

# ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 552.33:552.53:552.11(100)

## Галоконтаминация мантийных магм: роль солей в образовании щелочных комплексов

Г. А. Беленицкая

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского  
199106, Санкт-Петербург, Средний просп., 74. E-mail: gab\_2212@mail.ru

(статья поступила в редакцию 03.07.2025 г.)

Результаты анализа вещественных и пространственно-временных соотношений между щелочными магматическими и соленосными комплексами позволили выявить и охарактеризовать предпосылки и признаки участия глубоко погребенных солей в щелочном магматизме. Главные из них: подобие специфических наборов макро- и микрокомпонентов соленосных (галофильных) и щелочных (фойдафильных) комплексов, а также близость областей их распространения. Выделены соляно-щелочные ассоциации, охарактеризованы их тектонические типы и эталонные объекты каждого типа. Впервые обоснована геолого-генетическая модель «галоконтаминации магмы» – участия солей в щелочном магмогенезе в качестве источника щелочных металлов и летучих. Дан сравнительный анализ модели с другими моделями щелочного магмогенеза.

Ключевые слова: природные соли, щелочной магматизм, магматическая ассимиляция, галоконтаминация, щелочно-соляная ассоциация, галофильные парагенезы, фойдафильные парагенезы.

DOI: 10.17072/psu.geol.25.1.3

### Введение

Сравнительный анализ вещественных и пространственно-временных соотношений природных солей и щелочных магматических комплексов, выполненный на региональном и глобальном материале, позволил выявить и охарактеризовать геологические предпосылки обсуждения вопроса участия солей в щелочном магмообразовании в качестве источника щелочных и летучих металлов (Беленицкая, 2018, 2019, 2020, 2021; Belenitskaya, 2019). Главные из них:

1) сходство наборов специфических и типоморфных компонентов и микрокомпонентов состава соляных (галофильных) и щелочных (фойдафильных, по Лазаренков, 1988) комплексов (Na, K, Cl, Mg, Ca, SO<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> и широкий спектр микрокомпонентов – Rb, Br, B, Cs, Sr, F и др.);

2) довольно частая пространственная близость этих комплексов, в том числе калиевых разновидностей, и их закономерные временные соотношения;

3) подобие ряда важных закономерностей размещения тех и других (геотектонической позиции, стратиграфического распределения, унаследованно-циклического характера размещения и др.). В данном сообщении приводятся общие итоги выполненных ранее и последующих исследований.

Прослеженное частое пространственное сонахождение разновозрастных соленосных и щелочных комплексов послужило основанием для выделения соляно-щелочных объектов – ассоциаций, провинций, поясов (Беленицкая, 2018, 2019). В их состав входят: щелочные магматические комплексы и погребенные в их субстрате более древние соли, образующие основную доминантную пару; более «молодые» соляные толщи, суб-

© Беленицкая Г. А., 2026



Работа лицензирована в соответствии с CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

синхронные магматизму, и более молодые, часто связанные с рециклингом более древних солей; нередко также присутствуют еще более древние щелочные и соляные толщи.

Различают три основных тектонических типа соляно-щелочных объектов: покровно-складчатый, рифтогенный и активизированных пассивных окраин. В составе покровно-складчатого типа, наиболее широко распространенного, условно объединены объекты разновозрастных складчатых областей с прилежащими зонами их тектонических перекрытий покровно-надвиговыми пакетами, сорванными с палеоокраин платформ и средних массивов.

Наиболее уверенно щелочно-соляные объекты устанавливаются в неогеодинамических щелочных провинциях. Объекты покровно-складчатого типа характерны для аккреционно-коллизийных суперсистем и их обрамлений – Альпийско-Гималайской коллизийной, Евразийской (Центрально-Азиатской) периколлизийной, Западно-Американской (Восточно-Тихоокеанской) активноокраинной, включающей перисубдукционные области эпиплатформенных орогенов. Объекты рифтогенного типа широко распространены в пределах Рейнско-Ливийско-Нигерийского и Афро-Аравийского суперпоясов. Пассивноокраинный тип объектов характерен для Циркуматлантического суперкольца, в наибольшей мере для его Северо-западно-Африканского отрезка, а также для Привосточно-Африканского (Мозамбикско-Мадагаскарского) пояса.

