

**Г. А. Беленицкая**

**СОЛИ ЗЕМЛИ:  
ТЕКТОНИЧЕСКИЕ,  
КИНЕМАТИЧЕСКИЕ  
И МАГМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ**



ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМЕНИ А. П. КАРПИНСКОГО (ВСЕГЕИ)

Г. А. БЕЛЕНИЦКАЯ

**СОЛИ ЗЕМЛИ:  
ТЕКТОНИЧЕСКИЕ, КИНЕМАТИЧЕСКИЕ  
И МАГМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ**

Москва  
ГЕОС  
2020

УДК 552.53:551.247:552.33(100)

ББК 26.323

Б 5

Б 5 **Г. А. БЕЛЕНИЦКАЯ. СОЛИ ЗЕМЛИ: ТЕКТОНИЧЕСКИЕ, КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И МАГМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ.** – М.: ГЕОС, 2020. 605 с.

**ISBN 978-5-89118-805-1**

Книга представляет собой первое интегрированное исследование глобального распространения и поведения солей в недрах Земли, их тектонической истории и кинематической эволюции, мобильных соляно-нафтидных взаимосвязей, а также «горячих» соляно-магматических взаимодействий. Приведена систематическая сводка соленосных бассейнов мира с анализом тектонических и кинематических закономерностей их размещения, строения, неогеодинамической позиции и палеогеодинамической эволюции. Впервые природные соли рассмотрены как важнейшие, чрезвычайно масштабные и активные геологические образования, пронизывающие земную кору до значительных глубин. Охарактеризованы грандиозные системы кинетически взаимосвязанных инъекционных субвертикальных и аллохтонных покровообразных тел, формируемых мигрирующими солями, рассмотрены их судьба и эволюция, мобильные связи с нафтидами, совместное участие в процессах геологического рециклинга, влияние на другие геологические процессы. Обоснована принципиально новая регенерационная (рециклинговая) модель образования соляных тел при участии глубинных разгрузок более древних погребенных рассольно-соляных масс. Соленакпление рассмотрено как одно из проявлений инъекционно-осадочных процессов, а активная соляная тектоника – как важная стадия геологических циклов эволюции соляных тел и как один из механизмов корового рециклинга. Реализация всех этих процессов проиллюстрирована и детально обоснована на примере ряда интереснейших уникальных соляно-нафтидных эталонных объектов (Средиземноморского и Мексиканского супергигантов, бассейнов Циркуматлантического кольца, Мертвого моря), рассмотренных как очаги соляно-нафтидной разгрузки и центры рециклингового соле- и нафтидонакопления. Впервые показана геолого-генетическая вероятность участия глубоко погребенных древних солей в щелочном магматизме. Охарактеризованы факторы, указывающие на такую вероятность, главные из которых: подобие наборов макро- и микрокомпонентов соленосных и щелочных комплексов (галофильных и фойдафильных соответственно) и близость областей их распространения. Выделены соляно-щелочные ассоциации, охарактеризованы их тектонические типы, проиллюстрированы эталонные объекты каждого типа, показано распространение ассоциаций разных возрастов. Дан сравнительный анализ геолого-генетических аспектов предлагаемой модели соляно-магматических взаимодействий с другими моделями щелочного магматизма. Исследование выполнено на основании широкого критического обобщения литературного и авторского материала с использованием современных интегрированных подходов и методов осадочной геологии.

Книга может служить теоретическим, практическим и справочным пособием для профессиональных геологов, в том числе солевиков, нефтяников, литологов, тектонистов, петрологов, а также вспомогательным учебным руководством для аспирантов и студентов. Она может быть также интересна всем любящим природу и стремящимся познать суть природных событий и явлений.

**Ключевые слова:** соленосный бассейн, соляная тектоника, инъекционный, аллохтонные соляные покровы, кинематическая эволюция, соляной рециклинг, Средиземноморский бассейн, мессинские события, Мексиканский бассейн, Атлантический океан, Мертвое море, соляно-нафтидные узлы, сероводородсодержащие газы, щелочной магматизм, магматическая ассимиляция.

