениями щелочного магматизма новейшего времени (преимущественно N–Q) будем называть неогеодинамическими (независимо от возраста сопряженных с ними более древних солей), а с проявлениями магматизма более древнего, включая докембрийский, объединим в группу палеогеодинамических.

Основная сложность опознания ЩСА состоит, как уже отмечалось, в ограниченной сохранности солей в субстрате щелочных комплексов, при этом резко убывающей вглубь времени, и их малой доступности для наблюдения. Разрушение, деформации, перемещения и вынос солей осуществлялись уже во время, предшествующее щелочному магматизму, позже синхронно его проявлениям в ходе тектоно-магматической активизации, а затем и в постмагматическое время под влиянием глубинных или близповерхностных факторов. В результате распространение солей в субстрате часто имело редуцированный характер уже во время проявления магматизма, а ныне в большинстве случаев может быть восстановлено лишь по реликтовым фрагментам, инъекционным внедрениям, тектоническим клиньям, по набору разнообразных косвенных признаков, а также по присутствию высококонцентрированных рассолов и молодых солей регенерационной природы. Наиболее уверенно и часто сонахождения с более древними соленосными комплексами восстанавлиаются для неоген-четвертичных щелочных комплексов, реже – для более древних фанерозойских и особенно для докембрийских. Учитывая ограниченную изученность проблемы, приведем лишь некоторые относительно более очевидные примеры ЩСА.

Неогеодинамические ЩСА довольно широко распространены на земном шаре. Их представители разных тектонических типов образуют соляно-щелочные пояса (и суперпояса), отвечающие сомасштабным геодинамическим системам новейшего времени (см. рис. 1, зн. 12). ЩСА *покровно-складчатого типа* характерны для аккреционно-коллизионных суперсистем и их обрамлений –

Альпийско-Гималайской коллизионной, Евразийской (Центрально-Азиатской) периколлизионной и Западно-Американской (Восточно-Тихоокеанской) активноокраинной, включающей перисубдукционные области эпиплатформенных орогенов. Один из наиболее ярких представителей этого типа со значительными масштабами и соленосности и щелочного магматизма – Западно-Средиземноморский сегмент Альпийско-Гималайского суперпояса (рис. 5–7). ЩСА *рифтогенного типа* широко распространены в пределах Рейнско-Ливийско-Нигерийского и Афро-Аравийского суперпоясов, в частности в северной ветви первого, где щелочные комплексы сближены с солями в рифтогенных прогибах (Верхне-Рейнский, Ронский и др.). ЩСА *пассивноокраинного типа* развиты в пределах Циркуматлантического суперкольца, где наиболее характерны для его Северозападно-Африканского отрезка (рис. 8), а также в Привосточно-Африканском (Мозамбикско-Мадагаскарском) поясе. В регионах всех трех типов магматизм обязан новейшей тектоно-магматической активизации.

В контурах всех этих регионов в субстрате на глубинах от 3–5 до 8–10 км известны погребенные мезозойские (а иногда и более древние) соленосные отложения, что позволяет говорить о наличии в каждом из них доминантных соляно-щелочных пар: Сд → Щм. В большинстве провинций покровно-складчатого типа обычно преобладают тела под- и внутринадвиговые реликтовой и инъекционно-тектонической природы; в рифтогенных – погребенные в глубоких частях рифтовых структур – остаточные и солянотектонические; в пасссивно-окраинных – глубоко погребенные инъекционные (солянотектонические и частично ортотектонические) соляные массы, латерально смещенные в сторону абиссалей вплоть до прилежащих областей с субокеаническим и океаническим типом коры, т. е. в зоны частого распространения щелочного магматизма. Во многих провинциях, помимо двух доминантных членов, присутствуют также молодые соляные тела, субсинхронные магматизму, образование которых, по нашему мнению, в значительной мере обязано высокоинтенсивным процессам тектонического или солянотектонического выноса мезозойских солей и их участия в накоплении соляных масс новых уровней. Для солей обоих уровней и для щелочных магматических комплексов часто характерна калиевая специализация. Латеральные и вертикальные соотношения между щелочными и соляными объектами в каждой из провинций формируют характерные виды региональной пространственной зональности. Во всех провинциях на путях подъема глубинных магм на уровнях соленосности данные томографии фиксируют наличие промежуточных магматических камер (например, [Пучков, 2005]). Характерные представители неогеодинамических соляно-щелочных провинций каждого из типов – Итальянская, Верхнерейнская и Северозападно-Африканская – приняты нами в качестве эталонных и для каждой из них, в целях уточнения геологических моделей ЩСА, во второй статье будут более подробно рассмотрены тектоно-седиментационные особенности их строения.

В некоторых неогеодинамических поясах и их частях ЩСА прослеживаются менее уверенно из-за ограниченности сведений об одном из членов доминантной пары, а иногда и об обоих. В одних случаях, при наличии данных о щелочных комплексах, в том числе весьма масштабных, незначительны сведения о соленосности субстрата. Такова ситуация, например, в пределах Восточно-Африканского рифтового пояса. При обширнейших ареалах молодого высокоинтенсивного щелочного магматизма здесь пока установлены лишь отдельные регионы распространения триасово-юрских солей в мезозойских палеорифтогенных структурах (предшественниках кайнозойских систем) и разнообразные признаки соленосности в более древних комплексах в пределах верхнедокембрийских поясов (Мозамбикском и др.) [Беленицкая, 1998, 2008]. Однако, важным вспомогательным материалом может служить информация о проявлениях молодых (в том числе современных) солей, индикаторах вероятной соленосности субстрата (озера Натрон, Магади, Катвэ и др.), и о более древних щелочных комплексах. Сопоставимая, хотя и несколько отличная, ситуация характерна для Кордильерского покровно-складчатого пояса, в частности для провинции Вайоминг, где при широком распространении палеогеновых покровов и некков щелочных лав (Лейцитовые холмы и др.) и проявлений еще более молодого щелочного вулканизма (Йеллоустонский парк и др.) более древние соли имеют относительно ограниченное распространение; но при этом широко развиты молодые синмагматические эоценовые соленосные отложения формации Грин-Ривер, близкие по возрасту щелочному магматизму. Сходная картина с довольно широким распространением молодых (в основном эоцен-миоценовых) щелочных комплексов, с ограниченным развитием более древних (“домагматических”, преимущественно позднеюрских) солей и с наличием молодых (“синмагматических”, также эоцен-миоценовых) солей, характерна для покровно-складчатых областей Закавказья, Закарпатья и ряда других регионов. В других случаях, наоборот, имеются сведения о погребенных более древних солях, а проявления относительно более молодого щелочного магматизма установлены пока лишь фрагментарно. Подобная ситуация характерна для многих покровно-складчатых областей в пределах Анд, Гималаев и других молодых аккреционно-коллизионных поясов, где установлены мезозойские, палеозойские, а иногда и докембрийские соли и, кроме того, нередко распространены

