

УДК 551.247(100)

СОЛИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ: РАСПРОСТРАНЕНИЕ И КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ

© 2017 г. Г. А. Беленицкая

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

Поступила в редакцию 15.08.2016 г.; принята к печати 29.11.2016 г.

Освещенность в литературе ряда актуальных проблем соляной геологии, касающихся распространенности солей в недрах, особенно в тектонически деформированных комплексах, их трансформации в разных типах структур и кинематической истории остается сравнительно слабой. Цель статьи: охарактеризовать общие тенденции кинематической эволюции солей в ходе тектонического развития под влиянием проявлений соляноTECTONических и собственно тектонических (ортотектонических) деформаций, определяющих итоговую картину распространенности солей. Исследование выполнено на основании широкого критического обобщения литературного и авторского материала, характеризующего соленосные бассейны мира и отдельные эталонные регионы. Используются интегрированные подходы и методы трех современных видов анализа осадочной геологии: комплексный бассейновый, литогеодинамический и флюидогеодинамический. В результате анализа соляные тела систематизированы по характеру деформированности и морфологическим особенностям; выделены три их группы – пластовая (недеформированная), соляноTECTONическая и ортотектоническая. Рассмотрены особенности размещения, морфологии и эволюции тел соляноTECTONической и ортотектонической групп в разных тектонических обстановках. Особое внимание уделено характеристике установленных лишь в последние десятилетия аллохтонных покровов соляноTECTONической группы и наименее изученным и освещенным в литературе соляным телам покровно-складчатых областей ортотектонической группы. Показано, что присутствие в недрах солей этих групп представляет собой распространенное и закономерное явление; раскрыты главные особенности их итогового размещения и морфологии. Впервые проведен эволюционно-кинематический анализ соляных тел на фоне тектонического развития вмещающих их структур. Автор делает ряд выводов об общих тенденциях морфокинетической эволюции соляных тел в недрах под влиянием соляноTECTONических и собственно тектонических деформаций. Один из важных выводов касается относительно нового этапа жизни солей, завершающего ее кинематическую историю: появление солей, вынесенных с мест первоначального нахождения, на новых стратиграфических уровнях в виде субсогласных покровообразных тел инъекционной и инъекционно-осадочной природы. Раскрытие заимости таких процессов показывает роль явлений рециклинга соляных тел (их возрождения или регенерации) в онтогенезе солей, в их тектонической и кинематической истории. Результаты исследований важны в познании теоретических и практических проблем соляной тектоники, геологии солей, геологии нефти и газа, а также ряда общих проблем тектоники, бассейнового анализа, и др. Они могут способствовать прогнозной оценке нефтегазоносности недр, а также решению проблемы возможного участия солей в эндогенных процессах.

Ключевые слова: *соляная тектоника, соляной диапиризм, аллохтонные соляные покровы, кинематическая эволюция, инъекционный, соленосный бассейн, солянокупольный бассейн, соляной рециклинг, Средиземноморский бассейн, Мексиканский бассейн, Атлантический океан*

SALTS IN THE EARTH'S CRUST: DISTRIBUTION AND KINEMATIC HISTORY

Galina A. Belenitskaya

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

Received 15.08.2016; accepted 29.11.2016

Illumination in the literature of a number of topical problems of hydrochloric geology concerning the prevalence of salts in the interior, especially in tectonically deformed complexes, their transformation in different types of structures and kinematic history remains relatively weak. The purpose of the article is to characterize the general tendencies of the kinematic evolution of salts in the course of tectonic development under the influence of the manifestations of salt tectonic and tectonic (orthotectonic) deformations, which determine the final picture of the prevalence of salts. The study was carried out on the basis of a broad critical generalization of literary and authorial material characterizing saline basins of the world and individual reference regions. Integrated approaches and methods of three modern types of analysis of sedimentary geology are used: complex basin, lithogeodynamic and fluid geodynamic. As a result of the analysis, the salt bodies are systematized according to the nature of deformity and morphological features; Three groups of them are distinguished: stratified (undeformed), solanotectonic and orthotectonic. The features of location, morphology, and evolution of bodies of solanotectonic and orthotectonic groups in different tectonic situations are considered. Particular attention is paid to the characterization of allochthonous coverings of the solanotectonic group established only in recent decades and the salt bodies of the covert-folded regions of the orthotectonic group, which have been least studied and illuminated in the literature. It is shown that the presence of these groups in the depths of salts is a widespread and regular phenomenon; The

main features of their final placement and morphology are revealed. For the first time, an evolutionary-kinematic analysis of salt bodies was made against the background of tectonic development of the structures containing them. The author draws a number of conclusions about the general trends in the morphokinetic evolution of salt bodies in the interior under the influence of tectonic and tectonic deformations. One of the important conclusions concerns a relatively new stage in the life of salts that completes its kinematic history: the appearance of salts taken from the original location at new stratigraphic levels in the form of subcoated cover-like bodies of injecting and injection-sedimentary nature. Disclosure the significance of such processes shows the role of the phenomena of salt bodies recycling (their rebirth or regeneration) in the ontogenesis of salts, in their tectonic and kinematic history. The results of the research are important in understanding the theoretical and practical problems of salt tectonics, salt geology, oil and gas geology, as well as a number of general problems of tectonics, basin analysis, etc. They can contribute to the predictive assessment of the oil and gas potential of the earth's interior, as well as the solution of the problem of the possible participation of salts in endogenous processes.

Keywords: salt tectonics, salt diapirism, allochthonous salt sheets, kinematic evolution, injection, salt basin, salt dome basin, salt recycling, Mediterranean basin, Gulf of Mexico basin, Atlantic Ocean

Acknowledgements

This work was financially supported by the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation and the Russian Foundation for Basic Research (projects 10-05-00555-a, 12-05-00513-Д-с, 16-15-20048-Д-с).

Для цитирования: Беленицкая Г.А. (2017) Соли в земной коре: распространение и кинематическая история. *Литосфера*, 17(3). 5-28. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-3-005-028

For citation: Belenitskaya G.A. (2017) Salts in the earth's crust: distribution and kinematic history. *Litosfera*, 17(3), 5-28. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-3-005-028

ВВЕДЕНИЕ

Соленосные осадочные бассейны, т. е. крупные осадочно-породные тела, содержащие мощные соляные толщи, установлены в пределах всех континентов, морей, океанических окраин. Картину их размещения иллюстрирует рис. 1. И на суше, и в акваториях соли вскрыты на всех ныне доступных бурению глубинах. Соленосны около половины всех относительно крупных осадочно-породных бассейнов мира. В них заключено примерно 25 млн км³ солей (Беленицкая, 2004). Отличительные особенности солей – их реологическая неустойчивость (высокая подвижность или текучесть) и химическая активность в условиях земных недр, резко возрастающие при повышении тектонотермальной активности. Благодаря этому они являются важнейшими составляющими флюидодинамических и инъекционных систем, участниками и катализаторами многих физических и химических взаимодействий, восходящих и сублатеральных перемещений подвижных масс в недрах Земли. Итог последних – интенсивная осложненность соляной тектоники¹ – составляет важ-

ную черту около половины крупных соленосных бассейнов мира, именуемых солянокупольными. Во многом по этой же причине подавляющая часть соляных масс ныне находится (сохраняется) в составе осадочного чехла, не подвергавшегося тектоническим деформациям. При этом в составе тектонически деформированных комплексов покровно-складчатых областей и в фундаменте платформ соли распространены значительно меньше, обычно представляя собой либо реликты исходных соляных тел, либо их миграционные производные.

Разработкой широкого круга теоретических и прикладных проблем геологии солей занимались исследователи в рамках разных геологических дисциплин и научных направлений – тектонисты, геологи-солевики, морские геологи, нефтяники и др. Ученые многих стран осветили широкий спектр вопросов соляной тектоники и сопровождающих ее явлений (М.А. Ала, Р.Е. Кент, Ф. Лотце, К. Тэлбот, Г. Рихтер-Бернбург, Ф. Трусхейм, Ю.А. Волож, Р.Г. Гарецкий, М.В. Горфункель, В.С. Журавлев, А.Т. Исмаил-Заде, М.К. Калинин, В.И. Китык, В.С. Конищев, А.И. Конюхов, Ю.А. Косыгин, Н.Я. Кунин, А. Леворсен, Ю.Г. Леонов, Н.В. Не-

¹ Под термином “соляная тектоника”, в соответствии с (Геологический словарь, 2010; Тектоника..., 2004; Толковый словарь..., 1979) мы понимаем совокупность структурно-морфологических проявлений инъекционно-складчатых деформаций соляных масс и вмещающих их пород, обусловленных процессами дифференцированного подъема, нагнетания, внедрения пластичных солей в перекрывающие породы или на их поверхность и их последующего растекания. Ф. Трусхейм (1990) предложил близкий и весьма удобный термин “галокинез” (от греч. hals – соль и kinesis –

движение). В понимании этого термина и его соотношений с дефиницией “соляная тектоника” существуют разночтения, зависящие от представлений авторов о силах, вызывающих движение соляных масс, которые усилились в результате раскрытия многообразия форм движения соли (выжимания, скольжения). Учитывая это, мы используем только термин “соляная тектоника” применительно к разным (любым) формам движения соляных масс (лишь при условии ограниченной роли собственно тектонических сил, деформирующих также вмещающие осадочные серии).

волин, Х.М. Соколин, А.И. Тимурзиев, В.Е. Хаин, В.Н. Холодов, И.И. Чайковский, А.Ю. Юнов и др.).

В последние десятилетия по многим важным вопросам геологии солей наши знания существенно расширились. Открыты целые пояса солянокупольных бассейнов, широко распространенных на больших глубинах, в том числе в субстрате глубоководных акваторий – окраинных и внутренних морей, окраин молодых океанов; достигнуты значительные успехи в изучении поведения солей на больших глубинах в условиях повышенной флюидодинамической активности, в прослеживании процессов их миграции, особенно сублатеральной, формирующей обширные аллохтонные соляные покровы. Этим проблемам посвящаются все больше специальных работ (Кропоткин, Валяев, 1970; Pautot et al., 1973; McBride, 1998; Combella-Bigott, Galloway, 2006; Hudec, Jackson, 2006; Cramez, 2006; Moore, 2010; Brun, Fort, 2011, 2012; Rowan et al., 2012; Rowan, 2014; Jackson et al., 2015; Беленицкая, 2016; и др.). Выполнен разносторонний комплексный анализ закономерностей образования и размещения солей, существенно уточнивший или даже изменивший ряд представлений, в том числе об их палеотектонической позиции и истории (Жарков, 1978; Конищев, 1980; Беленицкая, 1998, 2000, 2004); систематизированы данные о галофильных (солелюбивых) ассоциациях (Беленицкая, 2000, 2004); впервые вскрыты мощные толщи солей в разрезах нижнего докембрия (Горбачев и др., 2011).

Несмотря на большие достижения, освещенность в литературе некоторых актуальных проблем соляной геологии, касающихся распространенности солей в недрах, их геологической и особенно кинематической истории, остается сравнительно слабой. Современная литература по геологии солей посвящена главным образом солям, находящимся в составе осадочного чехла, не подвергшегося ортотектоническим деформациям. Соли в тектонически деформированных комплексах охарактеризованы значительно хуже. Данные об их присутствии в пределах этих областей рассеяны в региональных работах и не систематизированы; исследования, восстанавливающие целостную картину, отсутствуют. Обобщение данных об этих солях, закономерностях их размещения, строения и морфологии, о трансформации в разных типах структур, кинематической эволюции на разных этапах тектонического развития представляет весьма важную и актуальную задачу. Более широкую значимость этих вопросов, выходящую за рамки собственно геологии солей, определяют, в частности, два аспекта. 1. В последние годы в разных геологических дисциплинах уделяется большое внимание инъекционным² процессам. Особенно это касает-

ся осадочной геологии и “холодных” (амагматических) инъекций – флюидов и текучих породных (литокинетических) масс (Беленицкая, 2008). Соли и рассолы занимают важное место среди такого рода инжецируемых объектов и их производных. 2. Раскрывается все больше свидетельств возможного участия солей в эндогенных магматических и метасоматических процессах и в разных типах сопряженного с ними рудогенеза (Беленицкая, 2015). Очевидно, что для оценки возможности включения солей в такого рода эндогенные процессы необходима информация об их наличии в субстрате, при этом на тех глубинах и участках, где было возможно и эффективно их участие в подобных процессах. Ограниченность данных по обоим аспектам геологии солей – их кинематической истории и особенностям распространения в недрах в разных структурно-тектонических ситуациях – тормозит разработку указанных междисциплинарных проблем.

Цель статьи – охарактеризовать общие тенденции кинематической эволюции солей в ходе тектонического развития под влиянием проявлений соляно-ортотектонических и собственно тектонических (ортотектонических) деформаций, определяющих итоговую картину распространенности солей в недрах. Основные задачи: 1) систематизировать соляные тела по характеру их деформированности и морфологическим показателям; 2) рассмотреть особенности размещения, морфологии и эволюции соляных тел с разными типами деформированности – соляно- и ортотектонической – в разных типах тектонических обстановок; 3) провести эволюционно-кинематический анализ соляных тел на фоне тектонического развития вмещающих их структур.

Автор долгие годы занималась вопросами геологии и минерализации соленосных бассейнов, закономерностей их пространственно-временного размещения, палеогеодинамической истории, условий формирования, миграции, разрушения или сохранения (Беленицкая, 1998, 2000, 2004, 2014). Для территории России был выполнен детальный анализ распространенности солей в разных типах геологических структур (Рифогенные... 1990; Рифовые..., 2015). Результаты этих исследований позволили выявить наиболее значимые глобальные и региональные особенности строения, размещения и эволюции соляных объектов разного ранга. В приводимых в статье материалах наряду с итогами выполненных ранее обобщений использованы данные анализа нового литературного материала.

скую литературу А. Daly, Ю.А. Косыгиным, С.И. Романовским, используется применительно к процессам и геологическим телам, обязанным дискретным импульсным внедрениям инородного текучего материала в пространство, занимаемое другим материалом, в частности породами в сфере транзита в недрах или бассейновыми водами в сфере разгрузки в области седиментогенеза.