Издание осуществлено при финансовой поддержке РФФИ  
Проект № 19-15-00038



Издание РФФИ не подлежит продаже

ISBN 978-5-89118-805-1

© Г. А. Беленицкая, 2020  
© ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2020

A. P. KARPINSKY RUSSIAN GEOLOGICAL RESEARCH INSTITUTE  
(VSEGEI)

Galina A. BELENITSKAYA

**SALTS OF THE EARTH:  
TECTONIC, KINEMATIC  
AND MAGMATIC ASPECTS  
OF GEOLOGICAL HISTORY**

Moscow  
GEOS  
2020

UDK 552.53:551.247:552.33(100)

BBK 26.323

B 5

B 5 **BELENITSKAYA G. A. SALTS OF THE EARTH: TECTONIC, KINEMATIC AND MAGMATIC ASPECTS OF GEOLOGICAL HISTORY. – M.: GEOS, 2020. 605 p. ISBN 978-5-89118-805-1**

The book is the first integrated study of the global distribution and behavior of salts in the bowels of the Earth, their tectonic history and kinematic evolution, mobile salt-naphthide interactions, as well as “hot” salt-magmatic interactions. A systematic summary of the saline basins of the world with an analysis of the tectonic and kinematic laws of their location, structure, neo-geodynamic position and paleogeodynamic evolution is presented. For the first time, natural salts are considered as the most important, extremely large-scale and active geological formations that penetrate the Earth’s crust to significant depths. The grandiose systems of kinetically interconnected injecting subvertical and allochthonous integumentary bodies formed by migrating salts are characterized, their fate and evolution, mobile communications with naphthides, joint participation in geological recycling processes, and the effect on other geological processes are considered. A fundamentally new regeneration (recycling) model of the formation of salt bodies with the participation of deep discharge of the older buried brine-salt masses is substantiated. Salt accumulation is considered as one of the manifestations of injection-sedimentary processes, and active salt tectonics is considered as an important stage in the geological cycles of evolution of salt bodies and as one of the mechanisms of crustal recycling. The implementation of all these processes is illustrated and substantiated in detail by the example of a number of interesting unique salt-naphthide reference objects (Mediterranean and Mexican supergiants, Circum-Atlantic ring basins, the Dead sea), considered as foci of salt-naphthide discharge and centers of recycling salt and naphthidion accumulation. For the first time, the geological and genetic probability of the participation of deeply buried ancient salts in alkaline magmatism is shown. The factors indicating such a probability are characterized, the main of which are: the similarity of the sets of macro- and microcomponents of saline and alkaline complexes (halophilic and foydaphilic, respectively) and the proximity of their distribution areas. Salt-alkaline associations are distinguished, their tectonic types are characterized, reference objects of each type are illustrated, the distribution of associations of different ages is shown. A comparative analysis of the geological and genetic aspects of the proposed model of salt-magmatic interactions with other models of alkaline magmatism is given. The study was carried out on the basis of a broad critical generalization of literary and authorial material using modern integrated approaches and methods of sedimentary geology.

The book can serve as a theoretical, practical and reference tool for professional geologists, including saltmakers, oil workers, lithologists, tectonists, petrologists, as well as an auxiliary educational guide for graduate students and students. It can also be interesting to all those who love nature and seek to know the essence of natural events and phenomena.

**Keywords:** Salt-bearing basin, salt tectonics, injection, allochthonous salt covers, kinematic evolution, salt recycling, Mediterranean basin, Messinian events, Mexican basin, Atlantic ocean, Dead Sea, salt-naphthide nodes, hydrogen sulfide-containing gases, alkaline magmatism, magmatic assimilation.