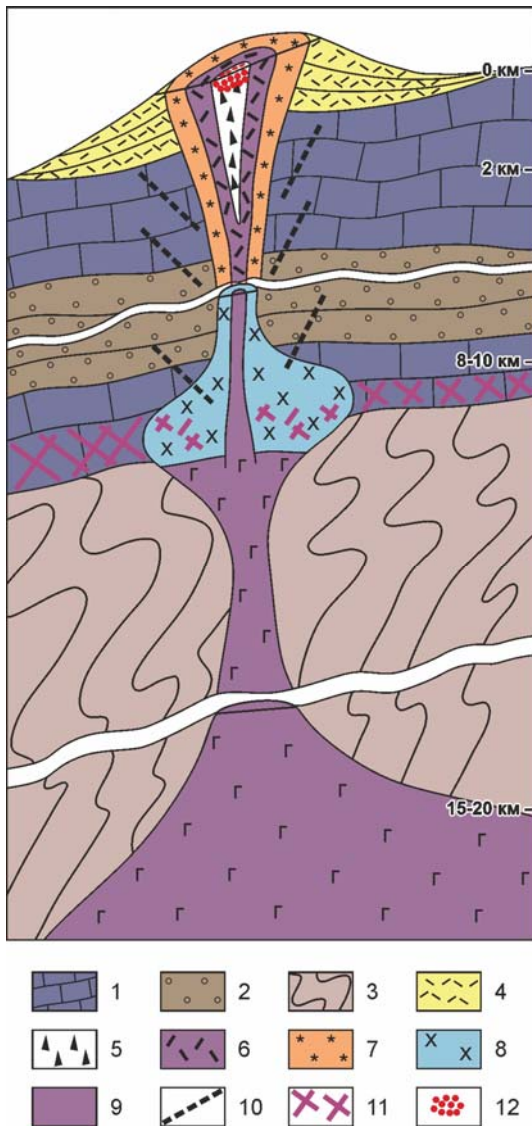
Щелочно-соляные объекты палеогеодинамической группы наиболее уверенно намечаются в регионах с мезозойским и палеозойским щелочным магматизмом: в Южнотаймырско-Хатангско-Прианабарском, Байкало-Непском, Варангерско-Тимано-Мезенском, Кордильерском, Тянь-Шанском, Урало-Предуральском, Северо-Аппалачском, Енисейско-Чадобецком, Кимберли-Фицройском.

Выделены и охарактеризованы эталонные щелочно-соляные объекты каждого тектонического типа: Итальянская (покровно-складчатый тип), Верхнерейнская (рифто-

генный тип) и Северо-западно-Африканская (пассивноокраинный). Обобщены их наиболее значимые тектонические, кинематические, литологические и петрологические особенности (Бородин, 1974; Когарко, 1977, 2009; Лазаренков, 1988; Мазарович и др., 1990; Пуртов и др., 2002; Щелочные породы, 1976; Peccerillo, Martinotti, 2006; Ziegler, Horvath, 1996). Восстановлена картина пространственно-временных соотношений щелочных магматических комплексов с солями, находившимися в субстрате этих комплексов во время их формирования, а также с более «молодыми» соляными толщами, субсинхронными щелочному магматизму.

Результаты анализа глобального материала показали, что нахождение соленосных пород на путях восходящего движения глубинных магм представляет собой достаточно распространенное и геологически закономерное явление и позволяет наметить геолого-генетическую модель «галоконтаминации магмы» (рис. 1). Пересекаемые горячей магмой уровни соленосности благоприятны для ее инъекционного внедрения с образованием промежуточных камер – центров (очагов) ассимиляции магмой соленосных (карбонатно-сульфатно-соляных) комплексов, контаминации магмы их компонентами и взаимодействия между ними с формированием щелочных пород. В процессе химического взаимодействия горячих магм с ассимилированными компонентами галофильных сообществ образуются разнообразные неравновесные соляно-расплавные системы, резко обогащенные (пересыщенные) щелочными металлами и летучими.