² Термины “инъекция”, “инъекционный” (от лат. injection – вбрасывание, впрыскивание), введенные в геологиче-

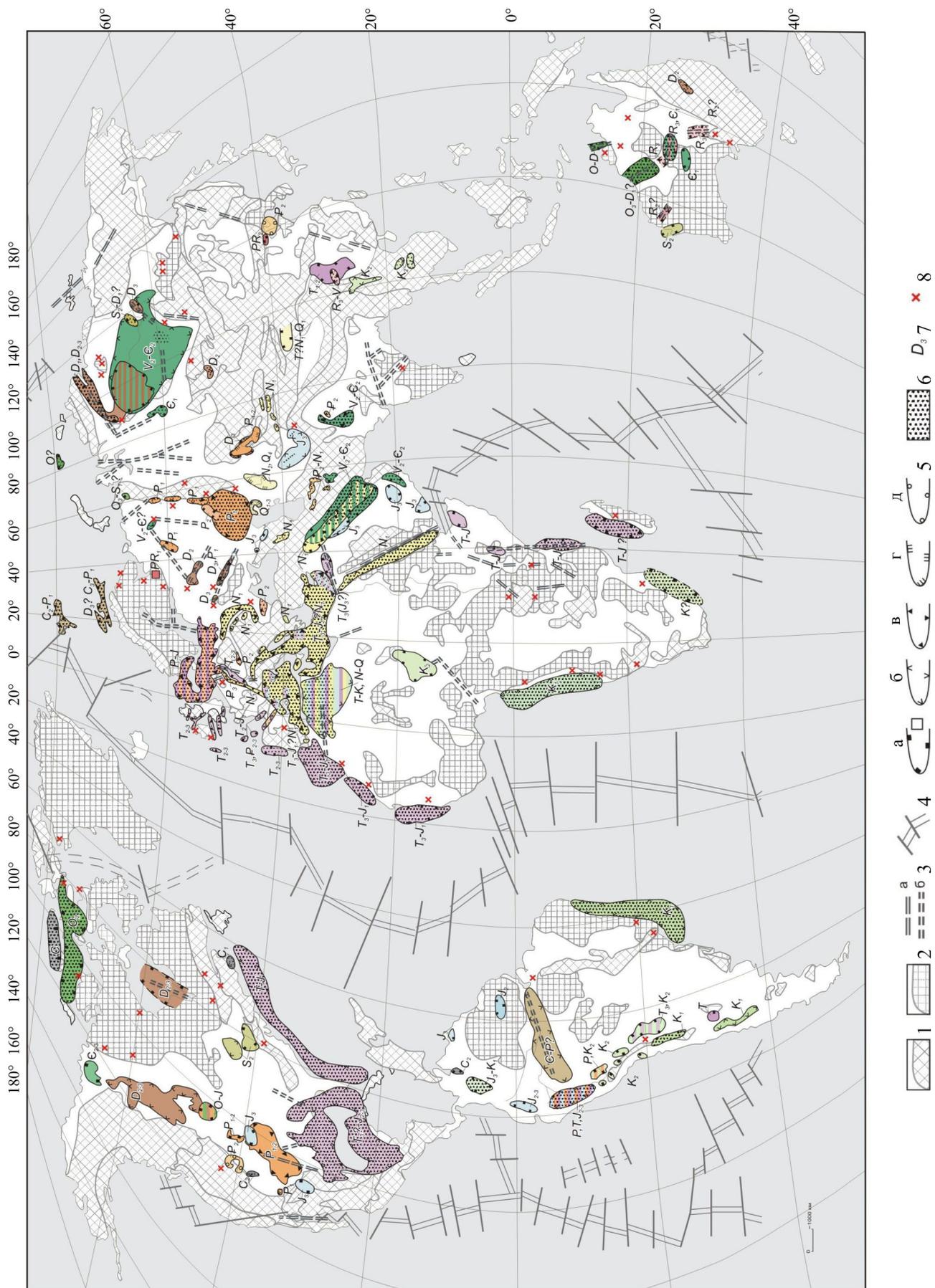


Рис. 1. Соленосные и солянокупольные бассейны мира (Беленицкая, 2014, 2016, с изменениями и дополнениями).

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 океанические; 5 – границы соленосных бассейнов разных вещественно-геохимических типов (сульфатно-кальциевый тип не показан, для смешанных типов использовано сочетание знаков); а – хлоридно-натриевого, б – хлоридно-калиевого, в – сульфатно-калиевого, г – сульфатно-натриевого, д – карбонатно-натриевого; 6 – площади проявления соляной тектоники; 7 – возраст солей (цветная закрапка полей отвечают общепринятым для стратиграфических подразделений, при наличии в разрезе мощных солей двух-трех возрастов дана полосатая закрапка); 8 – проявления солей и сульфатов в докембрийских комплексах.

Fig. 1. Salt and salt dome basins around the world (Belenitskaya, 2014, 2016, with amendments and supplements).

1 – cover-fold areas with discrete residual and injectite-tectonic saline; 2 – basement ledges within the ancient platforms; 3 – continental rifts: а – neogeodynamic, б – Pre-Cenozoic buried; 4 – oceanic rifts; 5 – limits of salt basins of different material-geochemical types; mixed types are shown by a combination of signs: а – chloride-sodium, б – chloride-potassium, в – sulphate-potassium, г – sulphate-sodium, д – carbonate-sodium; 6 – areas of salt tectonics manifestations; 7 – age of salts (field fill colour corresponds to the stratigraphic age of salts; in the presence of thick salts of two or three ages in the sequence, striped shading is given); 8 – manifestations of the salt and sulphate among the Precambrian rocks.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфокинетические группы соляных тел

Ключевые особенности солей – подвижность и химическая активность, а потому нестабильность и плохая сохраняемость на месте возникновения определяют своеобразие их геологической жизни, ее резкие отличия от других осадочных комплексов. Особенно значима для солей роль глубинных воздействий. В большой мере это связано с кинематическими характеристиками солей: высокой миграционной активностью в условиях земных недр, обусловленной относительной легкостью каменной соли (ее плотность 2.1–2.2 г/см³ при средней плотности осадочных пород около 2.5–2.6 г/см³), высокой пластичностью и даже текучестью, резко возрастающими при повышенных давлениях и температурах, когда соль приобретает сметанообразную консистенцию (Колман, 1984). Стоит отметить, что калийные соли по сравнению с каменными обладают еще меньшей плотностью (у сильвина – 1.99 г/см³, у карналлита – 1.6 г/см³) и более высокой миграционной способностью, они часто обнаруживаются во фронтальных частях движущихся соляных масс. Итоговый интервал физико-химических и флюидодинамических условий недр, допускающий и благоприятствующий сохранению солей *in situ* в их исходном залегании, резко сокращен по сравнению с вмещающими комплексами даже при отсутствии собственно тектонических деформаций. В условиях высокой тектонической активности, вызывающей смятие вмещающих пород и массовую эмиграцию находящихся в их составе солей, возможность их сохранения резко сокращается. Важно, что в отличие от приповерхностных условий, где соли, растворяясь, в основном перестают существовать в качестве породных соляных масс, в глубинных зонах происходит преимущественно трансформация морфологии соляных тел без уничтожения большей части самих соляных масс.

Основные объемы солей в земной коре заключены в разрезах осадочно-породных бассейнов, не подвергшихся сколько-нибудь значительным орто-тектоническим деформациям. Это осадочные чехлы молодых и древних платформ, максимально их краевые системы, пограничные со складчатыми областями (краевые прогибы, остаточные впадины), межгорные впадины складчатых областей, а также разрезы современных осадочных бассейнов пассивных окраин и внутри- и межконтинентальных рифтов (еще не завершивших геодинамические циклы развития и не подвергшихся складчатонадвиговым деформациям). Примерно для половины этих соляных тел характерно пластовое залегание, а соляные тела другой половины нарушены соляной тектоникой, часто весьма интенсивно. Соот-

ветственно, в составе тектонически недеформированных осадочно-породных бассейнов различаются две морфологические группы соляных тел: пластовая (не нарушенная соляной тектоникой) и солянотектоническая. Сведения о соляных телах именно этих двух групп служили для большинства исследователей главными объектами изучения и основанием при раскрытии общих закономерностей строения, размещения и образования солей, подробно рассмотренных в специальных работах (например, Жарков, 1978; Конищев, 1980; Busson, 1982; Беленицкая, 1998, 2000, 2014; и др.).

Помимо этих двух групп соляных тел, локализованных в тектонически недеформированных сериях осадочного чехла, соли присутствуют, хотя и в значительно меньшем количестве, среди тектонически деформированных комплексов в пределах покровно-складчатых областей, а также в еще меньшем количестве в разрезах фундамента платформ. Эти соляные тела мы объединили в третью группу, которую называем ортотектонической, или тектонически деформированной. Тела данной группы, подвергшиеся значительным ортотектоническим деформациям и перемещениям, в подавляющем большинстве случаев представляют собой либо реликты солей двух первых групп, либо их тектонические производные. Их доля в общей массе солей небольшая, по-видимому, не превышает единиц процентов, однако геологическая роль весьма значима. Хотя выделение групп достаточно условно, учитывая наличие их частых кинетических и морфологических взаимопереходов, сочетаний и взаимосвязей в пространстве и времени, однако для решения поставленных нами задач оно приемлемо. На мелкомасштабной схематической карте распространения соляных тел земного шара показаны в основном тела двух первых групп (см. рис. 1). Тела третьей группы из-за их ограниченного масштаба и дискретности распространения не могли быть отражены. Исключение составляют лишь показанные внемасштабными знаками сульфатно-соляные проявления и их косвенные признаки среди докембрийских комплексов.

Таким образом, выделены три группы (три макротипа) соляных тел и их ансамблей – пластовая, соляно- и ортотектоническая (собственно тектоническая). Первая содержит тела без каких-либо существенных деформаций, а две другие – деформированные тела с доминированием деформаций одного из двух типов. Именно тип деформаций – соляная тектоника или собственно тектоника – в наибольшей степени определяет морфологию соляных тел, их кинематическую историю и итоговую распространенность в недрах.

Далее рассмотрены особенности размещения, морфологии и эволюции соляных тел лишь этих двух групп: кратко – солянотектонической с акцентом на новые данные последних десятилетий, ха-

рактеризующие аллохтонные пластообразные разновидности соляных тел; подробнее – ортотектонической, ограниченно изученной и освещенной в литературе. Затем, используя эти данные, мы попытались провести совместный эволюционно-кинематический анализ соляных тел и проследить основные тенденции их кинематической эволюции на фоне тектонического развития соленосных структур.

Тела солянотектонической группы

Среди многообразия соляных тел солянотектонической группы можно условно выделить два основных морфокинетических вида, структурно-морфологические различия которых определяются доминирующим вектором миграции солей: восходящим (субвертикальным) или сублатеральным, которым отвечают преобладающие ориентировки соляных тел и их пространственные характеристики (рис. 2). Восходящая миграция формирует диапировые и морфологически подобные им образования, сублатеральная – субпластовые (покровные, покровообразные и др.) соляные тела. Оба вида тел связаны взаимопереходами и образуют разнообразные сочетания.

Субвертикальные соляные тела преобладают в солянокупольных бассейнах континентов. До недавнего времени они считались основным видом структурно-морфологических и кинетических проявлений соляной тектоники для всех типов соленосных бассейнов. В наиболее крупных солянокупольных бассейнах насчитывается от нескольких сотен до тысячи и более такого рода солянокупольных структур. Они хорошо изучены и охарактеризованы в многочисленных работах (например, Косыгин, 1960; Журавлев, 1972; Калинин, 1973; Конищев, 1980; Трусхейм, 1990; Беленицкая, 2000, 2004, 2016; и др.). Отметим лишь основные их особенности. Рассекая осадочные толщи и нарушая их стратификацию, эти тела имеют преимущественно секущие контакты. Многообразны их формы, размеры, пространственные соотношения. Широко представлены диапиры, диапириды, соляные массивы, столбы, стены, капли, дайкоподобные тела и т. д. Диаметр диапиров изменяется от 0.5–1.0 км до нескольких десятков километров и более, площадь поверхности или горизонтального сечения – от единиц и нескольких десятков квадратных километров до многих сотен и даже до 1–3 тыс. км² в куполах-гигантах, высота – от нескольких сотен метров до 7–10 км. По положению вершин соляных структур относительно поверхности Земли различаются открытые и слепые, или погребенные; по взаимоотношению ядер с перекрывающими отложениями – прорванные, скрыто прорванные, непрорванные; по расстоянию между отдельными структурами – от плотно прилегающих до удаленных на сотни ки-

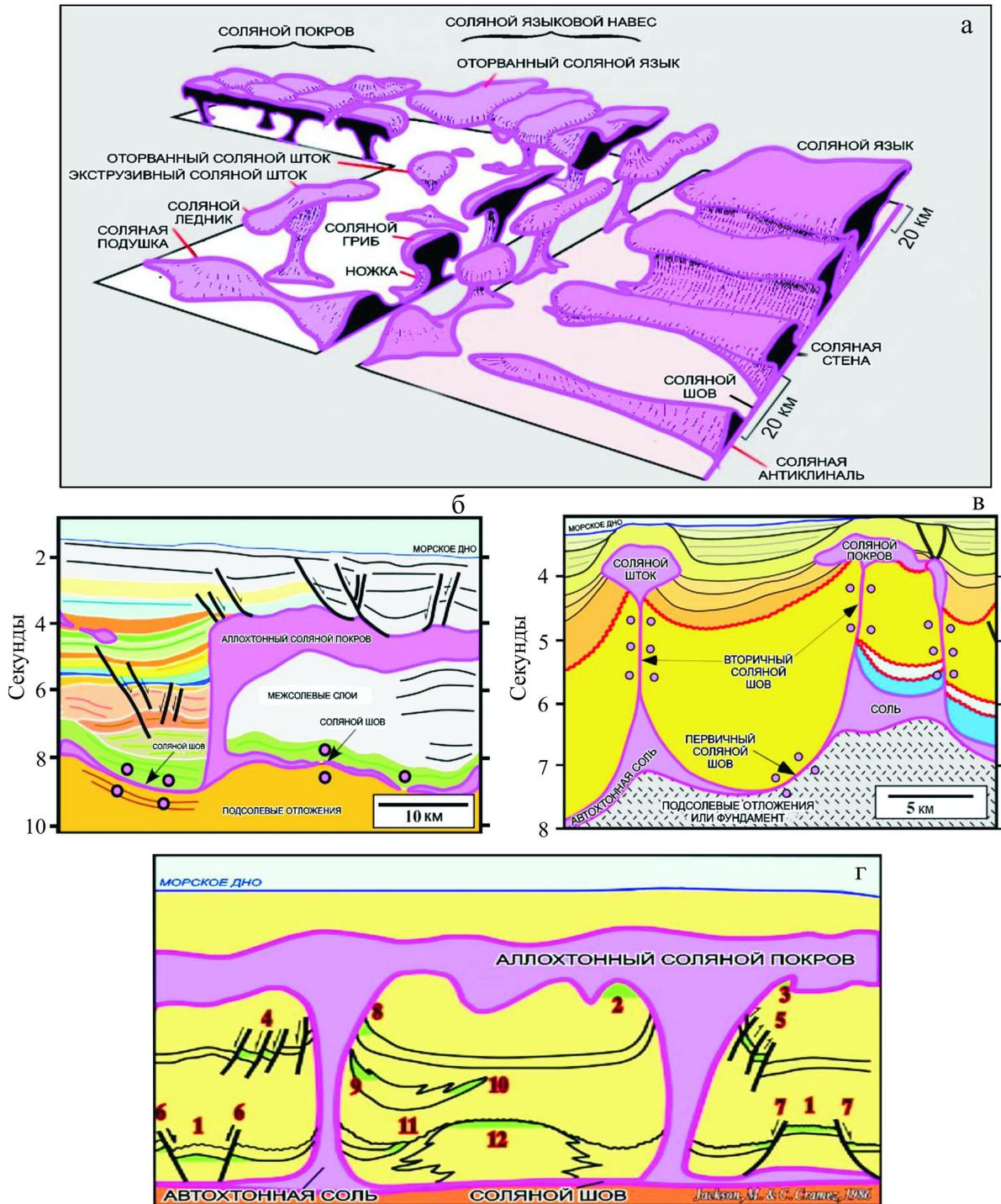


Рис. 2. Морфокинематические проявления соляной тектоники (Cramez, 2006, с изменениями и дополнениями; Дрибус и др., 2008).

Цифры на рис. г обозначают разные типы ловушек углеводородов, связанных с миграцией солей и с аллохтонными покровами: 1 – структурные; 2, 3 – подпокровные (подаллохтонные); 4–7 – присбросовые висячие; 8 – прислоненные; 9, 10 – стратиграфического выклинивания; 11, 12 – несогласия: выклинивания (11), структурные (12).

Fig. 2. Morphokinetic manifestations of salt tectonics (Cramez, 2006, with amendments and supplements; Dribus et al., 2008).

Digits at Fig. г: different types of hydrocarbon traps associated with salt migration and allochthonous sheets: 1 – structural; 2, 3 – sub-cover (sub-allochthonous); 4–7 – fault-line hanging; 8 – onlapping; 9, 10 – stratigraphic pinch-out; 11, 12 – unconformities: pinching-out (11) and structural (12).