This publication was financially supported by the RFBR  
Project No 19-15-00038



The edition of RFBR is not subject for sale

ISBN 978-5-89118-805-1

© G. A. Belenitskaya, 2020  
© VSEGEI, 2020

---

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

Введение.....	19
<b>ЧАСТЬ 1. СОЛИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ: СОСТАВ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ТЕКТОНИЧЕСКАЯ И КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ, СОЛЯНО-НАФТИДНЫЕ ПАРАКИНЕЗЫ .....</b>	<b>25</b>
<b>ГЛАВА 1. Геолого-тектонический и минерагенический обзор соленосных бассейнов мира .....</b>	<b>26</b>
1.1. Понятийно-терминологическая база.....	26
1.2. Соленосные бассейны Евразии .....	37
1.2.1. Геолого-тектонический обзор.....	37
1.2.2. Минерагеническая и экономическая значимость .....	40
1.2.3. Крупнейшие соленосные бассейны: краткая геолого-минерагеническая характеристика .....	41
1.3. Соленосные бассейны Северной Америки .....	99
1.3.1. Геолого-тектонический обзор.....	99
1.3.2. Минерагеническая и экономическая значимость .....	100
1.3.3. Крупнейшие соленосные бассейны: краткая геолого-минерагеническая характеристика .....	100
1.4. Соленосные бассейны Южной Америки.....	114
1.4.1. Геолого-тектонический обзор.....	114
1.4.2. Минерагеническая и экономическая значимость .....	116
1.4.3. Крупнейшие соленосные бассейны: краткая геолого-минерагеническая характеристика .....	116
1.5. Соленосные бассейны Африки и Аравии.....	122
1.5.1. Геолого-тектонический обзор.....	122
1.5.2. Минерагеническая и экономическая значимость .....	124
1.5.3. Крупнейшие соленосные бассейны: краткая геолого-минерагеническая характеристика .....	124
1.6. Соленосные бассейны Австралии.....	139
1.6.1. Геолого-тектонический обзор.....	139
1.6.2. Минерагеническая и экономическая значимость .....	143
1.6.3. Крупнейшие соленосные бассейны: краткая геолого-минерагеническая характеристика .....	143
1.7. Заключение .....	145
<b>ГЛАВА 2. Историко-геодинамический анализ пространственного и временного распределения соленосных бассейнов мира .....</b>	<b>146</b>
2.1. Задачи историко-геодинамического анализа соленосных бассейнов .....	146
2.2. Основы геодинамического анализа .....	147

2.2.1. Терминология.....	147
2.2.2. Геодинамическая классификация.....	148
2.2.3. Геодинамические типы соленосных бассейнов.....	151
2.2.4. Диагностические признаки соленосных бассейнов разных геодинамических типов.....	151
2.2.5. Литогеодинамические модели соленосных бассейнов.....	154
2.3. О сохранности соляных тел и информативности геологической летописи.....	154
2.4. Неогеодинамические соленосные бассейны мира.....	156
2.4.1. Обзор соленосных бассейнов.....	156
2.4.2. Общая картина размещения неогеодинамических соленосных бассейнов в новейшей кинематической структуре Земли (итоги анализа).....	169
2.5. Основные черты геодинамической истории соленакпления в течение фанерозоя.....	172
2.6. Закономерности геодинамического размещения бассейнов соленакпления.....	183
2.6.1. Периодичность соленакпления.....	184
2.6.2. Упорядоченность пространственного размещения соленосных объектов.....	184
2.6.3. Региональные особенности стратиграфического распределения соленосных объектов.....	185
2.6.4. Синхронность или закономерная последовательность галогенных событий.....	185
2.6.5. Геодинамическая «специализация» эпох соленакпления.....	186
2.6.6. Геохимическая «специализация» эпох соленакпления.....	187
2.6.7. Унаследованность размещения соленосных объектов.....	187
2.7. Заключение.....	189
<b>ГЛАВА 3. Кинематическая история соляных тел в земной коре.....</b>	<b>191</b>
3.1. Морфокинетические группы соляных тел.....	192
3.2. Тела соляноTECTONической группы.....	193
3.3. Соляные тела ортоTECTONической группы.....	201
3.3.1. Поведение солей в условиях активной тектоники.....	201
3.3.2. МорфотECTONические особенности соленосных тел в покровно-складчатых областях.....	203
3.3.3. Распространенность солей в складчатых областях разного возраста.....	205
3.4. Кинематическая эволюция соляных тел в ходе тектонического развития.....	212
3.5. Проблемы, связанные с образованием покровообразных соляных тел.....	213
3.6. Заключение.....	215
<b>ЧАСТЬ 2. СОЛИ В СИСТЕМЕ ИНЪЕКЦИОННО-ОСАДОЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ. РЕЦИКЛИНГОВЫЕ МОДЕЛИ СОЛЕ- И НАФТИДОАКОПЛЕНИЯ.....</b>	<b>217</b>
<b>ГЛАВА 4. Восходящие инъекционные системы Земли и инъекционно-осадочные образования.....</b>	<b>218</b>
4.1. Проблема участия восходящих разгрузок в осадконакоплении.....	218
4.2. Восходящие разгрузки в область осадконакопления: объекты, типизация.....	222
4.2.1. Системы инъекционных разгрузок.....	222
4.2.2. Флюиды, очаги их разгрузки, ореолы влияния (собственно флюидная группа).....	223
4.2.3. Текущие породные массы и очаги их разгрузки (литокинетическая группа).....	229
4.2.4. Паракинезы инъекционных разгрузок.....	230
4.3. Распространение восходящих разгрузок в области осадконакопления (современная картина).....	234
4.3.1. Распространение современных разгрузок.....	234
4.3.2. Масштабы современного поступления инъекционного материала в седиментационные обстановки.....	236
4.3.3. Геодинамические обстановки размещения современных очагов разгрузки и их эндогенные показатели.....	241
4.3.4. Восходящие разгрузки – мощный средообразующий фактор.....	245
4.4. Эколого-седиментационные следствия современных восходящих разгрузок.....	252