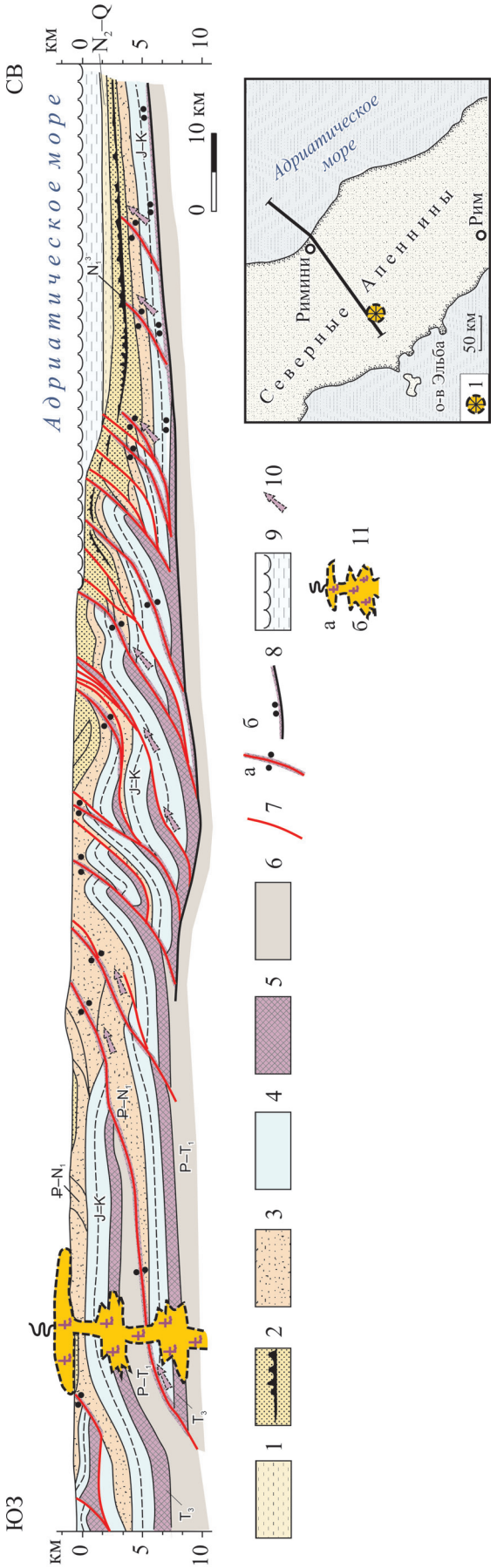

Рис. 5. Схематический геологический профиль через Северные Апеннины (Итальянская соляно-щелочная провинция покровно-складчатого типа). Обобщение с использованием материалов [Хаин, 1977, 1984; Rouchy, 1982; Тектоническая карта…, 1994; Ziegler, Horvath, 1996]. На врезке – положение линии профиля и вулканической постройки (1).

1 – плио-плейстоценовые отложения (N_2–Q); 2 – верхнемиоценовые отложения и уровень распространения мессинских солей и гипсов (N_1^3); 3 – палеоген-миоценовые преимущественно флишевые отложения (P–N_1); 4 – юрско-меловые (частично палеогеновые) отложения (J–K); 5 – остаточные и инъекционно-тектонические верхнетриасовые соли (T_3); 6 – пермско-нижнетриасовые отложения (P–T_1); 7 – тектонические нарушения; 8 – "соляные швы": а – вторичные, вдоль тектонических нарушений (путей миграции триасовых солей), б – первичные, на местах первоначального залегания триасовых солей (остаточные после оттока и эмиграции солей); 9 – воды Адриатического моря; 10 – вероятные пути восходящей миграции верхнетриасовых рассольно-соляных масс; 11 – щелочной калиевый комплекс (ориентировочная проекция на профиль); а – вулканическая постройка, б – промежуточные магматические камеры на уровнях распространения соленосных отложений.

Fig. 5. Schematic geological profile through the Northern Apennines (Italian salt-alkaline province of nappe-fold type). Generalization with the use of materials [Hain, 1977, 1984; Rochy, 1982; Tectonic mape, 1994; Ziegler, Horvath, 1996]. The inset shows the position of the profile and volcanic construction (1).

1 – Pliocene-Pleistocene deposits (N_2–Q); 2 – Upper Miocene deposits and the level of distribution of Messianic salts and gypsum (N_1^3); 3 – Paleogene-Miocene predominantly flysch deposits (P–N_1); 4 – Jurassic-Cretaceous (partially Paleogene) deposits (J-K); 5 – residual and injection-tectonic Upper Triassic salts (T_3); 6 – Permian-Lower Triassic sediments (P–T_1); 7 – tectonic faults; 8 – "salt sutures": a – secondary, along tectonic faults (ways of migration of Triassic salts), б – primary, in places of initial occurrence of Triassic salts (residual after outflow and emigration of salts); 9 – the Adriatic Sea; 10 – probable ways of upward migration of Upper Triassic brine-salt masses; 11 – alkaline potassium complexs (indicative projection on the profile); a – volcanic structure, б – intermediate magma chambers at the levels of buried salt bodies.

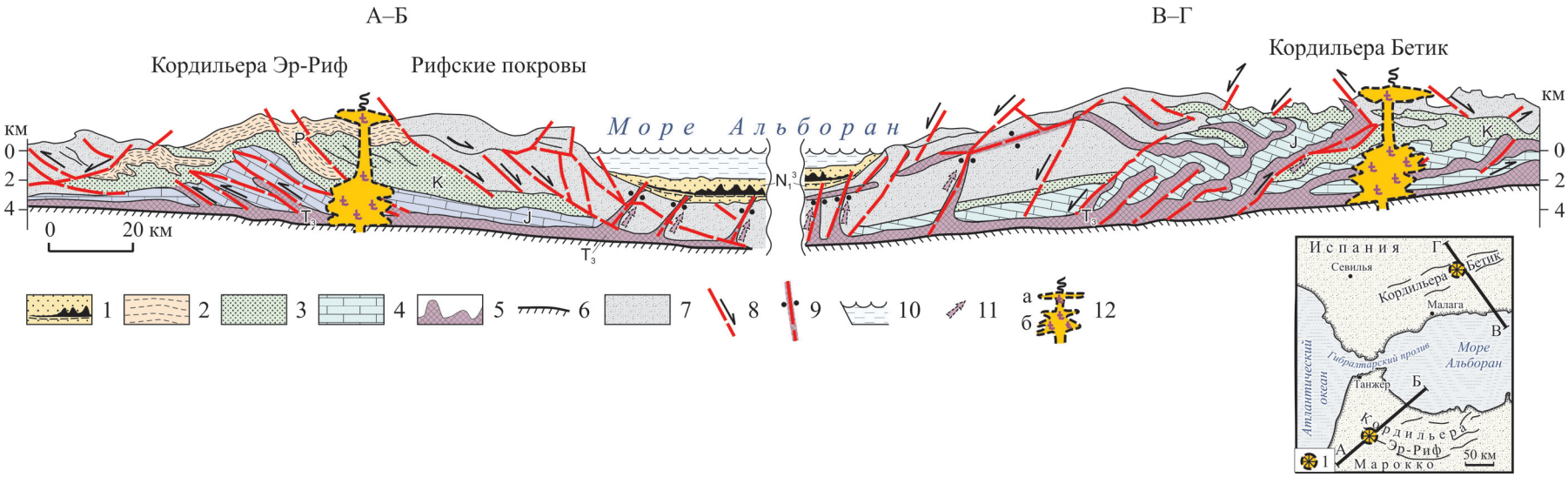

Рис. 6. Схематические профили через покровно-складчатые структуры Рифа и Бетик и разделяющую их Альборанскую впадину. Геологическая основа моделирована по [Хаин, 1977, 1984; Rouchy, 1982; Тектоническая карта…, 1994; Ziegler, Horvath, 1996] с дополнениями по другим опубликованным источникам. На врезке показано положение профилей и вулканических построек (1).