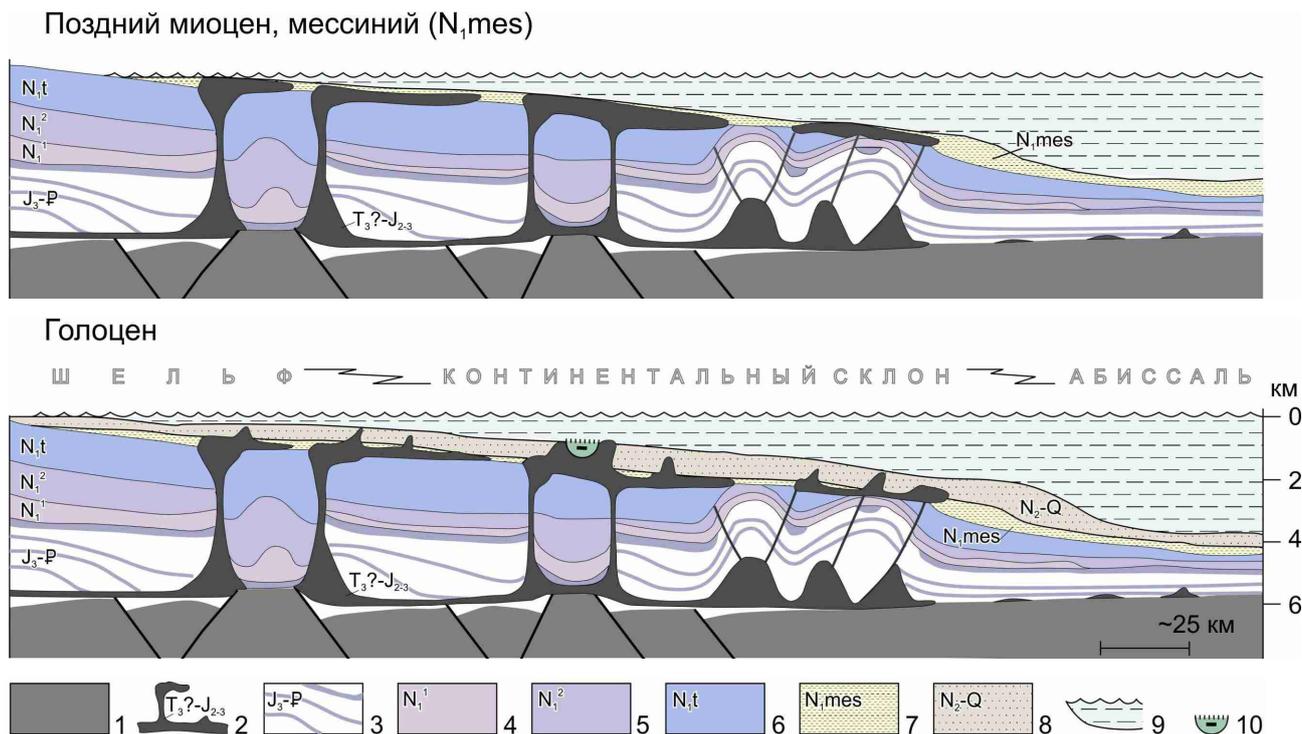


Рис. 3. Развитие аллохтонных соляных покровов в миоцен-четвертичное время на севере Мексиканского залива (McBride, 1998, с изменениями; Combellas-Bigott, Galloway, 2006).

Поздний миоцен, мессиний – растекание инъецированных солей по субстрату и дну акватории с формированием аллохтонных соляных покровов. Голоцен – перекрытие соляных тел бассейновыми осадками, их осложнение солянокупольными структурами с образованием минибассейнов и придонных рассолоносных впадин. 1 – фундамент; 2 – соль Лоанн ($T_3? - J_{2-3}$); 3–8 – осадочные комплексы: 3 – верхней юры–палеогена ($J_3 - P$), 4 – нижнемиоценовые (N_1^1), 5 – среднемиоценовые (N_1^2), 6, 7 – верхнемиоценовые (6 – тортонские, N_1^{3t} , 7 – мессинские, N_1^{3mes}), 8 – плиоцен-четвертичные ($N_2 - Q$); 9 – воды залива; 10 – глубоководное рассольное озеро (типа Орки).

Fig. 3. Allochthonous salt sheets development during the Miocene-Quaternary in the northern Gulf of Mexico. After (McBride, 1998, with amendments; Combellas-Bigott, Galloway, 2006).

Late Miocene, Messinian – spread of injected salts over the substrate and seafloor forming salt allochthonous sheets. Holocene – overlapping salt bodies basin sediments, their complication by salt dome structures with development of mini-basins and benthic brine depressions. 1 – basement; 2 – Louann Salt ($T_3? - J_{2-3}$); 3–8 – sedimentary complexes: 3 – Upper Jurassic–Paleogene ($J_3 - P$), 4 – Lower Miocene (N_1^1), 5 – Middle Miocene (N_1^2), 6, 7 – Upper Miocene (6 – Tortonian, N_1^{3t} , 7 – Messinian, N_1^{3mes}), 8 – Pliocene-Quaternary ($N_2 - Q$); 9 – gulf waters; 10 – deep brine lake (Orca type).

лометров. Расположение солянокупольных структур часто контролируется сбросовыми уступами и разломами в фундаменте.

Сублатеральные производные соляной тектоники – соляные тела, относительно слабо нарушающие стратификацию осадочных серий, нередко субсогласные, также представлены широким спектром морфологических и метрических разновидностей (рис. 2, 3) – от навесов, козырьков, карнизов, лишь осложняющих диапировые структуры, до гигантских аллохтонных соляных покровов и покровообразных тел часто с редуцированными связями с материнскими солями. Широкое и масштабное распространение крупных соляных покровов раскрыто в последние годы. Все более веские обоснования получает их соляноTECTONическая аллохтонная природа (McBride, 1998; Combellas-Bigott,

Galloway, 2006; Cramez, 2006; Hudec, Jackson, 2006; Дрибус и др., 2008; Moore, 2010; Brun, Fort, 2011, 2012; Jackson et al., 2015; и др.). Ранее многие из них трактовались как автохтонные седиментационные (эвапоритовые) соляные толщи. Специальный обзор этой проблемы с учетом имеющихся публикаций выполнен автором в работе “Соляная тектоника на окраинах молодых океанов” (Беленицкая, 2016). Приведем ее некоторые ключевые положения.

Покровообразные аллохтонные тела ныне установлены во многих бассейнах, развитых вдоль окраин молодых океанов, преимущественно в глубоководных частях континентальных склонов и подножий, нередко с захватом прилегающих частей абиссали с океанической и субокеанической корой. Наиболее распространены такие тела на современных активизированных пассивных окраи-

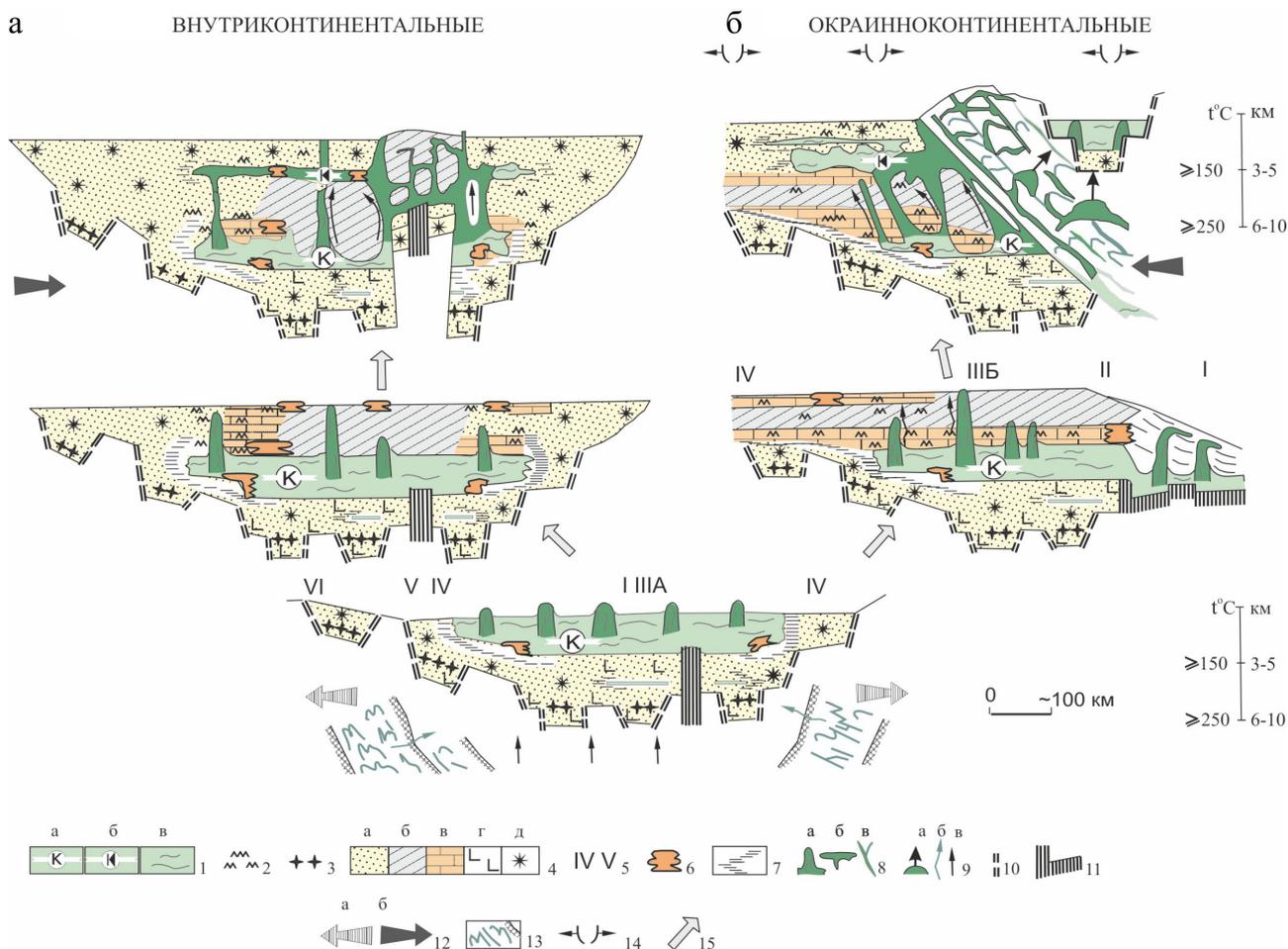


Рис. 4. Модели формирования соленосных бассейнов и кинематической эволюции соляных тел (Беленицкая, 1998, 2000, с дополнениями).

а – эволюция внутриконтинентально-рифтовых систем, подстадии: собственно рифтовая → проседания → инверсионная. б – эволюция окраинно-континентальных систем, стадии: межконтинентально-рифтовая → пассивно-окраинная → субдукционная и коллизионная. 1–3 – геохимические типы галогенных формаций: 1 – а – хлоридно-калиевые, б – хлоридно-сульфатно-калиевые, в – хлоридно-натриевые, 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 – батимальная, IIIА – депрессионно-шельфовая, IIIБ – мелководно-шельфовая, IV – прибрежная сзбхово-лагунная, V – низменно-озерная, VI – предгорно- и горно-озерная; 6 – барьерно-рифтовые комплексы; 7 – ориентировочное перемещение прибрежной зоны; 8 – деформированные соляные тела разных морфокинетических групп: а, б – соляноTECTONической (а – субвертикальные, в – диапирах, б – сублатеральные, 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 рифтогенных структур син- или постскладчатых; 15 – последовательность развития осадочных бассейнов.

Fig. 4. Models of salt basin formation and kinematic evolution of salt bodies (Belenitskaya, 1998, 2000, with supplements).

а – evolution of continental rift systems, substages: proper rift → subsidence → inversion. б – evolution of continental margin systems, stages: intercontinental rift → passive margin → subduction and collision. 1–3 – geochemical types of halogenic formations: 1 – а – chloride-potassium, б – chloride-sulphate-potassium, в – chloride-sodium, 2 – sulphate-calcium, 3 – variegated composition, often sulphate-sodium, soda; 4 – predominant types of deposits: а – terrigenous, б – terrigenous and carbonate in different proportions, в – carbonate, г – volcanic, д – red-coloured; 5 – landscape settings: I – abyssal, II – bathyal, IIIА – 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 morphokinetic groups: а, б – salt-tectonic (а – near-vertical, in diapirs, б – near-lateral, in allochthonous sheet), в – orthotectonic; 9 – flowage direction: а – salts, б – brines, в – hydrocarbons; 10 – tectonic faults; 11 – suboceanic and oceanic crust; 12 – predominant type of stress: а – stretching, б – compression; 13 – substrate complexes with “sealed” brine-salt masses (or their relics); 14 – alternatives for distribution of incipient syn- or post-folded rift structures; 15 – sequence of sedimentary basin development.

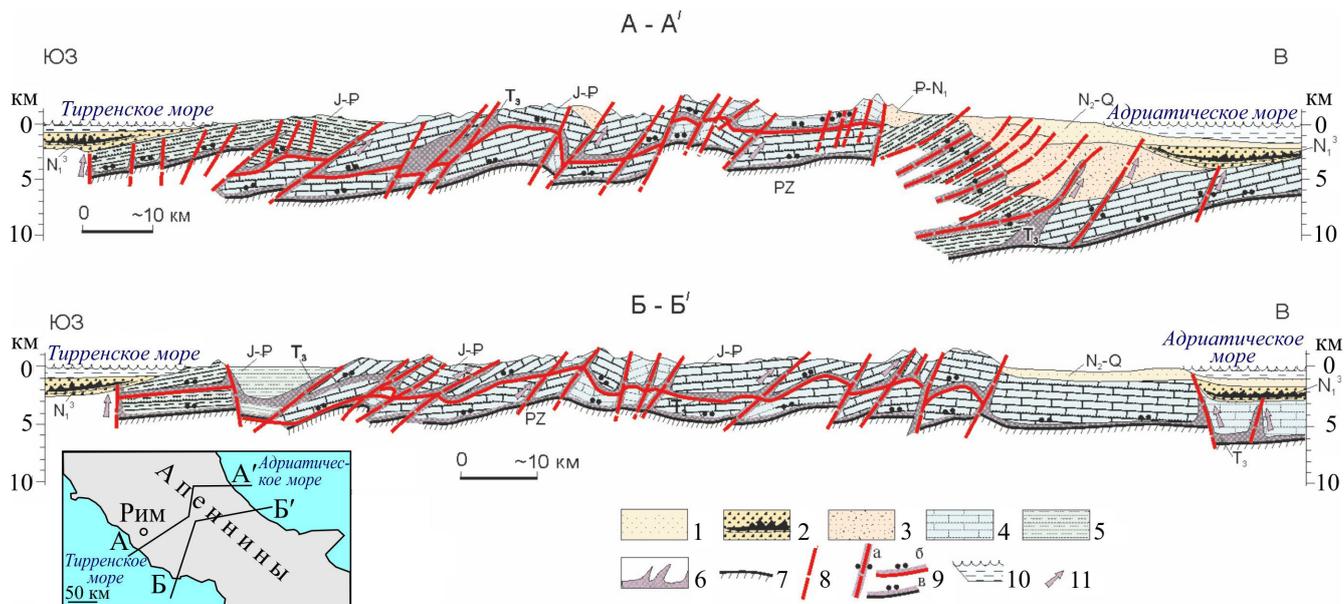


Рис. 5. Схематические профили через центральные Апеннины от Тирренского до Адриатического моря (обобщение с использованием следующих работ: Хаин, 1971, 1977, 1984; Busson, 1982; Rouchy, 1982; Ле Пижон, 1984; Монин, Зоненшайн, 1987; Богданов, 1988; Живаго, 1994; Тектоническая..., 1994; Ziegler, Horvath, 1996). На врезке показано положение профилей.