## Оглавление

4.4.1. Следствия флюидных разгрузок.....	252
4.4.2. Следствия литокинетических разгрузок .....	259
4.4.3. Общие модели инъекционно-осадочных процессов .....	260
4.4.4. Согласованная типизация инъекционных разгрузок и их инъекционно-осадочных производных.....	261
4.5. Седиментационные следствия былых восходящих разгрузок .....	263
4.5.1. Седиментационные производные и признаки флюидных палеоразгрузок .....	263
4.5.2. Седиментационные производные и признаки литокинетических палеоразгрузок .....	267
4.5.3. Инъекционно-осадочные парагенезы.....	268
4.5.4. Региональные примеры инъекционно-осадочных образований.....	268
4.6. Сочетания инъекционно-осадочных типов седиментогенеза с фоновыми.....	275
4.7. Заключение.....	275
<b>ГЛАВА 5. Регенерационная (рециклинговая) модель соленакопления.....</b>	<b>280</b>
5.1. Проблемы происхождения солей и соляных тел (современное состояние).....	280
5.1.1. Проблемы генезиса солей (основные гипотезы).....	280
5.1.2. Проблемы образования соляных тел.....	283
5.1.3. Новые данные, влияющие на решение проблем соленакопления.....	283
5.2. Суть регенерационной модели и примеры реализации .....	284
5.3. Геологические предпосылки реализации модели.....	286
5.3.1. Вещественные предпосылки.....	286
5.3.2. Тектонические и ландшафтные предпосылки .....	288
5.4. Тектоно-кинематическая последовательность и типы рассольно-соляных разгрузок.....	289
5.5. Седиментационно-аккумулятивные следствия рассольно-соляных разгрузок .....	291
5.5.1. Общая последовательность процессов в бассейнах седиментации .....	291
5.5.2. Взаимодействие рассолов с бассейновыми водами (хемогенно-аккумулятивные процессы) .....	295
5.5.3. Следствия разгрузки соляных масс (экструзивно-аккумулятивные процессы) .....	298
5.5.4. Следствия разгрузки в озерно-континентальных и прибрежно-сэбхово-лагунных обстановках .....	300
5.6. Обсуждение регенерационной модели .....	302
5.6.1. Оценка генетических положений модели и соответствия характеристик соленосных тел ее седиментационным следствиям.....	302
5.6.2. Минерагенические аспекты модели.....	304
5.6.3. Признаки участия регенерационных процессов в соленакоплении.....	305
5.6.4. О причинах недооценки роли регенерационных процессов в соленакоплении .....	306
5.6.5. Проблема датирования солей и соляных тел.....	307
5.6.6. О некоторых противоречиях моделей эвапоритового накопления соляных тел.....	308
5.6.7. О роли эксгалиационных процессов в соленакоплении .....	309
5.7. Об эволюции масштабов и механизмов соленакопления в геологической истории Земли .....	309
5.7.1. Стратиграфическое размещение солей.....	309
5.7.2. Об эволюции доминирующих механизмов соленакопления в геологической истории Земли .....	310
5.8. Заключение.....	313
<b>ЧАСТЬ 3. ПРИМЕРЫ ПРИРОДНЫХ ПОЯСОВ И УЗЛОВ СОЛЕНАКОПЛЕНИЯ.....</b>	<b>315</b>
<b>ГЛАВА 6. Пояса соляноTECTONических бассейнов вдоль окраин молодых океанов .....</b>	<b>316</b>
6.1. Цель главы.....	316
6.2. Распространение соляноTECTONических бассейнов вдоль окраин молодых океанов.....	317
6.3. Геологические особенности окраинно-океанических соляноTECTONических бассейнов.....	322