1–5 – осадочные комплексы: 1 – неогеновые с мессинскими соляными покровообразными телами (N_1^3), осложненными диапировыми структурами, 2 – палеогеновые (Ꝑ), 3 – меловые (K), 4 – юрские (J), 5 – верхнетриасовые (T_3) соли; 6 – герцинский фундамент; 7 – тектонические покровы; 8 – тектонические нарушения и направления смещений; 9 – вторичные “соляные швы” – вероятные пути миграции рассольно-соляных масс вдоль тектонических нарушений и надвигов; 10 – акватория моря Альборан; 11 – предполагаемые направления миграции рассольно-соляных масс; 12 – щелочные калиевые магматические комплексы в пределах Кордильер Бетик и Эр-Риф (ориентировочные проекции на профили): а – вулканические постройки, б – промежуточные магматические камеры на уровнях распространения соленосных отложений.

Fig. 6. Schematic profiles through the Rif and Betik thrust sheets and separates them Alboran Depression. Geological base modeled after [Hain, 1977, 1984; Rochy, 1982; Tectonic mape…, 1994; Ziegler, Horvath, 1996], supplemented from other published sources. Inset shows the position of profiles and volcanic constructions (1).

1–5 – sedimentary complexes: 1 – Neogene with Messinian salt cover bodies, complicated by diapir structures (N_1^3), 2 – Paleogene (Ꝑ), 3 – Cretaceous (K), 4 – Jurassic (J), 5 – Upper Triassic salts (T_3); 6 – Hercynian basement; 7 – tectonic covers; 8 – tectonic faults and direction of displacements; 9 – secondary “salt sutures”, probable routes of brine-salt mass migration along the tectonic faults and thrusts; 10 – Alboran Sea water area; 11 – estimated directions of brine-salt mass migration; 12 – alkaline potassium magmatic complexes within the Cordillera Betik and Rif (approximate projections to the profiles): а – volcanic structures, б – intermediate magmatic chambers at the levels of buried salt bodies.

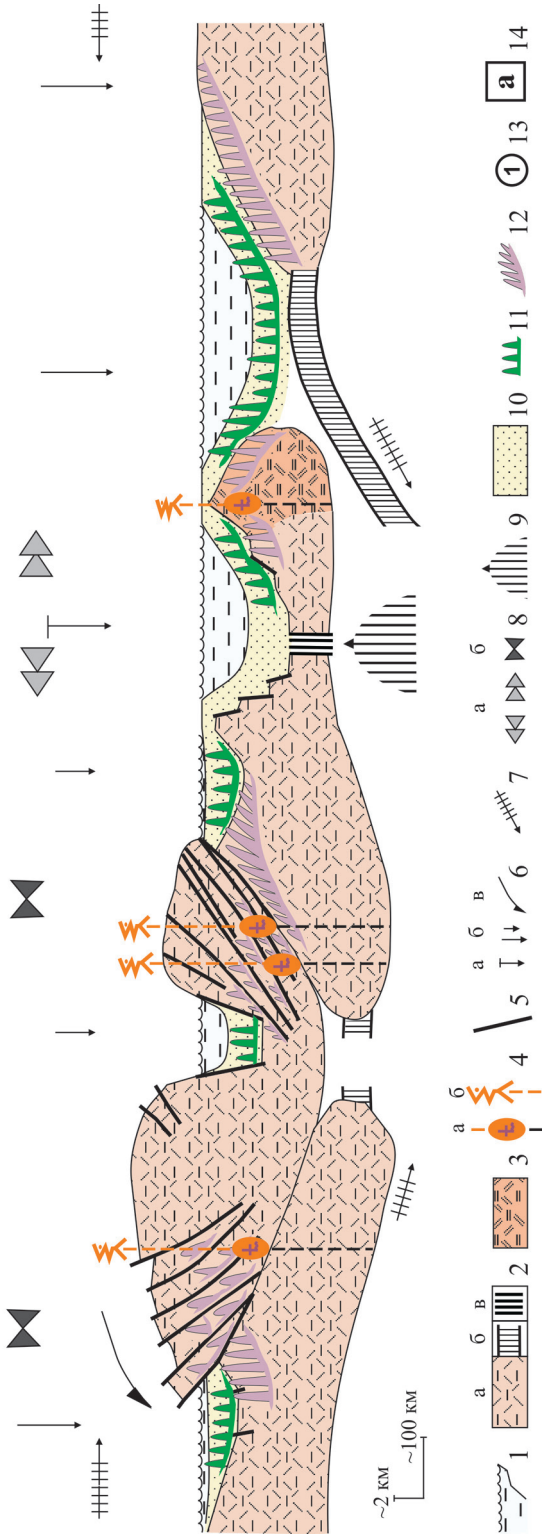

Рис. 7. Литолого-тектонические модели неогеодинамических соляно-щелочных провинций покровно-складчатого типа Средиземноморского коллизионного пояса. Составитель Г.А. Беленицкая.

1 – бассейны субаквальной седиментации; 2 – типы литосферы: а – континентальная и субконтинентальная, б – субокеаническая и океаническая, в – ось спрединга; 3 – комплексы вулканических дуг; 4 – щелочные магматические комплексы: а – промежуточные внутрикоровые очаги генерации щелочных магм на уровнях распространения погребенных солей, б – вулканические постройки; 5 – крупные тектонические нарушения в субстрате и обрамлениях седиментационных бассейнов; 6 (стрелки над профилем) – характер синседиментационных смещений: а – раздвиг с прогибанием, б – прогибание разной интенсивности, в – надвиг; 7 – направление движения плит; 8 – напряжения: а – растяжение, деструкция, б – сжатие; 9 – области подъема аномальной мантии; 10 – осадочно-породные бассейны коллизионной стадии; 11 – миоценовые соляные покровообразные тела, осложненные диапировыми структурами; 12 – погребенные деформированные остаточные и инъекционно-тектонические соленосные комплексы в субстрате; 13 – геодинамические типы миоценовых солянокупольных бассейнов в глубоководных впадинах Средиземного моря (цифры в кружках): 1 – остаточные бассейны (Ионический, Леванта), 2, 4 – тафрогенные (поздне- и постколлизионных рифтов: 2 – Эгейский, 4 – Тирренский, Альборанский), 3 – краевые прогибы (По-Адриатический); 14 – ориентировочное положение неогеодинамических соляно-щелочных провинций покровно-складчатых областей (буквы в квадратных рамках): а – Бетская, Северо-Пиренейская, б – Апеннинская, в – Сицилийская, Эгейская.

Fig. 7. Lithological-tectonic models of the neogeodynamic salt-alkaline provinces of nappe-folded type of the Mediterranean belt. Compiled by G.A. Belenitskaya.