1 – плио-плейстоценовые отложения (N₂-Q); 2 – миоценовые отложения, черным показан мессинский уровень распространения соляных покровных тел (N₁³); 3 – палеоген-миоценовые флишевые отложения (P-N₁); 4, 5 – юрско-палеогеновые отложения (J-P), комплексы: 4 – карбонатных платформ, 5 – бассейновые, преимущественно батимальные; 6 – верхнетриасовые соленосные отложения (T₃); 7 – герцинский фундамент; 8 – тектонические нарушения; 9 – “соляные швы”: а, б – “вторичные” вдоль тектонических нарушений (а) и вдоль пологих надвигов в основании тектонических покровов чехла (б), в – “первичные” (остаточные на местах исходного залегания солей); 10 – воды Средиземноморских морей; 11 – предполагаемые направления миграции рассольно-соляных масс.

Fig. 5. Schematic profiles through the central Apennines from the Tyrrhenian to the Adriatic seas (generalization with Khain, 1971, 1977, 1984; Busson, 1982; Rouchy, 1982; Le Pichon, 1984; Monin, Zonenshain, 1987; Bogdanov, 1988; Zhivago, 1994; Tektonicheskaya..., 1994; Ziegler, Horvath, 1996). Inset shows the position of profiles.

1 – Plio-Pleistocene deposits (N₂-Q); 2 – Miocene deposits, black shows the Messinian level of salt cover bodies occurrence (N₁³); 3 – Paleogene-Miocene flysch deposits (P-N₁); 4, 5 – Jurassic-Paleogene deposits (J-P), complexes: 4 – carbonate platforms, 5 – basin, predominantly bathyal; 6 – Upper Triassic (T₃) saliferous deposits; 7 – Hercynian basement; 8 – tectonic faults; 9 – “salt sutures”: а, б – “secondary” along the tectonic faults (а) and along low-angle overthrusts at the base of cover nappes (б), в – “primary” (residual at places of the original occurrence of salts); 10 – waters of the Mediterranean seas; 11 – estimated directions of brine-salt mass migration.

нах, где представляют собой миграционные осложнения материнских солей, залегающих в их основании в разрезах погребенных рифтогенных структур. Соляные покровы обнаружены в Кванза-Камерунском, Восточно-Бразильских, Мадагаскарском и других пассивно-окраинных бассейнах (Беленицкая, 2014, рис. 6, 8). Наиболее масштабны они в бассейне Мексиканского залива, где на континентальном склоне протяженность аллохтонных покровов, образованных глубоко погребенными триасово-юрскими солями, и залегающих субсогласно среди миоценовых отложений, составляет многие сотни километров, мощности – многие сотни метров (Беленицкая, 2014, рис. 7). Обычно покровы еще сохраняют связи с материнскими солями, но морфологически нередко близки “самостоятельным” соляным толщам новых уровней

(см. рис. 3). Сходную, по нашему мнению, природу имеют соляные тела, развитые на миоценовом уровне в Восточном Средиземноморье (что, однако, требует специального обоснования).

В зависимости от места и способа внедрения соляных масс различают два вида таких тел – “интрузивные” и “экструзивные” (Hudec, Jackson, 2006). “Интрузивные” – внутриформационные – возникают подобно силлам при межпластовом инъекционном внедрении солей, “экструзивные” – подобно эффузивным породам, при открытой разгрузке солей преимущественно на дно более молодых седиментационных водоемов, их растекании и последующем погребении осадками. Вдоль фронтов соляных покровов, проградирующих в направлении глубоководных областей, образуются стеноподобные уступы-эскарпы (например, Ангольский

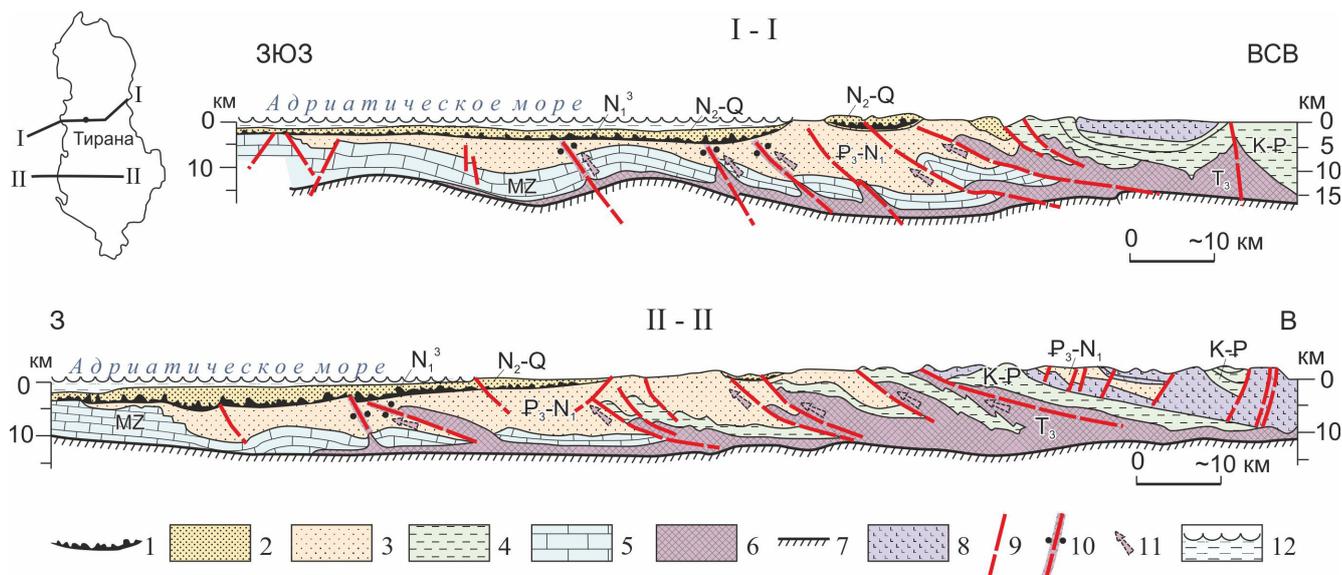


Рис. 6. Схематические профили через покровно-складчатые структуры Западных Динаридов и восток Адриатического моря (обобщение с использованием следующих работ: Хайн, 1971, 1977, 1984; Busson, 1982; Rouchy, 1982; Ле Пишон, 1984; Монин, Зоненшайн, 1987; Богданов, 1988; Живаго, 1994; Тектоническая..., 1994; Ziegler, Horvath, 1996). На врезке показано положение профилей на территории Албании.

1 – уровень распространения мессинских соляных покровных тел (N_1^3); 2–5 – мезозойско-кайнозойские отложения: 2 – плио-плейстоценовые (N_2-Q), 3 – олигоцен-миоценовые (P_3-N_1), 4 – мел-палеогеновые (К-Р), 5 – мезозойские (МЗ); 6 – верхнетриасовый соленосный комплекс (T_3); 7 – палеозойский фундамент (PZ); 8 – ультрабазиты; 9 – тектонические нарушения; 10 – вторичные “соляные швы” – вероятные пути миграции рассольно-соляных масс вдоль тектонических нарушений; 11 – предполагаемые направления миграции рассольно-соляных масс; 12 – воды Адриатического моря.

Fig. 6. Schematic profiles across the thrust sheets of the Western Dinarides and eastern Adriatic Sea (generalization with Khain, 1971, 1977, 1984; Busson, 1982; Rouchy, 1982; Le Pichon, 1984; Monin, Zonenshain, 1987; Bogdanov, 1988; Zhivago, 1994; Tektonicheskaya..., 1994; Ziegler, Horvath, 1996). Inset shows the position of profiles.

1 – distribution level of Messinian salt cover bodies (N_1^3); 2–5 – Mesozoic-Cenozoic deposits: 2 – Plio-Pleistocene (N_2-Q), 3 – Oligocene-Miocene (P_3-N_1), 4 – Cretaceous-Paleogene (K-P), 5 – Mesozoic (MZ); 6 – Upper Triassic salt complex (T_3); 7 – Paleozoic basement (PZ); 8 – ultramafites; 9 – tectonic faults; 10 – secondary “salt sutures”, probable routes of brine-salt mass migration along the tectonic faults; 11 – estimated directions of brine-salt mass migration; 12 – waters of the Adriatic Sea.

в Кванза-Камерунском бассейне, Сигсби – в Мексиканском), наиболее четко выраженные в зонах тектонических ограничений областей развития коры континентального типа. Аллохтонные покровы, особенно крупные, часто в свою очередь осложнены диапироподобными поднятиями и прогибами-минибассейнами, нередко очень масштабными. В частности, в Мексиканском бассейне они измеряются многими сотнями квадратных километров.

Космическими и геолого-геофизическими методами прослежены картины роста и трансформации соляных тел и покрывающих их пород, фиксирующие последовательные стадии выжимания и эмиграции материнских солей и их дальнейших перемещений в недрах, вплоть до выхода на дно акваторий и последующего гравитационного скольжения, – своеобразные “живые” природные модели (McBride, 1998; Hudec, Jackson, 2006; Combellas-Bigott, Galloway, 2006; Cramez, 2006; Дрибус и др., 2008; Jackson et al., 2015). Развитие соляных аллохтонных покровов обычно наблюдается в условиях повышенных тем-

ператур и высокой флюидодинамической напряженности. При этом соляные массы находятся в “текущем” состоянии, что ведет к их широкомасштабным перемещениям. Весьма важным направлением перемещения солей наряду с восходящим становятся их сублатеральное “течение” и сползание. Эти процессы широко проявляются и у материнских солей, и у солей аллохтонных, уже перемещенных на более высокие стратиграфические уровни. У погребенных солей (материнских и перекрытых осадками аллохтонных) сползание происходит по уклонам подсолевого субстрата, часто по поверхностям срыва, в сторону смежных интенсивно погружающихся участков; у солей, вынесенных на дно более молодых седиментационных водоемов, – по уклонам дна в направлении более глубоководных областей.

Новые данные оказывают заметное влияние на развиваемые представления о механизмах соляной тектоники. Особое внимание обращается на два способа сублатерального перемещения соляных масс по уклонам субстрата, различающиеся

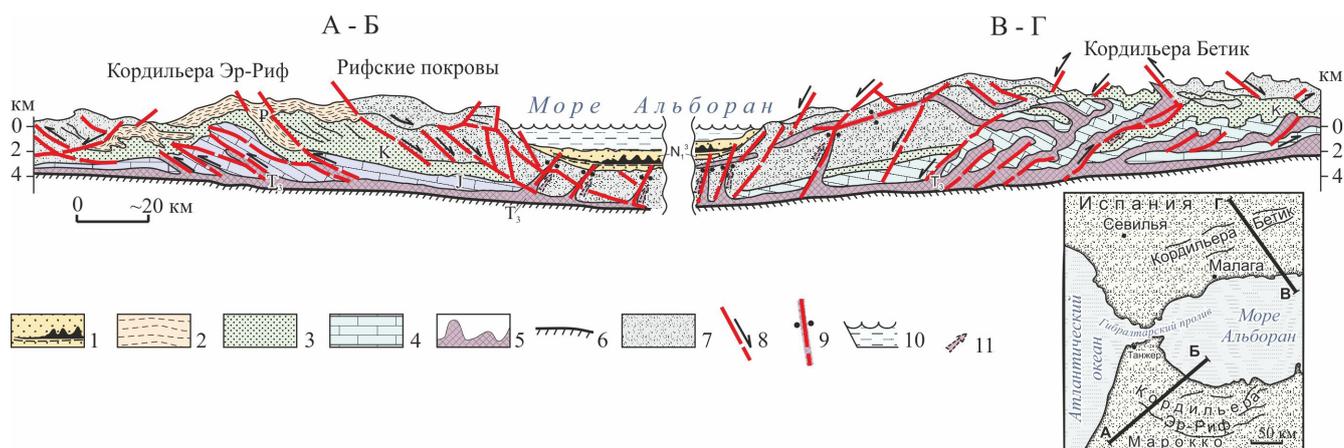


Рис. 7. Схематические профили через покровно-складчатые структуры Рифа и Бетид и разделяющую их Альборанскую впадину (обобщение с использованием следующих работ: Хаин, 1971, 1977, 1984; Busson, 1982; Rouchy, 1982; Ле Пишон, 1984; Монин, Зоненшайн, 1987; Богданов, 1988; Живаго, 1994; Тектоническая..., 1994; Ziegler, Horvath, 1996). На врезке показано положение профилей.

1–5 – осадочные комплексы: 1 – неогеновые с мессинскими соляными покровными телами (N_1^3), осложненными диапировыми структурами, 2 – палеогеновые (P), 3 – меловые (K), 4 – юрские (J), 5 – верхнетриасовые соли (T_3); 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.

Fig. 7. Schematic profiles through the Rif and Betic thrust sheets and separates them Alboran Depression (generalization with Khain, 1971, 1977, 1984; Busson, 1982; Rouchy, 1982; Le Pichon, 1984; Monin, Zonenshain, 1987; Bogdanov, 1988; Zhivago, 1994; Tektonicheskaya..., 1994; Ziegler, Horvath, 1996). Inset shows the position of profiles.

1–5 – sedimentary complexes: 1 – Neogene with Messinian salt cover bodies, complicated by diapir structures (N_1^3), 2 – Paleogene (P), 3 – Cretaceous (K), 4 – Jurassic (J), 5 – Upper Triassic salts (T_3); 6 – Hercynian basement; 7 – tectonic covers; 8 – tectonic faults and directions 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.

доминирующими движущими силами: 1) гравитационное “стекание” – скольжение, сползание солей по уклонам без участия дополнительных нагрузок (gliding) (Brun, Fort, 2011, 2012; и др.); 2) “выдавливание”, обусловленное дифференцированной нагрузкой осадков (spreading) (Rowan et al., 2012; Rowan, 2014; и др.). Обсуждается также роль тектонических напряжений, вызывающих “растяжение” и растекание соляных слоев (Jackson et al., 2015). В целом справедливо допускается вероятность участия всех этих факторов, но предполагается, что относительная роль каждого из них варьирует и в пространстве, и во времени (Rowan, 2014).

Установление среди субпластовых соляных тел аллохтонно-покровных разновидностей выдвигает ряд задач. Одна из них – опознание их аналогов среди морфологически подобных соляных толщ геологического прошлого, поскольку до последнего времени любые такие тела в осадочных разрезах обычно априори интерпретируются как однозначно инситные седиментационные образования.

Соляные тела ортотектонической группы

Поведение солей в условиях активной тектоники. Рассмотренные проявления соляной тектони-

ки характеризуют поведение солей в условиях хотя и относительно повышенной флюидодинамической напряженности недр, но при ограниченной собственно тектонической активности, не приводящей к значительным нарушениям вмещающих соли осадочных комплексов. При проявлении интенсивных ортотектонических деформаций, особенно при преобладании напряжений сжатия, картина существенно меняется. В ходе аккреционно-коллизийных процессов и формирования покровно-складчатых поясов происходят смыкание континентальных блоков и их перекрытие, смятие и срезание развитых вдоль их окраин мощных осадочных комплексов со срывами и перемещением гигантских пластин как осадочных пород, так нередко и блоков фундамента, а также с образованием масштабных тектонических покровов. На этом фоне максимальное развитие получают начавшиеся (а иногда и достаточно мощно проявившиеся) в ходе предшествующих соляно-тектонических деформаций процессы выжимания из осадочных комплексов их соляной “начинки”, ее выдавливания, часто почти полного выноса. На месте изначального нахождения солей, как правило, остаются лишь фрагменты их слоев, первичные (остаточно-инситные) “соляные швы” и отдельные более мощные остаточные со-

ляные блоки. На путях миграции солей возникают разнообразные по форме и масштабу инъекционно-тектонические внедрения, вторичные и третичные (вдольразломные, вдольтрещинные, вдольнадвиговые) “соляные швы”, тектонически перемещенные блоки и их сочетания. Эти присутствующие (сохраняющиеся) в недрах покровно-складчатых систем соляные тела, хотя чаще менее масштабны, чем многие солянотектонические, но тоже сравнительно многочисленны. Наиболее широко они распространены в зонах тектонических сопряжений (и перекрытий) складчатых областей с краевыми частями платформ и срединных массивов, реже присутствуют в более внутренних частях складчатых областей (рис. 4б). В зонах сопряжения, для которых характерны перекрытия покровно-надвиговыми пакетами континентальных блоков, соли находятся как в составе этих пакетов, так и в глубоко погребенных под ними поднадвиговых автохтонных разрезах. В более внутренних частях складчатых областей они в основном заключены лишь в составе покровно-надвиговых пакетов.