6.4. Геодинамическая позиция и история окраинно-океанических соляноTECTONических бассейнов .....	323
6.5. Морфокинетические особенности соляной тектоники в окраинно-океанических бассейнах .....	327
6.6. Специфические особенности условий и механизмов соляной тектоники в окраинно-океанических бассейнах .....	328
6.7. Геодинамические обстановки проявления соляной тектоники в окраинно-океанических бассейнах .....	330
6.8. Влияние соляной тектоники на структуру осадочных толщ окраинно-океанических бассейнов .....	332
6.9. Нефтегазоносность окраинно-океанических соляноTECTONических бассейнов .....	333
6.10. Заключение .....	334
<b>ГЛАВА 7. Мексиканский соляно-нефтяной супергигант – центр природных и техногенных нефтяных катастроф .....</b>	<b>335</b>
7.1. Основные задачи главы .....	335
7.2. Геологические, нефтегазовые и флюидодинамические особенности Мексиканского бассейна .....	336
7.3. Соленосные и нефтегазоносные недра Мексиканского бассейна .....	340
7.4. Живое дно Мексиканского залива .....	344
7.5. Аварии на нефтяных скважинах как геотехногенное явление .....	350
7.6. Аварийные нефтяные разливы и нефтоседиментогенез .....	353
7.7. Крупнейшие соляно-нефтегазоносные бассейны как глобальные центры надежд и угроз .....	355
7.8. О ликвидации экологических последствий нефтяных разливов .....	356
7.9. Заключение .....	358
<b>ГЛАВА 8. Средиземноморский соленосный супергигант. Загадки и парадоксы мессинского соленакопления .....</b>	<b>359</b>
8.1. Проблемы соленосности Средиземноморья .....	359
8.2. Ключевые черты геологии и геодинамической истории .....	360
8.2.1. Основные черты геологии .....	360
8.2.2. Палеогеодинамическая история .....	363
8.3. Соленосность недр Средиземноморья: современное распространение мессинских и триасовых солей .....	366
8.3.1. Мессинские соляные толщи .....	366
8.3.2. Современное распространение триасовых солей .....	370
8.3.3. Современные пространственные соотношения триасовых и миоценовых солей в Средиземноморье .....	377
8.4. Кинематическая история триасовых солей и их распространение в предмессинское время .....	381
8.5. Мессинский кризис солености. Представления о происхождении мессинских солей .....	383
8.6. Мессинские события как реализация регенерационной модели .....	386
8.6.1. Геологические события мессинского времени .....	386
8.6.2. Процессы разгрузки рассольно-соляных масс .....	390
8.6.3. Процессы аккумуляции солей .....	390
8.6.4. Итоги анализа предпосылок и событий, способствовавших реализации регенерационной модели .....	391
8.7. Обсуждение событий и «парадоксов» мессинского соленакопления с позиций регенерационной и эвапоритовой моделей (сравнительный анализ) .....	391
8.7.1. Различия в оценке событий мессинского времени .....	391
8.7.2. «Парадоксы» и противоречия мессинского соленакопления .....	392
8.7.3. Итоги сравнительного анализа .....	395