1 – basins of sub-aquatic sedimentation; 2 – types of lithosphere: a – continental and subcontinental, б – suboceanic, oceanic, в – axis of spreading; 3 – complexes of volcanic arcs; 4 – alkaline magmatic complexes: a – intermediate intracrustal foci of generation of alkaline magmas at the levels of buried salts distribution, б – volcanic buildings; 5 – large tectonic disturbances in the substrate and framing of sedimentary basins; 6 (arrows above the profile) – the character of the synsedimentation displacements: a – expansion with deflection, б – deflection of different intensity, в – thrust; 7 – direction of plate movement; 8 – stresses: a – stretching, destruction, б – compression; 9 – areas of rise of the anomalous mantle; 10 – sedimentary-rock basins of the collision stage; 11 – Miocene salt cover bodies, complicated by diapir structures; 12 – buried residual and injection-tectonic salt-bearing complexes in the substrate; 13 – geodynamic types of Miocene salt-dome basins in deep-sea depressions of the Mediterranean (numbers in circles): 1 – residual basins (Ionic, Levant), 2, 4 – tafrogenic (late- and post-collisional rifts: 2 – Aegean, 4 – Tyrrhenian, Alboran), 3 – marginal troughs (Po-Adriatic); 14 – orientation position of the neogeodynamic salt-alkaline provinces of the cover-folded regions (letters in square frames): a – Betik, Northern Pyrenees, б – Apennine, в – Sicilian, Aegean.

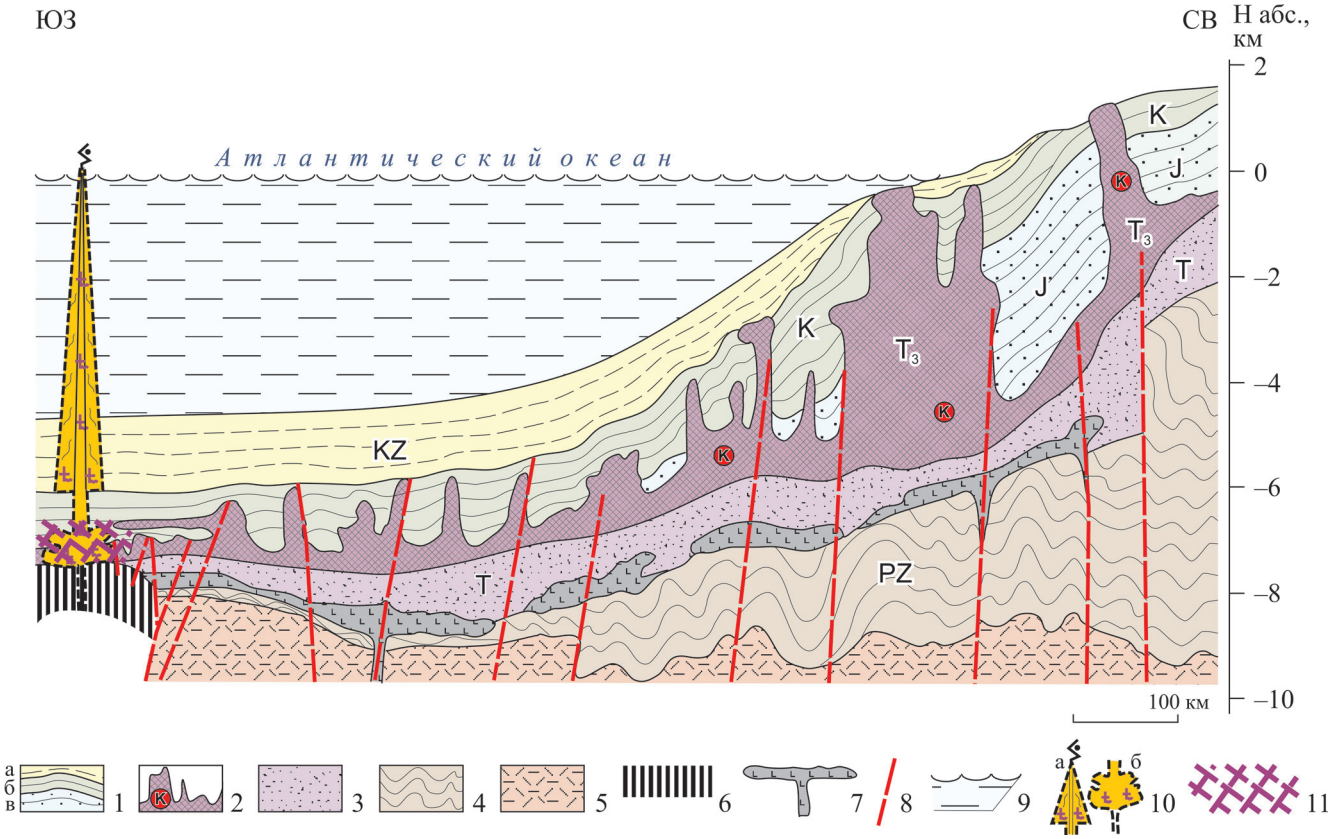

Рис. 8. Схематический профиль через Северозападно-Африканскую соляно-щелочную провинцию пассивно-окраинного типа. Обобщение с использованием материалов [Юнов, 1980; Мазарович и др., 1990; Беленицкая, 2008; Когарко, Асавин, 2009].

1 – надсолевые осадочные комплексы: а – кайнозойские (KZ), б – меловые (K), в – юрские (J); 2 – верхнетриасовые соли калиеносные (T_3), осложненные соляно-тектоническими структурами; 3 – подсолевые отложения (T); 4 – палеозойское складчатое основание (PZ); 5 – докембрийский фундамент; 6 – кора переходного и субокеанического типов; 7 – базальты, вероятно повышенной щелочности; 8 – тектонические нарушения; 9 – акватория Атлантического океана; 10 – щелочные калиевые комплексы (ориентировочная проекция на профиль): а – вулканические постройки, б – промежуточная магматическая камера на уровне инъецированных солями комплексов субстрата; 11 – зоны, переработанные солянотектоническими и ортотектоническими процессами и интенсивно инъецированные солями.

Fig. 8. Schematic profile across the Northwest African salt-alkaline province of passive margin type. Generalization with the use of materials [Yunov, 1980; Mazarovich, 1990; Belenitskaya, 2008; Kogarko, Asavin, 2009].

1 – oversaline sedimentary complexes: a – Cenozoic (KZ), б – Cretaceous (K), в – Jurassic (J); 2 – Upper Triassic potassium-bearing salt (T_3), complicated by salt-tectonic structures; 3 – subsalt sediments (T); 4 – Paleozoic folded base (PZ); 5 – Precambrian crystalline basement; 6 – crust of transitional and suboceanic types; 7 – basalts of apparently increased alkalinity; 8 – tectonic faults; 9 – waters of the Atlantic Ocean; 10 – Canary province alkaline potassium complexes (approximate projection on the profile): a – volcanic structures, б – intermediate magma chambers at the Triassic salt bodies levels; 11 – zones, reprocessed by salt tectonics and ortotektonics and intensively injected with salts.

молодые, в том числе современные соленосные тела. Порой здесь известны также древние щелочные комплексы, в то время как сведения о молодом щелочном магматизме ограничены.

Для **палеогеодинамической** группы картина, как правило, менее отчетлива, поскольку обнаружение в субстрате или обрамлении докайнозойских щелочных комплексов солей более древних, чем эти комплексы, а особенно раскрытие соотношений между ними, в гораздо большей мере затруднено ограниченной сохранностью солей и/или их глубоким погребением в недрах. И все же во многих случаях здесь также сохраняются проявления и довольно многочисленные косвенные показатели соленосности, что в сочетании с данными о разновозрастных щелочных и соляных объектах позволяет расшифровывать пространственно-временные взаимоотношения и выявлять вероятные ЩСА. Относительно более перспективны для обнаружения ЩСА регионы с мезозойским и палеозойским щелочным магматизмом. В приведенных ниже примерах таких регионов для каждого из них указаны:

возраст щелочных комплексов (**Щм**), по [Главнейшие провинции…, 1974; Щелочные породы, 1976; Карта…, 1995; Alkaline rocks…, 1995; и др.]; возраст солей более древних (домагматических, **Сд**) и молодых (син- и постмагматических, **См**), по [Беленицкая, 1998, 2008]. Кроме того, в косых скобках даны обобщенные возрастные интервалы, подчеркнуты главные интервалы; курсив – проявления докембрийских солей. ПС, Р (в круглых скобках) – тектонический тип ЩСА: ПС – покровно-складчатый, Р – рифтогенный.