При грандиозных масштабах и скоростях выноса соляных масс и ограниченности условий для захоронения на путях миграции внутри сминаемых комплексов (т. е. при отсутствии “ловушек” в недрах) большая их часть разгружается в сопряженно формирующиеся глубоководные впадины краевых, межгорных, тафrogenных прогибов и аккумуляруется в них, становясь важным источником возникновения новых уровней соленосности. Поскольку образующиеся таким образом соляные тела оказываются вне деформированных покровно-надвиговых осадочных комплексов (хотя и сопряжены с ними), мы их не включаем в ортотектоническую группу, но рассматриваем как завершающие звенья тектонической эволюции.

Сходная картина эволюции соленосности, хотя обычно менее масштабная, наблюдается в некоторых крупных инверсионных соленосных авлакогенах, переживших интенсивное сжатие вплоть до образования внутриплатформенных складчато-надвиговых структур (см. рис. 4а). В ходе инверсии, при значительном сближении жестких блоков фундамента, ограничивающих соленосные грабены, их надвигании на осадочное выполнение внутренних областей, его сдавливании и деформировании, судьба соляных толщ во многом подобна характерной для покровно-складчатых систем. Часть остаточных и инъекционных образований оказывается заключенной в составе смятых комплексов, часть – глубоко погребенной под надвинутыми бортовыми ограничениями грабенов, а значительные массы солей выносятся на более молодые уровни. Примерами структур с выраженной соленосностью подобных типов являются авлакогены, в разное время пережившие инверсию: Амадиес (в ϵ), Днепровско-Припятский (P), Высокого Атласа (N_1).

Таким образом, для ортотектонической группы соляных тел основными морфокинетическими разновидностями являются остаточные и перемещенные инъекционно-тектонические, а наиболее характерными структурно-тектоническими обстановками их нахождения в недрах – покровно-складчатые области (коллизийные и аккреционные), особенно зоны их сопряжения с платформами и срединными массивами и внутриплатформенные складчатые структуры. Важно, что соляные тела этой группы находятся также в погребенных складчатых областях, заключенных в составе фундамента молодых и древних платформ и срединных массивов, сведения о соленосности которых более ограничены.

Таковы общие тенденции поведения солей в условиях ортотектонических деформаций, определяющие итоговую картину распространения соляных тел этой группы. Охарактеризуем немного подробнее основные морфокинетические особенности соляных тел в покровно-складчатых областях (в том числе погребенных), представляющих наиболее обширные территории локализации солей ортотектонической группы, а затем рассмотрим некоторые специфические черты их размещения в разновозрастных областях.

Морфотектонические особенности соленосности покровно-складчатых областей. Как мы уже отметили, в пределах коллизийных и аккреционных покровно-складчатых систем, в их поперечных сечениях, можно ориентировочно выделить два крупных типа зон с разным характером нахождения солей в разрезах: зоны тектонического сопряжения с платформами и срединными массивами и удаленные от них более внутренние части складчатых поясов. Первые представляют собой широкие и протяженные территории вдоль окраин континентальных и микроконтинентальных блоков с масштабными тектоническими перекрытиями аллохтонными складчато-надвиговыми пакетами глубоко погребенных комплексов автохтонов. Соли здесь могут находиться как в пакетах аллохтонных перекрытий, так и под ними, в автохтонных поднадвиговых разрезах; в составе перекрытий они присутствуют в разных их частях – в основании покровов, вдоль границ между ними (в пакетах из нескольких покровов), в раздвухах складок, вдоль секущих трещин и др. Реликтовые фрагменты соляных пластов имеют преимущественно небольшие мощности и разную протяженность, а инъекционно-тектонические внедрения весьма разнообразны по морфологии и размеру. Широко распространены разные виды “соляных швов” (см. рис. 2): первичные, вторичные, а иногда и третичные. В составе поднадвиговых автохтонных разрезов, обычно глубоко погруженных, заключены остаточные, в разной мере деформированные соляные тела, сведения о которых, как правило, весьма скудные. Чаще всего это со-

ли межконтинентальных рифтов, находящихся в основании пассивно-окраинных комплексов, что типично для разрезов окраин многих современных и древних континентов и микроконтинентов. Для зон сопряжения с платформами и срединными массивами особенности солёности в целом сходны. Для срединных массивов нередко характерны двусторонние (по разные стороны микроконтинентальных блоков) встречные аллохтонные перекрытия. В более внутренних частях складчатых областей соли связаны преимущественно лишь со складчато-надвиговыми пакетами, при редком присутствии в их основании комплексов автохтонов. Наблюдаемые масштабы солёности здесь обычно незначительны.

Среди структурно-формационных комплексов рассматриваемых областей по морфотектоническим особенностям их солёности можно выделить две разновидности. Одна представлена складчато-надвиговыми пакетами с реликтовым и инъекционно-тектоническим характером солёности. Вторая – автохтонными, чаще всего рифтогенными, комплексами с остаточной инситной солёностью, обычно глубоко погребёнными под комплексами первого вида. В обширных зонах сопряжения складчатых систем с платформами и срединными массивами устанавливаются солёные комплексы обеих разновидностей; солёность этих зон максимальна. В более внутренних зонах складчатых областей развиты комплексы преимущественно лишь первой разновидности; хотя и здесь не исключено обнаружение под аллохтонными покровами фрагментов солёных отложений автохтонов. Иначе говоря, комплексы первого вида распространены повсеместно, второго – лишь в зонах перекрытий.

Возраст исходных (материнских) солей близок времени заложения соответствующих подвижных систем. Например, в большинстве складчатых систем молодого Альпийско-Гималайского пояса это соли преимущественно поздне триасового (или триасово-юрского) возраста. Правда, нередко в этом же поясе устанавливаются реликты и более древних солей, уцелевшие в ходе предшествующих циклов тектонической эволюции. Например, в его восточной половине это венд-кембрийские соли, которые в Загросе ныне присутствуют (и выведены в приповерхностные зоны) как в составе аллохтонных покровно-надвиговых пакетов, так и под ними, в диапирах и частично в автохтонном залегании (Беленицкая, 2014, рис. 4). Более ограниченно соли этого же возраста в сходных ситуациях распространены в Гималаях, например в Соляном кряже.

В условиях максимально интенсивного сжатия, характерного для поздних стадий континентальной коллизии, когда происходят далекое поддвижение окраин континентальных плит и микроплит и их глубокое погружение в зонах субдукции (в ходе

субдукции типа А), соли, весьма типичные для осадочных разрезов погружающихся окраин плит, оказываются “затащенными” на большие расстояния и на очень большие глубины под формирующиеся над ними покровно-складчатые орогены. Образующиеся при этом аллохтонные перекрытия довольно часто включают не только комплексы осадочно-чехла, но и сорванные мощные блоки складчато-метаморфического и кристаллического фундамента, пластины океанической коры, островодужные комплексы и т. д. Все они могут оказаться пронизанными мигрирующими соляными массами, создающими интенсивную наложенную солёность инъекционно-тектонической природы. Подобные ситуации, по-видимому, характерны для многих участков Альпийско-Гималайского пояса. Правда, в большинстве случаев информация об их солёности весьма ограничена. Обнаружению солей препятствуют их глубокое нахождение и (или) плохая сохранность, обычная фрагментарность и многообразие геологических ситуаций аллохтонного нахождения, в том числе не только среди осадочных пород, но и среди блоков и пластин, состоящих из метаморфических, магматических, островодужных, офиолитовых и других комплексов. При этом ограничены и возможности использования в таких условиях геофизических методов выявления и изучения соляных тел. В результате предположения о возможной солёности разрезов и присутствии солей на глубине чаще всего просто не возникают.

Вместе с тем во многих подобных ситуациях все же достаточно часто сохраняются реликты как инситных, так и перемещённых солей и широкий спектр косвенных свидетельств их бывшего присутствия. Особенно часто обнаруживаются парагенные солям ангидриты, более устойчивые химически и кинетически, а потому ныне распространённые намного шире, чем соли. Именно ангидриты и замещающие их гипсы преобладают как в остаточных седиментационных телах, так и во вторичных тектонических блоках и во всех видах “швов”. Все эти признаки вместе позволяют в той или иной степени восстанавливать общие картины солёности как нынешней, так отчасти и бывшей.

Нередко погребённые соли “дают о себе знать” в близповерхностных зонах в виде разрозненных солянокупольных или трещинно-инъекционных образований, прорывающих или инжецирующих перекрывающие их комплексы (Альпы, Загрос, Анды в Восточном Перу и Колумбии, Верхоянье и др.). Они обнаруживаются в виде диапиров и диапироподобных тел (соляных или соляно-гипс-ангидритовых), открытых или скрытых, с неясными связями с находящимися на глубине материнскими солёными комплексами. Иногда диапиры, “протыкая” многокилометровые толщи осадков, образуют поднятия и даже соляные горы (“Торы соли” – Ходжа-Мумын, Кухи-Намак – высотой более 1000 м, и др.), порой

сопровожденные гигантскими соляными глетчерами (наземными растеканиями солей).

Иногда источники солей и их возраст остаются неясными или спорными. Показательна, в частности, неоднозначность решения вопроса о природе и возрасте солей, распространенных в пределах Соляного кряжа в Гималаях (например, Хаин, 1971, 1977, 1984; Жарков, 1978): являются ли они тектонически вынесенными с глубины венд-кембрийскими солями (что, по нашему мнению, более вероятно) или новообразованными седиментационными палеоген-неогеновыми. Поскольку нередко о наличии материнских солей на глубине ничего не известно или оно может только предполагаться, то соли, вынесенные в близповерхностные области, датируются в зависимости от пространственных соотношений с инъецируемыми толщами; при этом “присваиваемый” им возраст может оказаться существенно моложе, чем действительный возраст образующих их солей. Более “молодой” датировке способствует развитие вокруг диапиров процессов молодого (“синдиапирового”) соленакпления из рассолов, разгрузка которых способствует их интенсивному росту. Как мы полагаем, именно такого рода соляные инъекционные структуры, сопровождаемые рассольно-соляными отложениями, распространены во многих межгорных впадинах Тянь-Шаня (Ферганской, Нарынской и др.), где соли в диапирах, как и в окружающих молодых осадках, датируются миоценом, в то время как материнскими, скорее всего, являются погребенные палеозойские соли, фрагменты которых известны в разрезах надвиговых покровов в обрамлениях этих межгорных впадин и могут предполагаться в составе глубоко погребенных под ними палеозойских комплексов (Рифогенные..., 1990).

Распространенность солей в складчатых областях разного возраста. Как уже упоминалось, соляные тела оротектонической группы из-за ограниченного масштаба и дискретности распространения в складчатых областях на схематической карте земного шара почти не нашли отражения (см. рис. 1). Однако их проявления в том или ином количестве известны в складчатых областях разного возраста. Относительно многочисленны и морфологически разнообразны соленосные тела в неогединамических поясах, особенно в Альпийско-Гималайском коллизионном и Андийском активно-окраинном, а в более древних ограничены, при этом с возрастом их количество последовательно сокращается. Наиболее показательны альпийские системы западной части Альпийско-Гималайского пояса, возникшие на месте обширных триасовых соленосных бассейнов. Их типовые черты иллюстрируют упрощенные профили (рис. 5–7). Здесь в разрезах покровно-складчатых сооружений преимущественно в горных обрамлениях глубоководных впадин Западного Средиземноморья достаточ-

но хорошо сохранились многочисленные тела триасовых солей и сульфатно-карбонатных пород – как их остаточные фрагменты, так и разнообразные инъекционно-тектонические образования. Они присутствуют в основании многих надвигов, покровов, шарьяжей, в зонах дробления, внутри складок. Поскольку именно эти молодые и относительно “соленасыщенные” покровно-складчатые системы дают адекватное представление о характере соленосности на время протекания (или завершения) аккреционно-коллизионных процессов, мы в следующем разделе привели немного более подробную их характеристику и попытались восстановить для них общую последовательность кинематической эволюции соляных тел.

В киммерийских и герцинско-каледонских покровно-складчатых системах соленосные тела менее масштабны и распространены более фрагментарно. Например, они известны в киммеридах Верхояно-Колымской области (S_2, D_{2-3}) и Северо-Американских Кордильер (С, С), герцинских структурах Таймыро-Североземельской системы (O_{1-3}, S_2, D_1, D_2), герцинских и каледонских структурах Тянь-Шаня ($D_{1-3}, D_3-C_1, C_{1-2}$), Уральской и Алтае-Саянской складчатых областей ($O_3-S_1, D_{2-3}, C_2-P_1$), Аппалачей (С) (Жарков, 1978; Хаин, 1984; Рифогенные..., 1990; Беленицкая, 1998, 2008; Рифовые..., 2015; и др.). В большинстве случаев проявления солей (или сульфатов) доступны наблюдению лишь в близповерхностных зонах в пределах горных областей, куда выведены в ходе постскладчатой или постплатформенной активизации. Именно к таковым принадлежит большинство приведенных примеров.

В гренвильско-байкальских структурах соли встречаются реже, однако проявления сульфатов и разнообразные косвенные признаки соленосности весьма многочисленны (см. рис. 1). Они известны в Тимано-Варангерском, Дамарском, Катангском, Западно-Конголезском, Мозамбикском поясах также преимущественно в областях, подвергшихся постплатформенной активизации. Еще реже остатки соляных тел отмечаются в раннедокембрийских структурах, однако косвенные признаки и здесь устанавливаются во многих регионах, главным образом в раннепротерозойских палеопргибах на щитах и массивах: на Балтийском (в Онежском, Имандра-Варзугском, Печенгском, Кайнуу и др.), Воронежском (Белгородском, Тим-Ястребовском), Алданском (Удоканском, Муйском и др.), а также на разных участках Украинского, Анабарского, Канадского щитов (Сердюченко, 1972; Конищев, 1980; Салоп, 1982; Рифогенные..., 1990; Ахмедов и др., 1996; Розен и др., 2006; Рифовые..., 2015; и др.).

Вопросы соленосности докембрийских структур во многом схожи с проблемами собственно докембрийских солей, которые в данной статье не рассматриваются. Подчеркнем лишь, что исследо-

ваны эти проблемы сравнительно слабо, прежде всего из-за действительно ничтожной сохранности солей среди докембрийских осадочных и метаосадочных комплексов, особенно в доступных наблюдениям близповерхностных зонах, где возможность их сохранения минимальна. Вместе с тем результаты обобщения данных, касающихся разнообразных проявлений солёности в докембрийских породах (реликтов, отпечатков, высококонцентрированных рассолов и других косвенных показателей их бывшего присутствия), фиксируемых практически во всех типах осадочных палеобассейнов, а также анализ проблем эволюции солёноаккумуляции с более общих теоретических позиций (Хаин, 1971, 1977, 1984; Сердюченко, 1972; Виноградов, 1980; Салоп, 1982; Ахмедов и др., 1996; Беленицкая, 1998; Розен и др., 2006; Рифовые..., 2015; и др.) дают основание для реконструкции в докембрийских разрезах разных регионов мира былых весьма масштабных соляных тел. Предполагается, что наиболее значительная по масштабам раннепротерозойская (ятулийская) эпоха солёноаккумуляции (2.3–2.1 млрд лет) носила глобальный характер (Салоп, 1982; Ахмедов и др., 1996). Недавнее вскрытие мощной (около 500 м) нижнепротерозойской солёноносной толщи в Карелии (Горбачев и др., 2011) позволяет не только более уверенно говорить о вероятной значительной солёности докембрия, но и предполагать сохранение до настоящего времени в его разрезах значимого количества погребённых солей.