Рассмотрена роль компонентов галофильных сообществ в щелочном магматизме. Соли и парагенные им макро- и микрокомпоненты соленосных толщ могут служить мощным источником натрия и калия, а также разнообразных летучих компонентов, способных обеспечить характерные и специфические черты щелочного пороодообразования. Важно, что вопрос об источнике в магме щелочных и летучих компонентов является одним из ключевых в проблеме генезиса щелочных



**Рис. 1.** Обобщенная модель щелочно-ультраосновного с карбонатами комплекса. По (Фролов и др., 2003), с выделением уровней вероятной солёности осадочного разреза и «флюидогенных кор выветривания». 1–2 – породы платформенного чехла: 1 – карбонатные, 2 – терригенные; 3 – кристаллические породы (фундамент платформы); 4 – вулканогенные образования конуса; 5 – карбонаты; 6–7 – комплекс щелочных пород верхнего яруса: 6 – сиениты, 7 – фонолиты и их брекчии; 8 – фойдолиты среднего яруса; 9 – ультрамафитовая интрузия нижнего яруса; 10 – дайковая фацция щелочных пород и карбонатов; 11 – уровни солёности, благоприятные для формирования промежуточных магматических очагов и взаимодействия солей с магмой; 12 – мощные «флюидогенные коры выветривания», связанные с разгрузкой в зону гипергенеза флюидов, обогащенных летучими компонентами

пород (Когарко, 1977; Пуртов, 2002; Рябчиков, Хамилтон, 1971; Aiurra et al., 2009). Широкий спектр этих компонентов, локализованных в солёных комплексах по доминирующему характеру их влияния на процессы щелочного петрогенеза, можно условно разделить на две группы: 1) вещественные («донорские») – Na, K и др. (основные породообразующие катионы солей), а также ряд малых и микрокомпонентов; 2) иницирующие и каталитические, преимущественно летучие – CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, F и др. (заклученные в составе анионов солей и парагенных им сульфатно-карбонатных пород). Большинство компонентов галофильных сообществ могут выполнять обе функции. Благодаря высоким содержаниям в солёных комплексах они способны влиять как на особенности состава щелочных магматических тел и сопутствующих им гидротермально-метасоматических образований (на их породные, минеральные, химические, изотопные показатели), так и на их структурно-текстурные и пространственные особенности, в том числе на широкое развитие агпитовых структур, пегматоидных образований, на морфологию тел и на их пространственные взаимоотношения. Преобладающий геохимический тип соляных толщ (галититовые или калиеносные) может влиять на состав формирующихся щелочных комплексов, на тип щелочности – существенно натриевый или натриево-калиевый.

Таким образом, высокие содержания в солёных сообществах набора галофильных компонентов, образующих комплексный источник и вещества, и агентов-инициаторов многих процессов, могут обеспечивать разнообразие важнейших специфических черт щелочных магматических тел и сопряженных с ними метасоматических образований. Удовлетворительное объяснение получают многие макро- и микроособенности состава, строения и размещения щелочных комплексов, нередко признаваемые необычными и даже уникальными (Когарко, 1977).