Южнотаймырско-Хатангско-Прианабарский (ПС + Р); **Щм** – $\underline{T_1}$, /PZ_3–MZ_1/; **Сд** – PR_1, R–V_1, V_2, D_1, $\underline{D_{2-3}}$; **См** – Q;
Байкало-Непский (ПС): **Щм** – $\underline{D_3–C_1}$, PZ_{2-3}, $\underline{MZ_1}$; **Сд** – *R?*, $\underline{V_2–Є_2}$; **См** – Q;
Варангерско-Тимано-Мезенский (ПС): **Щм** – $\underline{D_3}$, P_1; **Сд** – R_3, $\underline{V_2–Є?}$; **См** – D_3, P_1;
Кордильерский (ПС): **Щм** – $\underline{MZ_2–\cancel{P}}$; **Сд** – *R*, Є, $\underline{C_2}$, P; **См** – J_3, $\underline{\cancel{P}_2}$, $\cancel{P}_3$–Q;
Тянь-Шанский (ПС): **Щм** – $\underline{P_2–T}$, /PZ_3–MZ_1/; **Сд** – $\underline{D_{1-3}}$, D_3–C_1, $\underline{C_{1-2}}$; **См** – P_1, K_2–$\cancel{P}_2$, N_1;
Урало-Предуральский (ПС): **Щм** – $\underline{P_1}$, C_2–T; **Сд** – *R–V*, $\underline{O_3–S_1}$, $\underline{D_{2-3}}$; **См** – $\underline{P_1}$, C_2–P_1;
Северо-Аппалачский (ПС): **Щм** – $\underline{T–J}$, /MZ/; **Сд** – Є, $\underline{O}$, $\underline{C_1}$; **См** – $\underline{T–J}$;
Енисейско-Чадобецкий (Р): **Щм** – $\underline{T_1}$; **Сд** – *R*?, $\underline{V_2–Є_2}$, $Є_2$–O_1;
Авлакоген Фицрой и щит Кимберли (Р): **Щм** – $\underline{K_1}$, /MZ/; **Сд** – PR_1, *R*, $\underline{O_3–D_1}$.

В большинстве приведенных примеров имеются сведения и о более древних щелочных комплексах, часто синхронных древним солям, а нередко и еще более древних.

Для регионов распространения *докембрийских* щелочных комплексов вопрос о соленосности субстрата обычно вызывает еще больше затруднений. Однако присутствие мелких проявлений и косвенных признаков докембрийской соленосности, часто в сочетании с молодыми солями и рассолами [Беленицкая, 2017], позволяет предполагать участие и здесь в щелочном магматизме еще более древних солей и говорить о наличии докембрийских ЩСА. К их числу можно отнести, например, покровно-складчатые и палеорифтогенные геоструктуры с проявлениями или косвенными признаками *верхнедокембрийских* солей: Дамарская, Катангская, Западно-Конголезская, Мозамбикская, Тимано-Варангерская, Уджинская (Оленекская) и др. (см. рис. 1, зн. 9). Признаки *нижнедокембрийской*, преимущественно раннепротерозойской, соленосности отмечаются в палеорифтогенных геоструктурах и их тектонических производных (раннепротерозойских подвижных поясах), развитых чаще на щитах и массивах и в их обрамлениях: на Балтийском – Онежский, Имандра-Варзугский, Печенгский, Кайнуу и др., на Воронежском – Белгородский, Тим-Ястребовский, на Алданском – Удоканский, Муйский и др., а также на разных участках Украинского, Анабарского, Канадского щитов. Сведения о них приведены в исследованиях Д.П. Сердюченко, В.И. Виноградова, М.А. Жаркова, Л.И. Салопа, О.М. Розена и других ученых, обзор см. в работе [Беленицкая, 2017]. Среди щелочных комплексов, сопряженных с докембрийскими солями, отмечаются как докембрийские (несколько более молодые, чем соленосные), так и фанерозойские, вплоть до современных. Временной разрыв между соляными и щелочными комплексами, по-видимому, может быть любым. Возможно, что именно масштабная соленосность нижнепротерозойских отложений определяет избирательную связь с раннепротерозойскими подвижными поясами или секущими их структурами многих ультращелочных магматических комплексов (подчеркнутую, например, А.А. Фроловым [Фролов и др., 2003, с. 108]). Показателен факт широкого распространения на многих докембрийских геоструктурах мощного натриевого (углекисло-натриевого) метасоматоза, охарактеризованного во многих работах М.Н. Воскресенской, В.Г. Кушева, И.Г. Минеевой, Ю.Ир. Половинкиной, А.И. Тугаринова, Л.Я. Шмураевой, и мн. др., проявлению которого, по нашему мнению, также могло способствовать участие в процессах тектоно-магматической активизации древних соляных (или соляно-карбонатных) толщ.

Есть основания полагать, что во многих регионах палеогеодинамической (как и неогеодинамической) группы там, где щелочной магматизм известен пока лишь в отдельных проявлениях, но установлена значимая соленость субстрата, имеется вероятность обнаружения более масштабных щелочных комплексов.

Таким образом, наиболее уверенно ЩСА устанавливаются в неогеодинамических щелочных провинциях, где кайнозойские щелочные комплексы ассоциируют с более древними солями в геоструктурах всех трех тектонических типов. В палеогеодинамических щелочных провинциях – мезозойских, палеозойских и докембрийских – сонахождения щелочных комплексов с более древними, чем они, солями выявляются менее уверенно (особенно докембрийских) из-за ограниченной сохранности солей. Важную вспомогательную индикаторную роль могут выполнять молодые соляные комплексы, а также более древние щелочные. В палеогеодинамической группе распространены ЩСА двух тектонических типов – покровно-складчатого и рифтогенного; нередки их сочетания. ЩСА пассивных окраин в ходе последующих аккреционно-коллизионных процессов вошли в состав покровно-складчатых областей и ныне входят в первую группу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ пространственно-временных соотношений природных солей и щелочных магматических комплексов позволяет поло-

жительно оценить вероятность участия солей в щелочном магмообразовании. Главные предпосылки для этого: 1) сходство наборов специфических и типоморфных компонентов и микрокомпонентов состава соляных (галофильных) и щелочных (фойдафильных) комплексов (а в более широком плане – сходство соляно-карбонатных и щелочно-карбонатитовых формационных парагенезов); 2) их довольно частая пространственная близость, в том числе калиевых солей и калиевых разновидностей щелочных пород, при устойчивых временных соотношениях; 3) подобие ряда важных закономерностей размещения тех и других (геотектоническая позиция, стратиграфическое распределение, унаследованно-цикличный характер размещения и др.).