8.7.4. О признаках участия регенерационных процессов в формировании мессинских соляных тел Средиземноморья.....	396
8.7.5. О причинах неучета возможной роли инъекционных процессов в мессинском соленакоплении .....	396
8.8. Заключение .....	397
<b>ГЛАВА 9. Мертвое море: малый нефте-соляной узел и очаг разгрузки .....</b>	<b>399</b>
9.1. Проблемы соленосности и нефтегазоносности Мертвого моря .....	399
9.2. Ключевые черты геологии и флюидодинамики грабена Мертвого моря.....	400
9.2.1. Структурно-тектоническая ситуация .....	400
9.2.2. Соляные недра грабена Мертвого моря.....	404
9.2.3. Флюидодинамическая напряженность недр Мертвого моря и способы ее разрядки .....	405
9.3. «Соленосное чудо» планеты .....	406
9.3.1. Мертвое море и его «необычные» особенности .....	406
9.3.2. Особенности Мертвого моря, отраженные в его названиях.....	413
9.4. Происхождение и история развития солей, диапиров и рассолов Мертвого моря .....	416
9.4.1. Происхождение солей грабена Мертвого моря: существующие представления .....	416
9.4.2. Аллохтонная модель образования солей, выполняющих грабен Мертвого моря.....	419
9.4.3. Генезис рассолов Мертвого моря: почему море соленое? .....	424
9.4.4. История формирования солей, диапиров и рассолов Мертвого моря.....	428
9.5. О природных аналогах Мертвого моря.....	432
9.6. Колебания уровня рассолов Мертвого моря как отражение «жизни» соленосных недр .....	439
9.6.1. О колебаниях уровня рассолов Мертвого моря.....	439
9.6.2. Факторы, влияющие на колебания уровней рассольных озер.....	443
9.6.3. Пульсации уровня рассолов Мертвого моря как закономерное проявление «жизни» углеводородно-рассольно-соляной системы недр.....	444
9.7. Мифы как отражение природных событий в жизни Мертвого моря .....	446
9.7.1. Содомские события: свидетельства Библии, историков, географов, археологов .....	446
9.7.2. Содомские события: геологические интерпретации .....	449
9.7.3. Соляной или галовулканизм: геологический сценарий содомских событий .....	450
9.7.4. Природные и техногенные аналоги содомских событий .....	454
9.8. Заключение .....	458
<b>ЧАСТЬ 4. ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СОЛЕНОСНЫХ БАССЕЙНОВ .....</b>	<b>461</b>
<b>ГЛАВА 10. Соли и нефтиды: пространственные, кинетические, геохимические взаимосвязи как факторы прогноза .....</b>	<b>464</b>
10.1. О роли солей в размещении залежей углеводородов .....	464
10.1.1. Общий характер пространственных соотношений солей и углеводородов.....	464
10.1.2. Нефтегазоносность соленосных бассейнов разных геодинамических типов .....	466
10.1.3. Роль соляных тел разных морфокинетических типов.....	470
10.2. Соляно-нафтидные узлы .....	471
10.3. Геологические особенности соляно-нафтидных узлов как факторы прогноза нефтегазоносности .....	475
10.3.1. Структурно-тектоническая позиция .....	475
10.3.2. Параметры соляных толщ и их специфические черты .....	475
10.3.3. Соляная тектоника.....	475
10.3.4. Парагенезы соленосных толщ.....	475
10.3.5. Вертикальная дисгармоничность.....	476
10.3.6. Градиентные зоны и уступы в надсолевых отложениях.....	476
10.3.7. Состав углеводородов .....	476
10.3.8. Подземные воды .....	477