Многие конкретные вещественные и структурно-морфологические признаки щелочных пород подтверждают участие компонентов солёных комплексов в щелочном

магматизме. Наиболее характерные из них (Бородин, 1974; Карбонатиты, 1969; Когарко, 1977; Когарко и др., 2009; Лазаренков, 1988; Маракушев и др., 1997; Пильтенко, 1964; покровский, 2000; Пуртов и др., 2002; Сафонов и др., 2007; Фор, 1989; Щелочные породы, 1976; Aicppa et al., 2009; и др.): значительная («избыточная») обогащенность многих разновидностей щелочных пород, помимо натрия и калия, другими галофильными компонентам – хлором, сульфат-ионом, карбонат-ионом, проявляющаяся в широком распространении и чрезвычайном разнообразии минералов, содержащих эти ионы; частая (порой «необъяснимая») гетерогенность и контрастность изменений химического и минерального состава щелочных пород; пространственная близость областей распространения щелочных калийных комплексов и калийных солей; обогащенность тех и других Br, Rb, Cs; установление Cl, Br в твердых и жидких включениях в щелочных породах, в вулканических газах; присутствие солей и серы в выбросах вулканов и в кратерах; наблюдаемые вариации изотопных показателей C, O, Sr и др.

Таким образом, сумма данных позволяет дать положительную оценку вероятности участия солей в щелочном магматизме и принять изложенные представления в качестве рабочего варианта геологической модели «галоконтаминации магмы» как значимой для щелочного магмогенеза.

Важной стороной рассматриваемой модели является высокая вероятность ассимиляции магмой не только солей, но также парагенных солям пород: карбонатов (прежде всего доломитов), ангидритов и углеродистых отложений, часто рудоносных. Их парагенезис с солями весьма устойчив (Беленицкая, 2020) и совместное с солями участие во взаимодействии с магмой вполне закономерно. Важно, что их сохранность *in situ* в ходе тектоно-кинематических и магматических преобразований соленосных комплексов существенно более высокая, чем у солей.

Известно, что щелочные магматические комплексы повсеместно сопровождаются ареалами щелочных метасоматитов (натриевого или калиевого типа), пегматитов и пег-

матоидных пород, гидротермалитов, часто карбонатитов (кальциевых, магниевых, натровых), максимально развитых на фронте восходящих флюидно-расплавных потоков (Бородин, 1974; Фролов и др., 2003; Щелочные породы, 1976; и др.). Вместе они образуют крупномасштабные многоярусные магматогенно-метасоматические щелочно-карбонатитовые системы, сменяющие более глубокие относительно «чистые» производные мантийных магм. Можно полагать, что карбонатиты, являясь значимым масштабным геологическим звеном таких (фойдафильных) макропарагенезов, также могут быть в разной мере обязаны участию в их возникновении избыточных масс щелочей и летучих, связанных с ассимиляцией компонентов галофильных сообществ. Показательно, что и галофильные, и фойдафильные макросообщества резко выделяются среди осадочных и магматических комплексов сходными наборами специфических, часто ярко выраженных черт состава и строения.

Экспериментальные исследования процессов взаимодействия алюмосиликатных расплавов с природными солями и высококонцентрированными рассолами пока весьма ограничены, однако уже полученные данные (например, А. А. Маракушев, В. Г. Бутвина, А. Р. Котельников, Н. И. Сук, Л. Л. Перчук, И. Ф. Кравчук, Ю. А. Литвин, В. К. Пуртов, О. Г. Сафонов, В. Г. Сенин, В. Ю. Чевычелов и др.) во многих аспектах подтверждают рассмотренную геологическую модель.

Многие факторы затушевывают взаимосвязь щелочных магм с солями. Главный среди них: ограниченная сохранность солей-участников магматизма, а именно отсутствие условий для их сохранения, особенно в зонах проявления магматизма. Эту связь мешают видеть и другие факторы разного плана, в частности современная пространственная разобщенность доступных наблюдению щелочных и соляных объектов доминантной пары; разновозрастность этих объектов; различия их масштабов и др. Серьезной помехой является разобщенность исследователей и дисциплин, изучающих щелочные и соляные объекты, разная специфика исследова-

ний, а также устоявшиеся базовые представления о генезисе тех и других.

Опознанию соляно-щелочных парагенезов, помимо литологических и петрологических признаков, может способствовать комплексное рассмотрение этих парагенезов в целом, с учетом всех их разновозрастных членов, и их сопоставление с эталонными объектами. Эффективны региональные палеотектонические, палеогеографические и кинематические реконструкции, главная задача которых заключается в восстановлении исходных границ распространения соленосных комплексов и особенно характера их размещения на время проявления щелочного магматизма.