В разновозрастных покровно-складчатых комплексах, образующих фундамент молодых и древних платформ и срединных массивов, также иногда устанавливаются признаки солёности. Хотя случаи обнаружения здесь соляных тел единичны, однако косвенные признаки солёности, включая проявления высококонцентрированных рассолов, распространены довольно широко в разных палеотектонических ситуациях (в областях палеоаккреций и палеоколлизий, в зонах сгущивания складчато-метаморфических и кристаллических блоков, под их блоками, перекрывающими более молодые солёносные отложения и др.), т. е. в палеообстановках, подобных характерным для складчатых областей. При этом сохранение солей не исключено и в ареалах распространения складчато-метаморфических комплексов, где они, по нашему мнению, наиболее вероятны в “поднадвиговых” и (или) тектонически “зажатых” условиях, преимущественно в зонах масштабных перекрытий блоками докембрийских пород более молодых солёносных комплексов. Здесь об их вероятном наличии наряду с разными косвенными признаками в породах свидетельствуют частые проявления на поверхности и глубине высококонцентрированных и сверхкрепких рассолов, а также присутствие солей в разрезах более молодых, пространственно и тектонически сопряжённых структур. Чаще всего это

неоген-четвертичные соли, возникшие в ходе активных неотектонических процессов. Таковы миоценовые соли в Средиземноморском поясе и Тянь-Шанской области, четвертичные и современные соли в Андах, Таймырско-Хатангской, Минуссинской, Забайкальских областях и др.

Кинематическая эволюция соляных тел в ходе тектонического развития

Общие тенденции кинематической эволюции соляных тел. Кратко суммируем данные, характеризующие частично намеченную ранее последовательность смены преобладающих видов соляно-тектонических и собственно тектонических деформаций соляных тел на разных стадиях геодинамического развития вмещающих их осадочных серий (Беленицкая, 2016). Для крупных внутриконтинентально-рифтовых систем (см. рис. 4а) уже на собственно рифтовой подстадии в условиях растяжения возможны проявления соляного диапиризма. Они резко усиливаются на фоне повышения напряжений сжатия, на инверсионной подстадии иногда сопровождаются покровообразным растеканием солей на сининверсионных стратиграфических уровнях. В случае увеличения интенсивности тектонического сжатия, вплоть до образования внутриконтинентальных складчато-надвиговых систем, масштабы соляного покровообразования возрастают. Некоторая часть солей при этом может оказаться глубоко погребённой под надвинутыми бортовыми ограничениями рифтов, как это характерно, например, для внутрикратонного инверсионного авлакогена Амадиес (рис. 8), вероятно Днепровско-Припятского и др.

Для окраинно-континентальных систем (см. рис. 4б) (с типичной для них сменой обстановок: межконтинентально-рифтовые → пассивно-окраинные, в том числе активизированные → аккреционно-коллизионные покровно-складчатые) кинематическая и морфологическая эволюция соляных тел более разнообразна, будучи обязанной сначала преимущественно соляно-тектоническим деформациям, а затем ортотектоническим. На межконтинентально-рифтовой стадии проявляется интенсивная соляная тектоника, ярко выраженная, в частности, в находящемся ныне на этой стадии Красноморском межконтинентально-рифтовом бассейне (Конищев, 1980; Колман, 1984; Богданов, 1988; и др.). На пассивно-окраинной стадии продолжают соляно-тектонические деформации, подобные широко распространённым в настоящее время в окраинно-океанических бассейнах вдоль всего Циркуматлантического пассивно-окраинного кольца (McBride, 1998; Galloway, 2006; Cramez, 2006; Hudec, Jackson, 2006; Brun, Fort, 2011, 2012; Combellas-Bigott, Jackson et al., 2015; и др.). Наиболее масштабно они развиваются под воздействием процессов активизации и проявле-

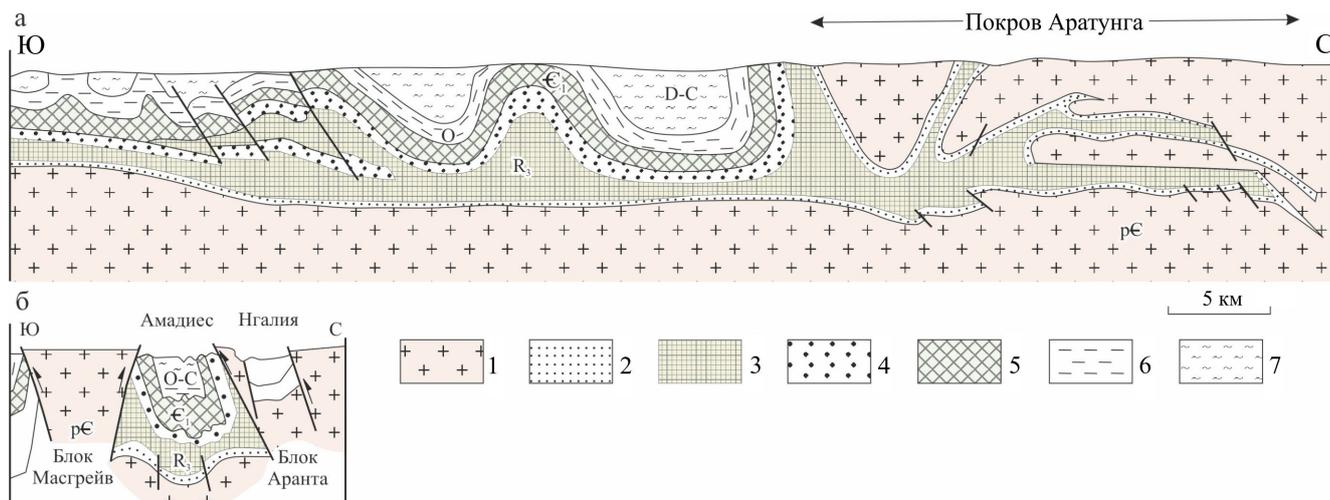


Рис. 8. Схематические поперечные разрезы соленосного авлакогена Амадиес (Центральная Австралия, см. рис. 1) с верхнерифейской и кембрийской галогенными формациями (Жарков, 1978; Конищев, 1980; Милановский, 1983).

а – схематический профиль северо-восточной части, б – структурная схема. 1 – породы кристаллического фундамента (pЄ); 2–4 – верхнепротерозойские формации (R₃): 2 – кварцевая (свита Хивитри), 3 – терригенно-карбонатно-соленосная (свита Биттер-Спрингс), 4 – надсолевые; 5–7 – палеозойские отложения: 5 – нижнекембрийские соленосные (Є₁), 6 – ордовикские (O) или объединенные ордовикско-верхнепалеозойские (O–C), 7 – верхнепалеозойские (D–C).

Fig. 8. Schematic cross-sections of salt-bearing aulacogene Amadiyes (Central Australia, see fig. 1) with Upper Riphean and Cambrian halogenenic formations (Zharkov, 1978; Konishchev, 1980; Milanovsky, 1983).

а – schematic profile of the northeastern part, б – structural scheme. 1 – crystalline basement rocks (pЄ); 2–4 – Upper Proterozoic formations (R₃): 2 – quartz (Heavitree Formation), 3 – terrigenous-carbonate-saliferous (Bitter Springs Formation), 4 – suprasalt; 5–7 – Paleozoic deposits: 5 – Cambrian saliferous (Є₁), 6 – Ordovician (O) or combined Ordovician-Upper Paleozoic (O–C), 7 – Upper Paleozoic (D–C).

ний тектонической активности со стороны обрамлений, что, как отмечалось, чрезвычайно ярко выражено, особенно на миоценовом уровне, в Мексиканском бассейне и Восточном Средиземноморье. В целом соляноTECTONические деформации доминируют на стадиях деструктивного этапа геодинамической эволюции. Можно говорить о синрифтовых и синспрединговых (синпассивно-окраинных) их проявлениях. На рифтовой стадии преобладает диапиризм, на пассивно-окраинной значительную роль играет покровообразование в недрах и в седиментационных бассейнах.

При формировании аккреционно-коллизийных покровно-складчатых поясов с доминированием напряжений сжатия в ходе активных оротектонических деформаций разрушение самих осадочных бассейнов сопровождается массовым тектоническим выжиманием и выдавливанием всех оставшихся в них солей. На местах бывшего залегания сохраняются лишь фрагменты слоев материнских солей, первичные “соляные швы” и отдельные “зажатые” более мощные блоки, а на путях миграции наряду с соляноTECTONическими внедрениями возникают новые инъекционно-TECTONические формы. Массовый быстрый вынос солей из недр способствует накоплению значительной их части в разных типах сопряженно формирующихся впадин, сме-

шению с бассейновыми осадками, захоронению в виде новообразованных субсогласных соленосных тел и включению в нормально осадочные последовательности синскладчатых прогибов. Все эти виды деформаций, миграции и разгрузки соляных тел далее охарактеризованы несколько подробнее на примере Западного Средиземноморья.

Следует отметить, что в большинстве перечисленных разнообразных соляноTECTONических и оротектонических трансформаций солей принимают участие сопряженные с ними высококонцентрированные (крепкие и сверхкрепкие) глубинные рассолы. Благодаря высокой подвижности они способствуют всем видам миграции соляных масс, участвуют в их конечной разгрузке в седиментационные бассейны и последующем соленаккоплении (Беленицкая, 1998).

Кинематическая эволюция соляных тел Западного Средиземноморья. Теперь попытаемся немного подробнее восстановить последовательность смены тектонических ситуаций и характер кинематической и морфологической эволюции соляных тел на конкретном примере Западно-Средиземноморского сегмента молодого Альпийско-Гималайского коллизийного пояса, характеризующегося высокой общей соленасыщенностью рассматриваемых типов.

Западно-Средиземноморский регион вмещает соли двух основных уровней: триасовые (в основном верхнетриасовые и триасово-нижнеюрские, иногда средне-верхнеюрские; условно эти соли мы называем триасовыми) и миоценовые (преимущественно мессинские). Первые ныне преобладают в покровно-складчатых горных областях, вторые – в молодых осадочных бассейнах в недрах глубоководных акваторий Средиземного моря. Типовые разрезы разных участков региона, демонстрирующие размещение и соотношение солей обоих уровней, представлены на рис. 5–7.

История тектонического развития региона в мезозое и кайнозое охарактеризована во многих работах (например, Rouchy, 1982; Ле Пишон, 1984; Монин, Зоненшайн, 1987; Богданов, 1988; Живаго, 1994; Тектоническая..., 1994; Ziegler, Horvath, 1996; и др.). Накопление мощных триасовых соляных толщ тесно связано с началом распада возникшего незадолго до этого суперматерика Пангеи, с его триасово-юрской рифтогенной деструкцией и заложением молодых бассейнов системы Неотетиса (например, Беленицкая, 2016, рис. 3). В последующее, преимущественно юрско-меловое, время соленосные межконтинентально-рифтовые системы были трансформированы в пассивные окраины палеоконтинентов и крупных палеомикроконтинентов – Африканского, Аравийского, Апулийского, Анатолийского и др. В палеогене–миоцене в ходе процессов аккреции и коллизии, замыкания тетисных бассейнов, сближения и столкновения плит и микроплит, сопровождавшихся тектоническими срывами комплексов, слагающих их окраины с частичным или значительным перекрытием ими континентальных блоков, на месте большинства соленосных осадочных бассейнов возникли альпийские покровно-складчатые структуры. Особенно интенсивно надвигание континентальных масс происходило начиная с эоцена и достигло максимума в позднем миоцене. В миоцене оно сочеталось с процессами противоположной направленности – образованием молодых глубоководных тектонических впадин с субокеанической корой. Таков был общий геодинамический фон накопления и трансформации в регионе солей двух основных уровней.

Хотя триасовые соли были известны в регионе гораздо раньше, чем мессинские, открытые всего лишь около 50 лет назад, однако до последнего времени они привлекали меньше внимания исследователей, в том числе геологов-солевиков, поэтому приведем некоторые их основные черты. Соли этого уровня, связанные с формированием рифтогенных внутри- и межконтинентальных систем, в мезозое занимали обширные территории (Busson, 1982; Ziegler, Horvath, 1996; Беленицкая, 2016; и др.). Их максимальные первоначальные мощности соответствовали осевым зонам палеорифтовых прогибов, в том числе ограничивающих Апу-

лийский палеоконтинентальный блок. В течение юрско-мелового времени в солях, перекрывавшихся мощными комплексами пассивных окраин континентов и микроконтинентов, по-видимому, проявились (или усилились) интенсивные соляноTECTONические деформации, в том числе покровообразующие, подобные характерным для соленосных бассейнов пассивных окраин Атлантического океана. В палеоген-неогеновое время при коллизии континентов и микроконтинентов процессы сдавливания, смятия, срывов соленосных осадочных комплексов, расположенных вдоль их окраин, привели к выносу и миграции заключавшихся в них триасовых солей. В итоге значительные их массы, находившиеся в остаточных и соляноTECTONических телах, были либо вовлечены в тектоническое надвиго- и покровообразование, в ходе которого они часто служили своеобразной “смазкой” для горизонтов срыва и волочения, либо выдавлены по секущим тектоническим разрывам в новообразованные рифтогенные впадины в виде покровообразных тел. Масштабная и быстрая эмиграция триасовых соляных масс, достигшая наибольшей интенсивности в конце миоцена, привела к накоплению значительной их части на новых стратиграфических уровнях в глубоководных котловинных водоемах, которые стали для солей областями разгрузки и аккумуляции.

В ходе данных процессов возникли три основных вида производных триасовых солей: 1) сравнительно небольшие по мощности остаточные массы, сохранившиеся главным образом на местах их бывшего нахождения; 2) инъекционно-тектонические соляные внедрения, появившиеся на путях их миграции; 3) синскладчатые аллохтонные покровообразные соленосные толщи, образовавшиеся в областях субаквальной разгрузки. Два первых вида – остаточные и инъекционно-тектонические тела – присутствуют в разрезах большинства покровно-складчатых сооружений Западного Средиземноморья, преимущественно в горных обрамлениях акваторий – в Пиренях, Альпах, Апеннингах, Динаридах, Эллинидах, Бетидах, Магрибидах (Атласидах) и др. (см. рис. 5–7). Они прослежены на глубинах от нескольких до 8–10 км, а иногда выходят в приповерхностную зону (Белоусов, 1956; Хаин, 1971, 1977, 1984; Ziegler, Horvath, 1996). Остаточные триасовые соли (нередко только ангидриты и гипсы в сочетании с доломитами) распространены в виде фрагментов пластовых тел, в разной мере деформированных. Инъекционно-тектонические скопления образуют разнообразные вдольнадвиговые, вдольразломные, внутрискладчатые тела, развитые в основании большинства крупных надвигов, покровов, шарьяжей, часто многоуровневных, в зонах дробления внутри складок и др. Такой характер соленосности недр хорошо выражен в Апеннинской складчато-надвиговой области, которой

в субстрате отвечает юго-западная часть Апулейского микроконтинента, перекрытая сорванными (с его же палеоокраин) пассивно-окраинными комплексами, в основании соленосными (см. рис. 5). Остаточные слои, фрагменты триасовых солей, первичные соляные швы находятся здесь преимущественно в основании и в составе пакетов из таких тектонически сорванных комплексов. Третий вид производных триасовых солей – новообразованные покровообразные соленосные толщи – в Западном Средиземноморье локализован главным образом в активно формировавшихся (или углублявшихся) соскладчатых котловинных впадинах в тектонических обстановках позднеколлизийных рифтов (Тирренский, Алжиро-Прованский, Лигурийский, Альборанский и другие бассейны) и частично краевых прогибов (По-Адриатический бассейн) (Rouchy, 1982; Ле Пишон, 1984; Монинб Зоненшайн, 1987; Богданов, 1988; Живаго, 1994; Тектоническая..., 1994; Чумаков, 1996; Беленицкая, 1998). Первые преобладают в тыловых частях покровно-надвиговых систем, вторые – во фронтальных.