Сравнительный анализ регионального и глобального материала, выявивший частое наличие пространственных сонахождений соленосных и щелочных комплексов, позволил рассматривать такие сонахождения как соляно-щелочные ассоциации, а ареалы их общего распространения – как соляно-щелочные провинции. В состав ассоциаций входят: щелочные магматические комплексы и погребенные в их субстрате более древние соли, образующие основную доминантную пару; субсинхронные магматизму “молодые” соляные толщи, часто связанные с разрушением более древних солей и их рециклингом (тектоническим, соляно-тектоническим или инъекционно-седиментационным [Belenitskaya, 2016; Беленицкая, 2017]); нередко также более древние щелочные и соляные толщи. Проявления глубинного магматизма, ответственные за развитие щелочных комплексов, связаны с процессами тектоно-магматической активизации.

В зависимости от геотектонических обстановок размещения различаются три основных тектонических типа соляно-щелочных провинций: 1) покровно-складчатый, 2) рифтогенный и 3) активизированных пассивных окраин. В составе покровно-складчатого типа, наиболее широко распространенного, условно объединены разновозрастные складчатые области (вместе с прилежащими зонами тектонических перекрытий покровно-надвиговыми пакетами окраин платформ и срединных массивов), в том числе развитые в фундаменте молодых и древних платформ, включая щиты.

Наиболее уверенно и часто сонахождения с более древними соленосными комплексами обнаруживаются для неоген-четвертичных щелочных комплексов, реже – для мезозойских, палеозойских и особенно для докембрийских. Основная причина сокращения количества и полноты установленных сонахождений вглубь времени – резко убывающая во времени сохранность солей и их изученность. Характерные представители неогеодинамических ЩСА трех тектонических типов – Итальянская, Верхнерейнская и Северозападно-Африканская – приняты в качестве эталонных для дальнейших исследований.

Полученные данные показывают, что нахождение соленосных пород на путях восходящего движения глубинных магм, связанных с тектоно-магматической активизацией, представляет собой достаточно распространенное и геологически закономерное явление. Уровням соленосности часто отвечает размещение промежуточных магматических камер, контролирующих появление щелочных пород. А это дает основание предполагать вероятность активных взаимодействий горячих алюмосиликатных магм с компонентами соленосных (соляно-карбонатных) комплексов и положительно оценить геологические предпосылки участия солей в щелочном магматизме.

Более детальному анализу эталонных объектов, в целях конкретизации геологических показателей модели участия солей в щелочном магматизме, и обсуждению генетических аспектов соляно-щелочных взаимодействий, с оценкой роли различных галофильных компонентов в формировании щелочной специализации магм, будет посвящена вторая статья.

Благодарю своих коллег сотрудников ВСЕГЕИ Э.А. Ланду, И.А. Наторхина, Н.Н. Соболева, С.П. Шокальского, Л.Н. Шарпенок, прочитавших рукопись статьи и сделавших ряд ценных замечаний, а также О.Г. Сафонова за консультацию по вопросам экспериментальных исследований.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бадалов С.Т., Виноградов В.И. (1967) К вопросу об источниках серы в эндогенных месторождениях Северо-Западного Карамазара. Изотопы серы и вопросы рудообразования. М.: Наука, 72-83.

Беленицкая Г.А. (1982) Некоторые палеотектонические закономерности размещения соленосных толщ. Новые данные по геологии, геохимии, подземным водам и полезным ископаемым соленосных бассейнов. Новосибирск: Наука, 176-187.

Беленицкая Г.А. (1998) Галогенсодержащие бассейны. *Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов.* (Под ред. А.Д. Щеглова). СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 220-320.

Беленицкая Г.А. (2000) Соленосные осадочные бассейны. Литолого-фациальный, геодинамический и минерагенический анализ. Осадочные бассейны России, (4). СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 72 с.

Беленицкая Г.А. (2008) Минерагения соленосных бассейнов мира. Соленосные осадочные бассейны континентов. *Энциклопедический справочник “Плане-*

та Земля". (Гл. ред. Л.И. Красный). Том "Минерагения". Кн. 1. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 165-189. Кн. 2-5.

Беленицкая Г.А. (2013) Тектонические аспекты пространственного и временного распределения соленосных бассейнов мира. *Электронное научное издание Альманах "Пространство и Время"*, **4**(1). Cite MLA 7: Web. <2227-9490eaprovr_e-ast4-1.2013.22>.

Беленицкая Г.А. (2015) Об участии природных солей в щелочном магматизме. Тектоно-седиментационные предпосылки. Вероятностные литолого-петрологические модели щелочного магматизма с участием солей. *Петрография магматических и метаморфических горных пород.* Петрозаводск: КНЦ РАН, 96-101.

Беленицкая Г.А. (2017) Соли в земной коре: распространение и кинематическая история. *Литосфера*, **17**(3), 5-28.

Богатиков О.А., Рябчиков И.Д., Кононова В.А. (1991) Лампроиты. М.: Наука, 301 с.

Гавриленко Е.С., Дерпгольц В.Ф. (1971) Глубинная гидросфера Земли. Киев: Наукова думка, 272 с.

Геологический словарь (2010) В 3 т. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ.

Главнейшие провинции и формации щелочных пород. (1974) (Отв. ред. Л.С. Бородин). М.: Наука, 376 с.

Гришина С.Н., Полозов А.Г., Мазуров М.П., Горяйнов С.В. (2014) Генезис хлоридно-карбонатных образований трубки Удачная-Восточная. *Докл. АН*, **458**(2), 198-200.

Заварицкий А.Н. (1961) Изверженные горные породы. М.: Изд-во АН СССР, 455 с.

Карбонатиты. (1969) (Под ред. О. Таттла и Дж. Гиттинса). М.: Мир, 487 с.

Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерагения, прогноз) (А.А. Фролов, А.В. Лапин, А.В. Толстов, Н.Н. Зинчук, С.В. Белов, А.А. Бурмистров). (2005) М.: НИА-Природа, 540 с.

Карта размещения и минерагенической специализации щелочных магматических комплексов России. Масштаб 1 : 10 000 000. (1995) (Ред. М.П. Орлова, В.И. Краснов). Спб.: Изд-во Картфабрика ВСЕГЕИ.

Когарко Л.Н. (1977) Проблемы генезиса агпаитовых магм. М.: Наука, 294 с.

Когарко Л.Н. (1997) Щелочной магматизм в истории Земли и эволюция флюидного режима мантии. *Докл. АН*, **348**(5), 665-667.

Когарко Л.Н., Асавин А.М. (2009) Калиевый магматизм Мирового океана (на примере Атлантики). *Геохимия*, (9), 899-909.

Когарко Л.Н., Рябчиков И.Д. (1978) Летучие компоненты в магматических процессах. *Геохимия*, (9), 1293-1321.

Кореневский С.М. (1973) Комплекс полезных ископаемых галогенных формаций. М.: Недра, 299 с.

Лазаренков В.Г. (1988) Формационный анализ щелочных пород континентов и океанов. Л.: Недра, 236 с.

Мазарович А.О., Фрих-Хар Д.И., Когарко Л.Н., Копорулин В.И., Рихтер Ф.В., Ахметьев М.А., Золотарев Б.П. (1990) Тектоника и магматизм островов Зеленого мыса. М.: Наука, 246 с.

Маракушев А.А., Сук Н.И., Новиков М.П. (1997) Хлоридная экстакция металлов и проблема их миграции из магматических очагов. *Докл. АН*, **352**(1), 83-86.

Павлов Д.И. (1975) Магнетитовое рудообразование при участи экзогенных хлоридных вод. М.: Наука, 246 с.