Рассматриваемая модель имеет определенные черты сходства с некоторыми обсуждавшимися в литературе представлениями об ассимиляции магмой осадочных пород. Наиболее известные из них предполагают ассимиляцию карбонатных пород (Бородин, 1974; Ритман, 1964; Щелочные породы 1976; и др.). Принципиальное отличие предлагаемой нами модели состоит в том, что она предполагает обязательное наличие солей в пересекавшихся магмой разрезах литосферы и именно их участие в магматизме рассматривает как определяющий фактор «щелочной» направленности процессов взаимодействия. Другая часто обсуждаемая модель А. Хофманна (Hofmann, 1997) предполагает ответственным за образование щелочных пород мантийный рециклинг океанической коры с перекрывающими ее соленосными осадками. Хотя эта модель (подобно рассмотренной нами) также ориентирована на вовлечение в магматизм в том числе и соленосных составляющих, однако важно учитывать, что для обсуждаемых в этой модели «чисто океанических» геодинамических обстановок повышенная соленосность осадков не характерна (Беленицкая, 2020).

К проблеме взаимодействия с магмами солей осадочных разрезов проявляли интерес и другие исследователи (Бородин, 1974; Рябчиков, Хамилтон, 1971; и др.). Однако применительно к собственно щелочному петрогенезу вопрос почти не рассматривался. Приведенное выше предположение

М. К. Пильтенко (Пильтенко, 1964) об участии солей в образовании щелочных пород никакой поддержки в петрологической литературе не получило. Более значимая роль солям и особенно рассолам отводится в процессах связанного с магматизмом рудогенеза.

Одним из преимуществ предлагаемой нами модели контаминации магмы веществом соленосных (и карбонатно-соленосных) комплексов является масштабность и локализованность резерва заключенных в них щелочных и летучих компонентов, а потому ее способность объяснить важнейшие особенности щелочных комплексов. Для любых мантийных поступлений количество этих компонентов ограничивается не только их вероятными концентрациями в составе глубинных флюидов, но и возможной общей массой самих флюидных поступлений, даже с учетом вероятности их относительной длительности. Модель позволяет обсуждать процессы контаминации магмы солями, так же как важный фактор фракционирования, раскрывает новые механизмы и причины его реализации. Она дает адекватное объяснение факту раздельного нахождения в природе калиевых и натриевых типов щелочных комплексов, рассогласованности их накопления. Новое толкование получают многие неоднократно отмечавшиеся исследователями специфические, «непонятные» и даже парадоксальные черты состава и строения щелочных пород (Бородин, 1974; Когарко, 1977; Щелочные породы 1976).

Однако стоит подчеркнуть, что эта модель предлагается не в качестве альтернативы существующим представлениям. Она не отрицает возможности возникновения магм повышенной щелочности уже в мантии, так же как и участия других обсуждаемых механизмов роста щелочности в процессе эволюции магм. Весьма вероятна реализация разных вариантов щелочного магмогенеза и наличие (и даже совмещение) щелочных пород разного генезиса, обязанных разным геологическим факторам.

Перспективно использование прогнозных возможностей рассмотренной модели при изучении как щелочных, так и соленосных комплексов. Наличие в областях современ-

ной или бывшей тектоно-магматической активизации солей (или признаков их бывшего присутствия) может служить предпосылкой возможного наличия проявлений щелочного магматизма, а распространение щелочных комплексов – современного или бывшего присутствия солей. Наиболее значимыми предпосылками развития щелочного магматизма являются признаки бывшего наличия в глубоких частях разрезов древних (домагматических) погребенных солей, ныне преимущественно лишь их реликтов, а чаще – проявлений во вмещающих породах соляно-тектонических деформаций. Важным косвенным показателем является также наличие «молодых» (син- и постмагматических) солей инъекционно-осадочной природы, не являющихся участниками щелочного магматизма. В конкретных регионах для появления щелочных объектов перспективны области пересечения зон восходящих внедрений мантийных магм с уровнями более древних соленосных комплексов. Предлагаемая модель должна способствовать привлечению более серьезного внимания к соленосности разрезов также при исследовании гидротермально-метасоматических и других эндогенных процессов повышенной щелочности, весьма часто рудоносных. Анализ процессов контаминации магм солями и взаимодействий между ними – возможный ключ к познанию природы этих образований и к раскрытию причин их рудоносности.