В целом для Западного Средиземноморья отчетливо вырисовывается макрозональная картина соленосности. Триасовые соли, распространенные в недрах покровно-складчатых горных сооружений, образуют обширнейший ареал – своеобразное гигантское разорванное на востоке полукольцо (Беленицкая, 2015). Внутри ареала, в его внутренних частях, занятых новообразованными глубоководными акваториями, в распространении триасовых солей устанавливаются крупные зияния, многие из которых связаны с молодыми, преимущественно миоценовыми (чаще всего позднемиоценовыми), разрывами континентальной коры. Эти разрывы и отвечающие им тектоно-седиментационные впадины вмещают большую часть соляных покровообразных тел, залегающих на миоценовом (максимально на мессинском) уровне.

Проблемы, связанные с образованием покровообразных соляных тел. Важная сторона жизни солей, пока мало учитываемая, – их способность к перемещению на новые стратиграфические уровни в результате интенсивной эмиграции из недр, сомасштабного “вноса” в седиментационные бассейны и аккумуляции в них в виде пластообразных соляных тел. Эти процессы нередко завершают интенсивные солянотектонические миграции солей и, по-видимому, особенно характерны для ортотектонических. Хотя участие таких процессов в кинематической эволюции солей на ее конечных стадиях мы подчеркивали в предыдущих разделах при рассмотрении разных типов миграции, но остановимся на их обсуждении еще раз.

В ходе активной соляной тектоники эти процессы реализуются в виде субсогласных покровообразных соляных тел. Их высокую интенсивность фиксируют грандиозные соляные аллохтонные по-

кровы Мексиканского залива (Беленицкая, 2014, рис. 7). Поскольку здесь связи этих покровов с подстилающими материнскими триасово-юрскими солями хотя и значительно ослаблены, но все еще отчетливо прослеживаются, то их аллохтонная природа во многих случаях ныне идентифицируется вполне однозначно (хотя до недавнего времени они часто рассматривались как чисто седиментационные и датировались миоценом). Есть основания предполагать сходную природу столь же масштабных покровообразных соляных тел, развитых на миоценовом уровне в Восточном Средиземноморье, где подстилающие их триасовые соли, как и в Мексиканском заливе (и в отличие от Западного Средиземноморья), в кайнозой не подверглись коллизийным тектоническим деформациям, но пережили мощные проявления солянотектонического покровообразования, высокой интенсивности которого способствовало влияние тектонической активности в смежных регионах (Беленицкая, 1998, 2008, 2014).

В фазы тектонических перестроек, сопровождаемых максимально интенсивным выносом из осадочных разрезов большей части заключенных в них соляных масс, процессы их эмиграции и перетолжения могут достигать еще больших масштабов, часто осуществляясь практически с полным “отрывом” новообразованных соляных тел от материнских солей. В наибольшей мере им отвечают миоценовые соляные тела Западного Средиземноморья, обязанные действию тектонических факторов и почти или вовсе лишенные “видимых” связей с материнскими триасовыми солями (т. е. соединяющие их восходящие соляные тела отсутствуют). По нашему мнению, они демонстрируют максимальную эффективность тектонического способа перемещения солей и особенно важную роль в их локализации глубоких котловин, формировавшихся синхронно процессам тектонического сжатия. Рассекая соленосные недра и дренируя их, эти котловины служили глубоководными седиментационными “ловушками” для эмигрировавших рассольно-соляных потоков, центрами их субаквального сбора и накопления на более молодых стратиграфических уровнях с повторным включением в новые осадочные последовательности. Если соляные покровы Мексиканского залива и Восточного Средиземноморья можно рассматривать как примеры высокоинтенсивного проявления солянотектонического способа образования аллохтонных покровов, то покровообразные соляные тела Западного Средиземноморья – как пример тел, в большей мере обязанных действию именно ортотектонических сил.

Деление покровообразных тел в зависимости от способов выноса и транспортировки соляного материала и его вноса в седиментационные бассейны в значительной мере условно (во всяком случае на уровне современной изученности вопроса) прежде всего потому, что достаточно условно раз-

деление самих этих способов. Оба они взаимосвязаны и не являются “чистыми”: интенсивному развитию соляноTECTONического способа содействует влияние повышенной ортотектонической активности, а в ортотектоническом значимую роль могут играть соляноTECTONические силы. К тому же обоим типам новообразованных тел свойственно наличие сходных морфологических особенностей и пространственно-временных взаимосвязей. Главные из них – пластообразная форма и субсогласный (или квазисогласный) характер залегания среди осадочных стратифицированных серий. Можно, однако, наметить и ряд важных различий: сохранение у покровов соляноTECTONической природы достаточно выраженных “вещественных” связей с материнскими солями, обычно отсутствующих (не сохраняющихся) у ортотектонических; значительно большее участие в составе соляноTECTONических тел собственно осадочного (не соляного) материала (по-видимому, следствие их более медленного формирования); различия пространственных соотношений тех и других с телами материнских солей (первые залегают в большей мере непосредственно над ними, а вторые – рядом, в тектонических впадинах, часто рассекающих сминаемые соленосные осадочные серии). Детальное сопоставление соляных тел этих двух разновидностей, прежде всего особенностей их внутреннего строения, составляет одну из задач будущих исследований.

В процессах миграции и разгрузки наряду с солями постоянно участвуют, как мы подчеркивали, высококонцентрированные рассолы. Если поступление в седиментационные бассейны соляных масс ведет к возникновению покровообразных соляных тел, нередко изначально деформированных, то разгрузка рассолов (часто опережающая и завершающая разгрузку солей) – к рассольно-осадочному преобладающе хомогенному соленакоплению с формированием неоавтохтонных пластовых, более четко стратифицированных, недеформированных толщ, смешанных по составу (карбонатно-сульфатно-соляных) (Беленицкая, 1998). В результирующих разрезах хомогенные соленосные пачки сопровождают обе разновидности покровообразных тел, подстилая, иногда также покрывая и фациально замещая их в мелководных обстановках. Это характерно как для разрезов миоценовых толщ Средиземного моря (Rouchy, 1982; Живаго, 1994; Чумаков, 1996), так и для типовых разрезов многих осадочных бассейнов мира (Беленицкая, 1998).

Включение выносимых из недр соляных масс и рассолов в процессы накопления соленосных толщ новых стратиграфических уровней позволяет трактовать их не только как завершающие звенья одних кинематических циклов, но и как начальные звенья новых циклов жизни соляных тел, сопоставимых с процессами их возрождения. Эти процессы требу-

ют специального более детального анализа, что не входило в задачи данной статьи. Частично мы исследовали их ранее (Беленицкая, 1998, 2014 и др.).

Наличие покровообразных соляных тел молодых уровней и восстановление “родственных” связей между ними и более древними солями дают ключ к выявлению уровней вероятной былой плохо сохранившейся соленосности, т. е. сам факт наличия таких соляных тел, как мы уже подчеркивали, служит основанием для ретроспективного прогноза: для предположения существования в субстрате реликтов их предшественников – более древних солей, которые в эпохи тектонической активности, деформируясь и мигрируя, могли способствовать их накоплению. Возникает, однако, ряд важных вопросов. Прежде всего это проблемы генетической идентификации покровообразных соляных тел, морфологически близких седиментационным, но образующихся со значительным (до преобладающего) участием более древних солей. Интерпретация таких тел как производных кинематической эволюции солей в недрах изменяет подход к оценке возможных способов их формирования. Не менее важны вопросы датирования покровообразных тел, порой почти целиком состоящих из унаследованного соляного вещества. Особую трудность представляет терминология. Для этих и ряда других проблем весьма желательны, по нашему мнению, специальные самостоятельные исследования и обсуждения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная картина распространения и морфологии соляных тел в недрах Земли во многом отражает характер их соляноTECTONической и собственно тектонической истории. Подытожим главные черты итоговой картины.

По комплексу наиболее значимых морфокинетических особенностей, определяемых степенью и типом деформированности, соляные тела разделены на три группы: 1) пластовые с седиментационной стратификацией, не нарушенные сколь угодно значительно деформациями; 2) соляноTECTONические, серьезно деформированные, но не нарушенные или слабо нарушенные проявлениями ортотектоники; 3) ортотектонические, с интенсивными проявлениями собственно тектонических деформаций. Соленосные тела двух первых групп, залегающие среди тектонически не деформированных (или слабо деформированных) осадочных комплексов, заключают основные объемы солей, а тела третьей группы, находящиеся среди интенсивно деформированных комплексов, содержат соли в существенно меньшем, но все же значимом количестве и могут играть важную геологическую роль.

В соляноTECTONической группе выделены два крупных морфокинетических вида соляных тел,

различия которых определяет доминирующий вектор миграции солей: субвертикальные – диапировые и морфологически подобные им тела, сублатеральные – покровные и другие субпластовые тела, широкое распространение которых и их колоссальные масштабы установлены лишь в последние десятилетия. Обычны взаимопереходы и многообразные сочетания тел двух видов.

В ортотектонической группе соли распространены главным образом в виде остаточных и инъекционно-тектонических образований. Они находятся в разрезах разновозрастных покровно-складчатых областей, максимально в зонах их тектонического сопряжения с платформами и срединными массивами, а также, хотя и реже, в их фундаменте. Соляные тела этой группы гораздо менее масштабны, чем тела двух других. Соли здесь присутствуют преимущественно в составе аллохтонных складчато-надвиговых пакетов, а также в перекрытых ими автохтонных соленосных осадочных сериях. Наиболее широко соли этой группы распространены в покровно-складчатых системах молодых аккреционно-коллизийных орогенов. В более древних фанерозойских аналогах их количество и масштабы более ограничены, а среди докембрийских – незначительны, чаще могут лишь предполагаться по косвенным показателям. Ограниченны находки солей и среди комплексов фундамента платформ. Малая распространенность солей в составе тектонически деформированных осадочных и метаосадочных серий не является седиментационной; масштабы исходной (доскладчатой и дометаморфической) соленосности во многих случаях были значительными, нередко грандиозными. Более масштабной, чем принято думать, может оказаться и их сохранившаяся до настоящего времени соленосность. Проблемы соленосности надвиговых и поднадвиговых комплексов складчатых областей во многом сходны с проблемами их нефтегазоносности, которые в последние десятилетия составили одно из приоритетных направлений нефтегазовой геологии. Изученность соленосности этих областей значительно отстает.

Прослежены основные тенденции смены доминирующих типов соляно- и ортотектонических деформаций соляных тел на разных стадиях геодинамической эволюции вмещающих их структур. На рифтовой стадии преобладает диапиризм, на пассивно-окраинной и особенно на раннесубдукционной важную роль играет солянотектоническое покровообразование. Активные ортотектонические деформации осадочных серий, происходящие в ходе аккреционно-коллизийных процессов и формирования покровно-складчатых систем и ведущие к массовому тектоническому выжиманию солей, оставляют на местах их бывшего залегания лишь “соляные швы”, фрагменты слоев материнских солей и отдельные более мощные остаточные бло-

ки, а на путях миграции образуют разнообразные инъекционно-тектонические формы – вторичные и третичные “соляные швы”, перемещенные блоки, разнообразные по морфологии инъекционно-тектонические внедрения и др.

Одно из следствий массовой эмиграции солей в ходе их кинематической эволюции – ответная со-масштабная аккумуляция значительной их части на более молодых стратиграфических уровнях с формированием новых генераций соляных тел. Эти процессы в какой-то мере проявляются уже в ходе активного развития соляной тектоники, формируя покровообразные аллохтонные соляные тела, а в фазы тектонических перестроек достигают максимальных масштабов. В обоих случаях в седиментационных бассейнах возникают соляные тела не осадочной (или не чисто осадочной) природы, имеющие в целом пластообразную форму и субсогласный характер залегания с вмещающими стратифицированными отложениями. Это ставит задачу опознания подобных тел в осадочных разрезах.

В данной статье мы не рассматривали вопросы, касающиеся судьбы солей, попадающих в более жесткие термобарические условия недр, где они могут принимать участие в “горячих” эндогенных процессах и оказывать влияние на их минералогеохимическую и рудную специализацию. Наибольшие шансы оказаться в их числе имеют глубокопогруженные соли, прежде всего ортотектонической группы. Частично эти вопросы тезисно были рассмотрены в работе “Об участии природных солей в щелочном магматизме...” (Беленицкая, 2015). Их специальный анализ автор считает одной из важных задач будущих исследований.

В заключение следует подчеркнуть, что геологов может ожидать еще много неожиданностей, связанных с обнаружением как значительных масс погребенных солей и рассолов, так и широкого спектра их разнообразных производных, в том числе “горячих” метаморфо-метасоматических и магматических, часто рудоносных.

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

- Ахмедов А.М., Травин Л.В., Тихомирова М. (1996) Эпохи оледенения и эвапоритизации в раннем протерозое и межрегиональная корреляция. *Региональная геология и металлогения*, 5, 84-97.
- Беленицкая Г.А. (1998) Галогенсодержащие бассейны. *Литогеодинамика и минералогия осадочных бассейнов*. Под ред. А.Д. Щеглова. СПб.: ВСЕГЕИ, 220-320.
- Беленицкая Г.А. (2000) Соленосные осадочные бассейны. *Осадочные бассейны России*. Вып. 4. СПб.:

- ВСЕГЕИ, 72 с.
- Беленицкая Г.А. (2004) Осадочные бассейны Земли. Соляная тектоника Земли. *Планета Земля. Энциклопедический справочник*. (Гл. ред. Л.И. Красный). СПб.: ВСЕГЕИ, 98-112, 173-182.
- Беленицкая Г.А. (2008) Типы седиментогенеза. Расширенный вариант классификации. *Отечественная геология*, (3), 29-45.
- Беленицкая Г.А. (2014) Соли и нафтиды: глобальные пространственные и кинетические взаимосвязи. *Региональная геология и металлогения*, **57**, 97-112.
- 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: КарНЦ РАН, 96-101.
- Беленицкая Г.А. (2016) Соляная тектоника на окраинах молодых океанов. *Геотектоника*, (3), 26-41.
- Белоусов В.В. (1956) Тектонические наблюдения во Французских Альпах. Советская геология, **54**, 37-62.
- Богданов Н.А. (1988) Тектоника глубоководных впадин окраинных морей. М.: Недра, 221 с.
- Виноградов В.И. (1980) Роль осадочного цикла в геохимии изотопов серы. М.: Наука, 192 с.
- Геологический словарь (2010). Т. 1. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 432 с.
- Горбачев В.И., Петров О.В., Тарханов Г.В. (2011) Каменные соли в палеопротерозое Онежского прогиба Балтийского щита (по данным Онежской параметрической скважины). *Региональная геология и металлогения*, **45**, 90-97.
- Дрибус Д.Р., Джексон М.П.А., Капур Д., Смит М.Ф. (2008) Сокровища под соляными толщами. *Нефтегазовое обозрение*, **20**(3), 5-21.
- Жарков М.А. (1978) История палеозойского соленакопления. Новосибирск: Наука, 272 с.
- Живаго А.В. (1994) Проявления соляной тектоники в поверхностных слоях донных отложений Средиземного моря. М.: Наука, 61 с.
- Журавлев В.С. (1972) Сравнительная тектоника Печорской, Прикаспийской и Североморской экзогенальных впадин Европейской платформы. М.: Наука, 400 с.
- Калинко М.К. (1973) Соленакопление, образование соляных структур и их влияние на нефтегазоносность. М.: Недра, 132 с.
- Колман Р. (1984) Красное море: малый океанический бассейн, образованный континентальным растяжением и спредингом морского дна. *Докл. 27 МГК*, **6**(II), 58-73.
- Конищев В.С. (1980) Тектоника областей галокинеза древних платформ. Минск: Наука и техника, 240 с.
- Косыгин Ю.А. (1960) Типы соляных структур платформенных и геосинклинальных областей. М.: Изд-во АН СССР, 92 с.
- Кропоткин П.Н., Валяев Б.М. (1970) Каменная соль в глубоких грабенах и во впадинах с корой океанического типа. *Бюлл. МОИП. Отд. Геол.*, **45**(5), 27-42.
- Ле Пишон К. (1984) Впадины Средиземного моря. История и происхождение окраинных и внутренних морей. *Докл. 27 МГК*, **6**(II), 73-90.
- Милановский Е.Е. (1983) Рифтогенез в истории Земли. Рифтогенез на древних платформах. М.: Недра, 280 с.
- Монин А.С. Зоненшайн Л.П. (1987) История океана Тетис. М.: Мир, 156 с.
- Планета Земля. Энциклопедический справочник (2004) (Гл. ред. Л.И. Красный). Т. 2. Тектоника и геодинамика. СПб.: ВСЕГЕИ, 850 с.
- Рифовые, соленосные и черносланцевые формации России (Г.А. Беленицкая, Н.Н. Соболев, О.В. Петров, А.М. Карпунин и др.) (2015) СПб.: ВСЕГЕИ, 624 с.
- Рифогенные и сульфатоносные формации фанерозоя СССР (1990) (Отв. ред.: Г.А. Беленицкая, Н.М. Задорожная). М.: Недра, 291 с.
- Розен О.М., Аббясов А.А., Аксаментова Н.В. (2006) Седиментация в раннем докембрии: типы осадков, метаморфизованные осадочные бассейны, эволюция терригенных отложений. М.: Науч. мир, 398 с.
- Салоп Л.И. (1982) Геологическое развитие Земли в докембрии. Л.: Недра, 343 с.
- 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.
- Толковый словарь английских геологических терминов (1977-1979) Пер. с англ. под ред. Л.П. Зоненшайна. Т. 3. М.: Мир, 1979. 544 с.
- Трусхейм Ф. (1990) Галокинез. *Структурная геология и тектоника плит*. Под ред. К. Сейферта. Т. 1. М.: Мир, 70-80.
- Хаин В.Е. Региональная геотектоника. М.: Недра. Кн. 1. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка (1971) 548 с. Кн. 2. Внеальпийская Европа и Западная Азия (1977) 359 с. Кн. 4. Альпийский Средиземноморский пояс (1984) 344 с.
- Чумаков И.С. (1996) Об одной из проблем соленакопления в мессинском эвапоритовом бассейне. *Вестн. МГУ. Сер. 4, геол.*, (6), 40-45.
- Brun J.-P., Fort X. (2011) Salt tectonics at passive margins: Geology versus models. *Marine and Petroleum Geology*, **28**, 1123-1145.
- Brun J.-P., Fort X. (2012) Salt tectonics at passive margins: geology versus models – reply. *Marine and Petroleum Geology*, **37**, 195-208.
- Busson G. (1982) Le Trias comme periode salifere. *Geologische Rundschau*, **71**(3), 857-880.
- Combellas-Bigott R.I., Galloway W.E. (2006) Depositional and structural evolution of the middle Miocene depositional episode, east-central Gulf of Mexico. *AAPG Bull.*, **90**(3), 335-362.
- Cramez C. (2006) Salt Tectonics. Short Course. Universidade Fernando Pessoa Porto, Portugal. Last modification: May. <http://homepage.ufp.pt/biblioteca/SaltTectonicsNovo.htm>.
- Hudec M.R., Jackson M.P.A. (2006) Advance of allochthonous salt sheets in passive margins and orogens. *AAPG Bull.*, **90**(10), 1535-1572.
- Jackson C.A.-L., Jackson M.P.A., Hudec M.R. (2015) Understanding the kinematics of salt-bearing passive margins: a critical test of competing hypotheses for the origin of the Albian Gap, Santos Basin, offshore Brazil. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **127**(11/12), 1730-1751.

- McBride Barry C. (1998) The evolution of allochthonous salt along a megaregional profile across the Northern Gulf of Mexico Basin. *AAPG Bull.*, 82(5B), 1037-1054.
- Moore D.C. (2010) Pioneering the Global Subsalt-Presalt Play: The World Beyond Mahogany Field. *Search and Discovery*. Article 10285.
- Pautot G., Vincent R., Jacques D. (1973) Morphology, limits, origin and age of salt layer along South Atlantic African margin. *AAPG Bull.*, 57(9), 1658-1671.
- Rouchy J.-M. (1982) La Genese des Evaporites Messiniennes de Mediterranee. Paris: Editions du Museum national d'Histoire naturelle, 267.
- Rowan M.G. (2014) Passive-margin salt basins: hyperextension, evaporite deposition, and salt tectonics Basin Research. *Marine and Petroleum Geology*, 26(1), 154-182.
- Rowan M.G., Peel F.J., Vendeville B.C., Gaullier V. (2012) Gravity-driven fold belts on passive margins: Geology versus models – discussion. *Marine and Petroleum Geology*, 37, 184-194.
- Ziegler P.A., Horvath. F. (1996) Peri-Tethys Memoir 2: Structure and Prospects of Alpine Basins and Forelands. *Mem. Mus. Natn. Hist. nat.* 170, 485-511.
- ginal seas]. Moscow, Nedra Publ., 221 p. (In Russian).
- Brun J.-P., Fort X. (2011) Salt tectonics at passive margins: Geology versus models. *Marine and Petroleum Geology*, 28, 1123-1145.
- Brun J.-P., Fort X. (2012) Salt tectonics at passive margins: geology versus models – reply. *Marine and Petroleum Geology*, 37, 195-208.
- Busson G. (1982) Le Trias comme periode salifere. *Geologische Rundschau*, 71(3), 857-880.
- Chumakov I.S. (1996) Towards one of the salt accumulation issues in the Messinian evaporite basin. *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 4: Geol.*, (6), 40-45. (In Russian).
- Colman R.G. (1984) The Red Sea: a small oceanic basin formed by continental extension and seafloor spreading. *Dokl. 27 MGK*, 6(II), 58-73. (In Russian).
- Combellas-Bigott R.I., Galloway W.E. (2006) Depositional and structural evolution of the middle Miocene depositional episode, east-central Gulf of Mexico. *AAPG Bull.*, 90(3), 335-362.
- Cramez C. (2006) Salt Tectonics. Short Course. Universidade Fernando Pessoa Porto, Portugal. Last modification: May. <http://homepage.ufp.pt/biblioteca/SaltTectonicsNovo.htm>.
- Dribus D.R., Dzheksan M.P.A., Kapur D., Smit M.F. (2008) The prize beneath the salt. *Neftegazovoe obozrenie*, 20(3), 5-21. (In Russian).
- Geologicheskii slovar'* [Geological Dictionary] (2010) V 3 t. T. 1. SPb., VSEGEI Publ., 432 p. (In Russian).
- Gorbachev V.I., Petrov O.V., Tarkhanov G.V. (2011) Rock salt in the Paleoproterozoic of the Onega basin, Baltic Shield (according to Onega parametric well). *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*, 45, 90-97. (In Russian).
- Hudec M.R., Jackson M.P.A. (2006) Advance of allochthonous salt sheets in passive margins and orogens. *AAPG Bull.*, 90(10), 1535-1572.
- Jackson C.A.-L., Jackson M.P.A., Hudec M.R. (2015) Understanding the kinematics of salt-bearing passive margins: a critical test of competing hypotheses for the origin of the Albian Gap, Santos Basin, offshore Brazil. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 127(11/12), 1730-1751.
- Kalinko M.K. (1973) *Solenakoplenie, obrazovanie solyanykh struktur i ikh vliyanie na neftegeozonosnost'* [Accumulation of Salts, Formation of Salt Structures, and Their Influence on Petroleum-Bearing Potential]. Moscow, Nedra Publ., 132 p. (In Russian).
- Khain V.E. *Regional'naya geotektonika* [Regional Geotectonics]. *Kn. 1. Severnaya i Yuzhnaya Amerika, Antarktida i Afrika* (1971) [Book 1. North and South America, Antarctica and Africa] 548 p. *Kn. 2. Vneal'piiskaya Evropa i Zapadnaya Aziya* (1977) [B. 2. Extra-Alpine Europe and Western Asia] 359 p. *Kn. 4. Al'piiskii Sredizemnomorskii poyas* (1984) [B. 4. Alpine Mediterranean belt] 344 p. Moscow, Nedra Publ. (In Russian).
- Konishchev V.S. (1980) *Tektonika oblastei galokinez drevnikh platform* [Tectonics of Halokinesis Areas of Ancient Platforms]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 240 p. (In Russian).
- Kosygin Yu.A. (1960) *Tipy solyanykh struktur platformnykh i geosinklinal'nykh oblastei* [Types of Salt Structures in Platform and Geosyncline Regions]. Moscow, AN SSSR Publ., 92 p. (In Russian).
- Kropotkin P.N., Valyaev B.M. (1970) Mineral salt in deep grabens and basins with oceanic crust. *Bull. MOIP. Otd. Geol.*, 45 (5), 27-42. (In Russian).

REFERENCES

- Le Pichon X. (1984) **The Mediterranean Basins. Istoriya i proiskhozhdenie okrainnykh i vnutrennikh morey** [History and Origins of Marginal Seas]. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 6(II), 73-90. (In Russian).
- McBride Barry C. (1998) The evolution of allochthonous salt along a megaregional profile across the Northern Gulf of Mexico Basin. *AAPG Bull.*, 82(5B), 1037-1054.
- Milanovsky E.E. (1983) *Riftogenez v istorii Zemli. Riftogenez na drevnikh platformakh* [Rifting in the Earth's history. Rifting on ancient platforms]. Moscow, Nedra Publ., 280 p. (In Russian).
- Monin A.S., Zonenshain L.P. (1987) *Istoriya okeana Tetis* [Tethys Ocean History] Moscow, Mir Publ. 156 p. (In Russian).
- Moore D.C. (2010) Pioneering the Global Subsalt-Presalt Play: The World Beyond Mahogany Field. *Search and Discovery*. Article 10285.
- Pautot G., Vincent R., Jacques D. (1973) Morphology, limits, origin and age of salt layer along South Atlantic African margin. *AAPG Bull.*, 57(9), 1658-1671.
- Planeta Zemlya. *Entsiklopedicheskii spravochnik T. 2. Tektonika i geodinamika*. (2004) Gl. red. L.I. Krasnyi. [Earth planet. Encyclopedia guidebook. V. 2. Tektonics and Geodynamics] St-Petersburg, VSEGEI Publ., 850 p. (In Russian).
- Rifogennyye i sul'fatonosnye formatsii fanerozooya SSSR* (1990) (Otv. red.: G.A. Belenitskaya, N.M. Zadorozhnaya) [Phanerozoic reefogenic and sulphate-bearing formations of USSR. (Eds: G.A. Belenitskaya, N.M. Zadorozhnaya)]. Moscow, Nedra Publ., 291 p. (In Russian).
- Rifovyye, solenosnye i chernoslantsevyye formatsii Rossii* (G.A. Belenitskaya, N.N. Sobolev, O.V. Petrov, A.M. Karpunin i dr.) (2015) [Reef, saline-bearing, and black shale formations of Russia (G.A. Belenitskaya, O.V. Petrov, N.N. Sobolev)]. St-Petersburg., VSEGEI Publ., 624 p. (In Russian).
- Rosen O.M., Abbyasov A.A., Aksamentova N.V. (2006) *Sedimentatsiya v rannem dokembrii: tipy osadkov, metamorfizovannyye osadochnyye basseiny, evolyutsiya terrigennykh otlozheniy* [Sedimentation in the Early Precambrian: Sediment types, metamorphosed sedimentary basins, terrigenous deposits evolution]. Moscow, Nauchny Mir Publ., 398 p. (In Russian).
- Rouchy J.-M. (1982) *La Genese des Evaporites Messiniennes de Mediterranee*. Paris: Editions du Museum national d'Histoire naturelle, 267.
- Rowan M.G. (2014) Passive-margin salt basins: hyperextension, evaporite deposition, and salt tectonics Basin Research. *Marine and Petroleum Geology*, 26(1), 154-182.
- Rowan M.G., Peel F.J., Vendeville B.C., Gaullier V. (2012) Gravity-driven fold belts on passive margins: Geology versus models – discussion. *Marine and Petroleum Geology*, 37, 184-194.
- Salop L.I. (1982) *Geologicheskoe razvitiye Zemli v dokembrii* [Geological evolution of the Earth during the Precambrian]. Leningrad, Nedra Publ., 343 p. (In Russian).
- Serdyuchenko D.P. (1972) Salt-bearing sedimentary rocks in Precambrian earth strata and their scapolite-bearing metamorphic derivatives. *Geologiya dokembriya*. Leningrad, Nauka Publ., 31-41. (In Russian).
- Tektonicheskaya karta Sredizemnogo morya. Masshtab 1 : 5 000 000*. (N.A. Bogdanov, V.E. Khain, V.D. Chekhovich, N.V. Koronovskii, M.G. Lomize i dr.) (1994) [Tectonic map of the Mediterranean Sea. Scale 1 : 5 000 000. (N.A. Bogdanov, V.E. Khain, V.D. Chekhovich, N.V. Koronovskii, M.G. Lomize et al.)] Moscow, VIEMS Publ. (In Russian).
- Tolkovyyi slovar' angliiskikh geologicheskikh terminov*. T. 3. (1979) [Explanatory Dictionary of the English geological terms. V. 3.] Moscow, Mir Publ., 544 p. (In Russian).
- Truskheim F. (1990) Halokinesis. *Strukturnaya geologiya i tektonika plit. T. 1*. [Structural Geology and Plate Tectonics. V.1]. Moscow, Mir Publ., 70-80. (In Russian).
- Vinogradov V.I. (1980) *Rol' osadochnogo tsikla v geokhimii izotopov sery* [Role of the sedimentary cycle in the sulphur isotopes geochemistry]. Moscow, Nauka Publ., 192 p. (In Russian).
- Zharkov M.A. (1978) *Istoriya paleozoyskogo solenakopleniya* [History of the Paleozoic salt accumulation]. Novosibirsk, Nauka Publ., 272 p. (In Russian).
- Zhivago A.V. (1994) *Proyavleniya solyanoy tektoniki v povorkhnostnykh sloyakh donnykh otlozheniy Sredizemnogo morya* [Salt tectonics manifestations in the surface layers of bottom sediments in the Mediterranean Sea]. Moscow, Nauka Publ., 61 p. (In Russian).
- Zhuravlev V.S. (1972) *Sravnitel'naya tektonika Pechorskoi, Prikaspiiskoi i Severomorskoi ekzogonal'nykh vpadin Evropeiskoi platformy* [Comparison between Tectonics of the Pechora, North Caspian, and North Sea Exogonal Basins of the European Platform]. Moscow, Nauka Publ., 400 p. (In Russian).
- Ziegler P.A., Horvath. F. (1996) Peri-Tethys Memoir 2: Structure and Prospects of Alpine Basins and Forelands. *Mem. Mus. Natn. Hist. nat.* 170, 485-511.