Павлов Д.И., Рябчиков И.Д. (1968) Долериты, застывшие в соляной толще. *Изв. АН СССР, сер. геол.*, (2), 52-63.

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. (2009) СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 200 с.

Пильтенко М. К. (1964) О возможности образования щелочных горных пород посредством палингенеза супракрустальных соленосных толщ. *Происхождение щелочных пород*. Труды 3-го Всерос. петрограф. совещ. М.: Наука, 117-128.

Покровский Б.Г. (2000) Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. М.: Наука, 225 с.

Пуртов В.К., Анфилогов В.Н., Егорова Л.Г. (2002) Взаимодействие базальта с хлоридными растворами и механизм образования кислых расплавов. *Геохимия*, (10), 1084-1097.

Пучков В.Н. (2005) Везувий и другие. Самиздат. http://samlib.ru/p/puchkow_w_n/vezuviyiokrestnosti.shtml (accsessed 12.12.2015)

Пущаровский Ю.М. (1969) Резонансно-тектонические структуры. *Геотектоника*, (1), 3-12.

Ритманн А. (1964) Вулканы и их деятельность. М.: Мир, 438 с.

Рябчиков И.Д., Хамилтон Д.Л. (1971) О возможности отделения концентрированных хлоридных растворов в ходе кристаллизации кислых магм. *Докл. АН СССР*, **197**(4), 933-936.

Сафонов О.Г., Перчук Л.Л., Литвин Ю.А. (2007) Взаимодействие диопсида и жадеита с хлоридом калия при давлении 5 ГПа. *Докл. АН*, **415**(1), 105-109.

Сердюченко Д.П. (1972) Соленосные осадочные породы в докембрийских толщах земли и их скаполитсодержащие метаморфические производные. *Геология докембрия.* Л.: Наука, 31-41.

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.

Фон-дер-Флаасс Г.С. (1997) Структурно-генетическая модель рудного поля ангаро-илимского типа (Сибирская платформа). *Геол. рудных месторожд.*, **38**(6), 530-544.

Фор Г. (1989) Основы изотопной геологии. М.: Мир, 590 с.

Фролов А.А., Толстов А.В., Белов С.В. (2003) Карбонатитовые месторождения России. М.: НИА-Природа, 494 с.

Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Т. 2. (1977) Внеальпийская Европа и Западная Азия. 359 с. Т. 4. (1984) Альпийский Средиземноморский пояс. 344 с. М.: Недра.

Шейнманн Ю.М. (1960) Закономерности размещения комплексов щелочных пород и связанной с ними минерализации докембрийских щитов и древних подвижных зон. Ч. I. Киев: Изд-во АН УССР, 231 с.

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.

Яншин А.Л., Жарков М.А. (1986) Фосфор и калий в природе. Новосибирск: Наука, 191 с.

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Наумов В.Б. (2005) Геодинамика, потоки и рециклинг летучих компонентов между мантией и верхними оболочками Земли. *Геотектоника*, (1), 45-63.

Aiuppa A., Baker D.R., Webster J. (2009) (Guest Editor) Halogenes in volcanic systems and their environmental impacts. Special Issue. *Chemical Geology*, **263**(1-4), 163 p.

Alagna K.E., Peccerillo A., Martin S., 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. (2016) Salt Tectonics at the Margins of Young Oceans. *Geotectonics*, **50**(3), 244-256.

Brun J.-P., Fort X. (2011) Salt tectonics at passive margins: Geology versus models. *Marine and Petroleum Geology*, 28, 1123–1145. doi: 10 .1016 /j.marpetgeo. 2011.03.004.

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

Hofmann A.W. (1997) Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. *Nature*, 385, 219-229.

Hudec M.R., Jackson M.P.A. (2006) Advance of allochthonous salt sheets in passive margins and orogens. *AAPG Bull*, **90**(10), 1535-1572.

Peccerillo A. & Martinotti G. (2006) TheWestern Mediterranean lamproitic magmatism: origin and geodynamic significance. *Terra Nova*, (18), 109-117.

Rouchy J.-M. (1982) La Genese des Evaporites Messiniennes de Mediterrannee. Paris: Editions du Museum national d´Histoire naturelle, 267 p.

Rowan M.G. (2014) Passive-margin salt basins: hyperextension, evaporite deposition, and salt tectonics Basin Research. *Marine and Petroleum geology*, **26**(1), 154-182. DOI: 10.1111/bre.12043.

Ziegler P.A., Horvath F. (Eds). (1996) Peri-Tethys Memoir 2: Structure and Prospects of Alpine Basins and Forelands. Mem. Mus. Natn. Hist. nat. Paris, **170**, 511 p.

REFERENCES

Aiuppa A., Baker D.R., Webster J. (Guest Editor) (2009) Halogenes in volcanic systems and their environmental impacts. Special Issue. *Chemical Geology*, **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.

Badalov S.T., Vinogradov V.I. (1967) Study of sulphur sources in endogenous fields of Northwest Karamazar. *Izotopy sery i voprosy rudoobrazovaniya.* Moscow, Nauka Publ., 72-83. (In Russian)

Belenitskaya G.A. (2016) Salt Tectonics at the Margins of Young Oceans. *Geotectonics*, **50**(3), 244-256.

Belenitskaya G.A. (1982) Some paleotectonic patterns of salt strata distribution. *Novye dannye po geologii, geohimii, podzemnym vodam i poleznym iskopaemym solenosnyh basseinov*. Novosibirsk, Nauka Publ., 176-187. (In Russian)

Belenitskaya G.A. (1998) Halogen-bearing basins. *Litogeodinamika i minerageniya osadochnyh basseinov*. (Ed. A.D. Shcheglov). St.Petersburg, VSEGEI Publ., 220-320. (In Russian)

Belenitskaya G.A. (2000) *Solenosnye osadochnye basseiny. Litologo-facial'nyi, geodinamicheskii i mineragenicheskii analiz* [Salt-bearing sedimentary basins. Lithofacies, geodynamic, and mineragenic analysis]. *Osadochnye basseiny Rossii*, (4). St.Petersburg, VSEGEI Publ., 72 p. (In Russian)

Belenitskaya G.A. (2008) Minerageny of salt-bearing basins of the world. Salt-bearing sedimentary basins of continents. *Entsiklopedicheskii spravochnik "Planeta Zemlya"* [Encyclopaedic handbook "Earth planet"]. (Ed. L.I. Krasnyi). Volume "Minerageniya". St.Petersburg, VSEGEI Publ. B. 1, 165-189. (In Russian)

Belenitskaya G.A. (2013) *Tektonicheskie aspekty prostranstvennogo i vremennogo raspredeleniya solenosnykh basseinov mira* [Tectonic aspects of space and time distribution of salt-bearing basins of the world]. *Elektronnoe nauchnoe izdanie Al'manah "Prostranstvo i Vremya"*, **4**(1). Cite MLA 7: Web. <2227-9490eaprovr_east4-1.2013.22>. (In Russian)

Belenitskaya G.A. (2015) Participation of natural salts in alkaline magmatism. Tectonic-sedimentary preconditions. Probabilistic lithological and petrological models of alkaline magmatism with salt participation. *Petrografiya magmaticheskikh i metamorficheskikh gornykh porod.* Petrozavodsk, KarNTs RAN, 96-101. (In Russian)

Belenitskaya G.A. (2017) Salt in the Earth's crust: distribution and kinematic history. *Litosfera*, **17**(3), 5-28. (In Russian)

Bogatikov O.A., Ryabchikov I.D., Kononova V.A. (1991) *Lamproity* [Lamproites]. Moscow, Nauka Publ., 301 p. (In Russian)

Brun J.-P., Fort X. (2011) Salt tectonics at passive margins: Geology versus models. *Marine and Petroleum Geology*, **28**, 1123-1145. doi: 10 .1016 /j.marpetgeo .2011 .03 .004.