Хотя геологические положения рассматриваемой модели, безусловно, требуют дальнейших целенаправленных исследований, все же хотелось бы, чтобы и предлагаемая модель, включающая в число исследуемых факторов реально существующие мощные коровые источники щелочных и летучих металлов, заняла место в качестве закономерного звена в системе обсуждаемых представлений о щелочном магмообразовании.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Российского Фонда фундаментальных исследований (проекты 07-05-00907-а, 10-05-00555-а, 16-15-20048-Д-с).*

### Библиографический список

*Беленицкая Г. А.* Об участии природных солей в щелочном магматизме. Статья 1. Природные соляно-щелочные ассоциации // Литосфера. 2018. № 18(2). С. 153–176. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-153-176 EDN: XOFPQT

*Беленицкая Г. А.* Об участии природных солей в щелочном магматизме. Статья 2. Эталонные объекты. Геологические аспекты модели // Литосфера. 2019. № 19(4). С. 499–518. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-4-499-518 EDN: YVPLHM

*Беленицкая Г. А.* Соли Земли. Тектонические, кинематические и магматические аспекты геологической истории. М.: Изд-во ГЕОС, 2020. 606 с.

*Беленицкая Г. А.* Об участии природных солей в щелочном магматизме. Статья 3. Генетические аспекты модели соляно-щелочных взаимодействий // Литосфера. 2021. № 21(2). С. 172–197. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-172-197 EDN: WEWORJ

*Бородин Л. С., Капустин Ю. Л., Лапин А. В. и др.* Главнейшие провинции и формации щелочных пород / отв. ред. Л. С. Бородин. М.: Наука, 1974. 376 с.

Карбонатиты / под ред. О. Таттла и Дж. Гиттинса. Перевод с англ. М.: Мир, 1969. 487 с.

*Козарко Л. Н.* Проблемы генезиса агпайтовых магм. М.: Наука, 1977. 294 с.

*Козарко Л. Н., Асавин А. М.* Калиевый магматизм Мирового океана (на примере Атлантики). Геохимия. 2009. № 9. С. 899–909. EDN: KWIDND

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

*Мазарович А. О., Фрих-Хар Д. И., Козарко Л. Н. и др.* Тектоника и магматизм островов Зеленого мыса // Тр. ГИН. М.: Наука, 1990. Вып. 451. 246 с.

*Маракушев А. А., Сук Н. И., Новиков М. П.* Хлоридная экстракция металлов и проблема их миграции из магматических очагов // ДАН РАН. 1997. № 352(1). С. 83–86.

*Пильтенко М. К.* О возможности образования щелочных горных пород посредством палингенеза суперкрупных соленосных толщ // Происхождение щелочных пород: Тр. 3 Всес. петр. совещ. М.: Наука, 1964. С. 117–128.

*Покровский Б. Г.* Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии // Тр. ГИН РАН. М.: Наука, 2000. Вып. 535. 225 с.

Пуртов В. К., Анфилогов В. Н., Егорова Л. Г. Взаимодействие базальтов с хлоридными растворами и механизм образования кислых расплавов // *Geochem. International*. 2002. № 10. С. 1084–1097.

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

Рябчиков И. Д., Хамилтон Д. Л. О возможности отделения концентрированных хлоридных растворов в ходе кристаллизации кислых магм // *ДАН СССР*. 1971. Т. 197, № 4. С. 933–936.

Сафонов О. Г., Перчук Л. Л., Литвин Ю. А. Взаимодействие диоксида и жадеита с хлоридом калия // *Докл. АН СССР*. 2007. Т. 415(5). С. 789–793.

Фор Г. Основы изотопной геологии. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 590 с.

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

Щелочные породы / пер. с англ.; под ред. Х. Серенсена. М.: Мир, 1976. 400 с.

Aiuppa A., Baker D. R., Webster J. (Guest Editor). Halogenes in Volcanic Systems and Their Environmental Impacts. Special Issue. *Chem. Geol.* 2009. No. 263(1–4). 163 p.

Belenitskaya G. A. The role of salt-carbonate contamination of mantle magmas in the formation of alkaline carbonatite complexes // *Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits* / Eds V. A. Zaitsev, L. N. Kogarko. M.: Geokhi RAS, 2019. P. 45–49.

Hofmann A. W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. *Nature*. 1997. No. 385. С. 219–229.

Peccerillo A., Martinotti G. The Western Mediterranean lamproitic magmatism: origin and geodynamic significance // *Terra Nova*. 2006. No. 18. P. 109–117. DOI: 10.1111/j.1365-3121.2006.00670.x EDN: XTYVFC

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

## Halocontamination of Mantle Magmas: the Role of Salts in the Formation of Alkaline Complexes

G.A. Belenitskaya

Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russia

E-mail: gab\_2212@mail.ru

Results of the analysis of material and spatial-temporal relationships between alkaline magmatic and saliferous complexes allowed us to identify and characterize the prerequisites and features of participation of deeply buried salts in alkaline magmatism. The main ones are: similarity of specific sets of macro- and microcomponents of saliferous (halophilic) and alkaline (foidaphilic) complexes and proximity of their distribution areas. Salt-alkaline associations are identified, their tectonic types and reference objects of each type are characterized. For the first time, a geological and genetic model of «halocontamination of magma» with participation of salts in alkaline magma genesis as a source of alkali metals and volatiles is substantiated. A comparative analysis of its basic provisions with other models of alkaline magmatism is given.

Key words: *natural salts; alkaline magmatism; magmatic assimilation; halocontamination; alkali-salt association; halophilic parageneses; foidaphilic parageneses.*

### References

Belenitskaya G.A. 2018. Ob uchastii prirodnykh soley v shchelochnom magmatizme. Statya 1. Prirodnye solyano-shchelochnye assotsiatsii [On the participation of natural salts in alkaline magmatism Article 1. Natural salt-alkaline associations]. *Litosfera*. 18(2):153–176. (in Russian) doi: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-153-176.

Belenitskaya G.A. 2019. Ob uchastii prirodnykh soley v shchelochnom magmatizme. Statya 2. Etalonnye obyektu. Geologicheskie aspekty modeli [On the participation of natural salts in alkaline magma-

tism. Article 2. Standard objects and geological aspects of the model]. *Litosfera*. 19(4):499–518. (in Russian) doi: 10.24930/1681-9004-2019-19-4-499-518

Belenitskaya G.A. 2020. Soli Zemli. Tektonicheskie, kinematicheskie i magmaticheskie aspekty geologicheskoy istorii [Salts of the Earth. Tectonic, kinematic, and magmatic aspects of geological history]. Moskva, GEOS, p. 606. (in Russian)

Belenitskaya G.A. 2021. Ob uchastii prirodnykh soley v shchelochnom magmatizme. Statya 3. Geneticheskie aspekty modeli solyano-shchelochnykh vzaimodeystviy [On the participation of natural salts

in alkaline magmatism. Article 3. Genetic aspects of the model of salt-alkaline interactions]. *Litosfera*. 21(2):172–197. (in Russian) doi: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-172-197

*Borodin L.S.* 1974. Glavneyshie provintsii i formatsii shchelochnykh porod [Main provinces and formations of alkaline rocks]. Moskva, Nauka, p. 376. (in Russian)

Carbonatites. 1969. Eds. O. Tuttle and J. Gittins. New York and London, Interscience Publisher, John Willey and Sons. p. 180.