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

Fon-der-Flaass G.S. (1997) Structural genetic model of the Angara-Ilim type ore field (Siberian Platform). *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **38**(6), 530-544. (In Russian)

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)

Gavrilenko E.S., Derpgol'ts V.F. (1971) *Glubinnaya gidrosfera Zemli* [Deep hydrosphere of the Earth]. Kiev, Naukova dumka Publ., 272 p. (In Russian)

Geologicheskii slovar' [Geological Dictionary]. (2010) St.Petersburg, VSEGEI Publ. (In Russian)

Glavneishie provincii i formacii shchelochnykh porod [Major provinces and formations of alkaline rocks]. (1974) (Chief ed. L.S. Borodin). Moscow, Nauka Publ., 376 p. (In Russian)

Grishina S.N., Polozov A.G., Mazurov M.P., Goryainov S.V. (2014) Genesis of chloride-carbonate deposits of the Udachnaya-Vostochnaya Pipe. *Dokl. Arad. Nauk*, **458**(2), 198-200. (In Russian)

Hain V.E. *Regional'naya geotektonika* [Regional geotectonics]. V. 2. (1977) *Vneal'piiskaya Evropa i Zapadnaya Aziya* [Extra-Alpine Europe and West Asia]. Moscow, Nedra Publ., 359 p. V. 4. (1984) *Al'piiskii Sredizemnomorskii poyas* [Alpine Mediterranean belt]. Moscow, Nedra Publ., 344 p. (In Russian)

Hofmann A.W. (1997) Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. *Nature*, **385**, 219-229.

Hudec M.R., Jackson M.P.A. (2006) Advance of allochthonous salt sheets in passive margins and orogens. *AAPG Bull*, **90**(10), 1535-1572.

Jarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., Naumov V.B. (2005) Geodynamics, flows and recycling of volatile components between the mantle and the upper envelopes of the Earth. *Geotektonika*, (1), 45-63.(In Russian)

Karbonatity [Carbonatites]. (1969) (Ed. O. Tattl, Dzh. Gittins). 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. (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. (1997) Alkaline magmatism in the Earth's history and evolution of mantle fluid regime. *Dokl. Akad. Nauk*, **348**(5), 665-667. (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)

Kogarko L.N., Ryabchikov I.D. (1978) Volatiles in magmatic processes. *Geokhimiya*, (9), 1293-1321. (In Russian)

Korenevskii S.M. (1973) *Kompleks poleznykh iskopaemykh galogennykh formatsii* [Mineral complex of salt formations]. Moscow, Nedra Publ., 299 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)

Marakushev A.A., Suk N.I., Novikov M.P. (1997) Chloride extraction of metals and problem of their migration from magmatic chambers. *Dokl. Akad. Nauk*, **352**(1), 83-86. (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)

Pavlov D.I. (1975) *Magnetitovoe rudoobrazovanie pri uchastii ekzogennykh khloridnykh vod* [Magnetite ore formation with participation of exogenous chloride waters]. Moscow, Nauka Publ., 246 p. (In Russian)

Pavlov D.I., Ryabchikov I.D. (1968) Dolerite consolidated in salt strata. *Izv. Akad. Nauk SSSR*, *Ser. Geol*., (2), 52-63. (In Russian)

Peccerillo A. & Martinotti G. (2006) The Western Mediterranean lamproitic magmatism: origin and geodynamic significance. *Terra Nova*, **18**, 109-117.

Petrograficheskii kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya [Petrographic code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact rocks]. (2009) St.Petersburg, VSEGEI Publ., 200 p. (In Russian)

Pil'tenko M.K. (1964) Possibility of alkaline rock formation through palingenesis of zsupercrustal salt-bearing strata. *Proiskhozhdenie shchelochnykh porod. Trudy 3 Vsesoyuz. Petrograf. Konf.* [Origin of alkaline rocks Proc. 3rd All-Union Petrograf, Conf.]. Moscow, Nauka Publ., 117-128. (In Russian)

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. (2005) *Vezuvii i drugie* [Vesuvius and others]. Samizdat. http://samlib.ru/p/puchkow_w_n/vezuviyiokrestnosti.shtml Ot 12.12.15. (In Russian)

Purtov V.K., Anfilogov V.N., Egorova L.G. (2002) *Vzaimodeistvie bazal'ta s khloridnymi rastvorami i mekhanizm obrazovaniya kislykh rasplavov* [Interaction of basalt with chloride solutions and mechanism of acid melt formation]. *Geokhimiya*, (10), 1084-1097. (In Russian)

Pushcharovsky Yu.M. (1969) Resonance-tectonic structures. *Geotektonika*, (1), 3-12.

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 Mediterrannee. Paris: Editions du Museum national d´Histoire naturelle, 267 p.

Rowan M.G. (2014) Passive-margin salt basins: hyperextension, evaporite deposition, and salt tectonics Basin Research. *Marine and Petroleum geology*, **26**(1), 154-182. doi: 10.1111/bre.12043.

Ryabchikov I.D., Hamilton D.L. (1971) Possibility of separation of concentrated chloride solutions in the course of acid magma crystallization. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **197**(4), 933-936. (In Russian)

Safonov O.G., Perchuk L.L., Litvin Yu.A. (2007) Interaction of jadeite and diopside with potassium chloride at a pressure of 5 GPa. *Dokl. Akad. Nauk*, **415**(1), 105-109. (In Russian)

Serdyuchenko D.P. (1972) Salt-bearing sedimentary rocks in Precambrian Earth's strata and their scapolite metamorphic derivatives. *Geologiya dokembriya*. Leningrad, Nauka Publ., 31-41. (In Russian)

Shchelochnye porody [Alkaline rocks]. (1976) (Ed. H. Serensen). Moscow, Mir Publ., 400 p. (In Russian)

Sheinmann Yu.M. (1960) *Zakonomernosti razmeshcheniya kompleksov shchelochnykh porod i svyazannoi s nimi mineralizatsii dokembriiskikh shchitov i drevnikh podvizhnykh zon* [Location patterns of akaline rock complexes and related mineralization of Precambrian shields and old mobile zones]. Pt. I. Kiev, AN USSR. 231 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)

Yanshin A.L., Zharkov M.A. (1986) *Fosfor i kalii v prirode* [Phosphorus and potassium in nature]. Novosibirsk, Nauka Publ., 191 p. (In Russian)

Yunov A.Yu. (1980) *Stroenie, razvitie i perspektivy neftegazonosnosti podvodnykh okrain Zapadnoi Afriki i Vostochnoi Azii* [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)

Zavaritskii A.N. (1961) *Izverzhennye gornye porody* [Igneous rocks]. Moscow, Akad. Nauk SSSR. 455 p. (In Russian)

Ziegler P.A., Horvath F. (Eds). (1996) Peri-Tethys Memoir 2: Structure and Prospects of Alpine Basins and Forelands. Mem. Mus. Natn. Hist. nat. Paris, **170**, 511 p.