*Kogarko L.N.* 1977. Problemy genezisa agpaitovykh magm [Problems of agpaitic magma]. Moskva, Nauka, p. 294. (in Russian)

*Kogarko L.N., Asavin A.M.* 2009. Kalievyy magmatizm Mirovogo okeana (na primere Atlantiki) [Alkaline magmatism of World Ocean (on example of the Atlantic)]. *Geokhimiya*. 9(9):899–909. (in Russian)

*Lazarenkov V.G.* 1988. Formatsionnyy analiz shchelochnykh porod kontinentov i okeanov [Formation analysis of rocks of the continents and oceans]. Leningrad, Nedra, p. 236. (in Russian)

*Mazarovich A.O., Frikh-KHar D.I., Kogarko L.N. et al.* 1990. Tektonika i magmatizm ostrovov Zelenogo mysa [Tectonics and magmatism of the Cape Verde]. In: Tr. GIN AN SSSR. Moskva, Nauka, p. 243. (in Russian)

*Marakushev A.A., Suk N.I., Novikov M.P.* 1997. Khlordnaya ekstraktsiya metallov i problema ikh migratsii iz magmaticheskikh ochagov [Chloride metal extraction and problem their migration from magmatic chambers]. *DAN RAN*. 352(1):83–86. (in Russian)

*Pil'tenko M.K.* 1964. O vozmozhnosti obrazovaniya shchelochnykh gornykh porod posredstvom palingeneza superkrustalnykh solenosnykh tolshch [About the possibility of rock formation through palingeneze of the supercrust saliferous strata]. In: Proiskhozhdenie shchelochnykh porod. Tr. 3 Vses. petr. soveshch. Moskva, Nauka, pp. 117–128. (in Russian)

*Pokrovskiy B.G.* 2000. Korovaya kontaminatsiya mantiynykh magm po dannym izotopnoy geokhimii [Crust contamination of mantle magma based on the isotope geochemistry data]. In: Tr. GIN RAN. (535), Moskva, Nauka, p. 225. (in Russian)

*Purtov V.K., Anfilogov V.N., Egorova L.G.* 2002. Interaction of Basalt and Chloride Solutions with Application to the Mechanism of Silicic Magma Formation. *Geochem. International*. 40(10):984–996.

*Rittmann A.* 1960. Volcanoes and Their Activity. Interscience Publishers, p. 305.

*Ryabchikov I.D., Hamilton D.L.* 1971. O vozmozhnosti otdeleniya kontsentrirovannykh khlordnykh rastvorov v khode kristallizatsii kislykh magm [About the possibility of separation of concentrate chloride solutions during the acid magma crystallization]. *DAN SSSR*. 197(4):933–936. (in Russian)

*Safonov O.G., Perchuk L.L., Litvin Ju.A.* 2007. Vzaimodeystvie diopsida i zhadeita s khloridom kaliya [Interaction of diopside and jadeite with potassium chloride]. *DAN SSSR*. 415(5):789–793. (in Russian)

*Faure G.* 1986. Principles of isotope geology. Willey, p. 608.

*Frolov A.A., Tolstov A.V., Belov S.V.* 2003. Karbonatitovye mestorozhdeniya Rossii [Carbonatite deposits of Russia]. Moskva, NIA-Priroda, p. 494. (in Russian)

*The alkaline rocks.* Ed. H. Sorensen. Wiley. 1974, p. 622.

*Aiuppa A., Baker D.R., Webster J.* 2009. Halogenes in Volcanic Systems and Their Environmental Impacts. Special Issue. *Chem. Geol.* 263(1–4):163.

*Belenitskaya G.A.* 2019. The role of salt-carbonate contamination of mantle magmas in the formation of alkaline carbonatite complexes. In: *Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits.* Eds. V.A. Zaitsev & L.N. Kogarko. Moskva, Geokhi RAS, pp. 45–49.

*Hofmann A.W.* 1997. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. *Nature*. 385:219–229.

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

*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, p. 511.