10.4. Соляно-нафтидные узлы как центры восходящей миграции и разгрузки солей, рассолов, углеводов	477
10.5. О соляном и нафтидном чехольно-коровом рециклинге	479
10.6. Заключение	480
<b>ГЛАВА 11. Закономерности размещения и критерии прогнозной оценки месторождений сероводородсодержащих газов</b>	<b>483</b>
11.1. Проблемы распространения сероводорода в природных газах	483
11.2. Распространение	484
11.3. Происхождение	487
11.4. Факторы, контролирующие размещение сероводородсодержащих газов	488
11.4.1. <i>Формационно-литологические особенности</i>	488
11.4.2. <i>Стратиграфическое положение</i>	490
11.4.3. <i>Структурно-тектонические условия</i>	490
11.4.4. <i>Условия нефтегазоносности и запасы газа</i>	491
11.4.5. <i>Типы ловушек</i>	491
11.4.6. <i>Термобарические условия</i>	492
11.4.7. <i>Газогидрогеохимические показатели</i>	493
11.4.8. <i>Микробиологические показатели</i>	493
11.4.9. <i>Фазовый тип залежей</i>	493
11.4.10. <i>Особенности химического состава залежей</i>	493
11.4.11. <i>Изотопный состав серы</i>	494
11.4.12. <i>Комплексность и зональность минерало-геохимических проявлений серы</i>	495
11.4.13. <i>Показатели разрушения, миграции, разгрузки</i>	497
11.5. Заключение	497
<b>ЧАСТЬ 5. «ГОРЯЧАЯ СУДЬБА» ПОГРЕБЕННЫХ СОЛЕЙ. УЧАСТИЕ СОЛЕЙ В ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ (НА ПРИМЕРЕ ЩЕЛОЧНОГО МАГМАТИЗМА)</b>	<b>499</b>
<b>ГЛАВА 12. Природные соляно-щелочные ассоциации</b>	<b>503</b>
12.1. Природные соли земной коры как потенциальные участники магматизма	503
12.2. Предпосылки для участия солей в щелочном магматизме	504
12.2.1. <i>Сходство специфических компонентов состава соленосных и щелочных пород</i>	505
12.2.2. <i>Пространственные сонахождения соляных и щелочных магматических объектов</i>	508
12.2.3. <i>Черты сходства закономерностей распространения соляных и щелочных объектов</i>	510
12.3. Соляно-щелочные ассоциации	511
12.4. Тектонические типы соляно-щелочных ассоциаций	514
12.5. Заключение	515
<b>ГЛАВА 13. Эталонные соляно-щелочные объекты и их аналоги</b>	<b>516</b>
13.1. Эталонные соляно-щелочные провинции	516
13.1.1. <i>Итальянская (Римская) соляно-щелочная провинция – покровно-складчатый тип</i>	517
13.1.2. <i>Верхнерейнская соляно-щелочная провинция – рифтогенный тип</i>	522
13.1.3. <i>Северозападно-Африканская соляно-щелочная провинция – тип активизированной пассивной окраины</i>	524
13.1.4. <i>Итоги анализа эталонных объектов</i>	527
13.2. О распространенности разновозрастных соляно-щелочных ассоциаций. Примеры аналогов эталонных объектов	527
13.2.1. <i>ЩСА неогеодинамической группы</i>	528
13.2.2. <i>ЩСА палеогеодинамической группы</i>	534
13.3. Заключение	539

## Оглавление

<b>ГЛАВА 14. Геолого-генетические аспекты модели соляно-щелочных взаимодействий</b> .....	540
14.1. Геологическая модель строения соляно-щелочных объектов .....	540
14.2. Признаки реализации модели соляно-магматических взаимодействий.....	544
14.2.1. <i>Вещественные признаки</i> .....	544
14.2.2. <i>Структурно-текстурные признаки</i> .....	546
14.2.3. <i>Пространственно-морфологические показатели</i> .....	547
14.2.4. <i>Особенности проявления и соотношения различных признаков</i> .....	547
14.3. Генетические аспекты модели соляно-магматических взаимодействий (галокоонтаминации мантийных магм).....	547
14.3.1. <i>О роли компонентов солей в щелочном магматизме</i> .....	547
14.3.2. <i>Рудогенная роль компонентов солей</i> .....	553
14.3.3. <i>Участие в магматизме пород, парагенных солям</i> .....	553
14.3.4. <i>О роли особенностей морфологии, состава и строения соленосных тел на участках внедрения магмы</i> .....	554
14.4. Соляно-карбонатные осадочные и щелочно-карбонатитовые магматогенные макропарагенезы: некоторые сопоставления .....	555
14.5. Об экспериментальных данных в решении проблем соляно-магматических взаимодействий .....	556
14.6. Сравнительный анализ геолого-генетических моделей щелочного магмообразования .....	559
14.7. Заключение.....	562
<b>Заключение</b> .....	566
<b>Литература</b> .....	573
<b>Предметный указатель</b> .....	591
<b>Об авторе</b> .....	604

---

---

## CONTENTS

---

---

<b>Introduction</b> .....	19
<b>PART 1. SALTS IN THE EARTH'S CRUST: COMPOSITION, DISTRIBUTION, TECTONIC AND KINEMATIC HISTORY, SALT-NAPHTIDE PARAKINESES</b> .....	25
<b>CHAPTER 1. Geologo-tectonic and mineralogical review of world's salt-bearing basins</b> .....	26
1.1. Conceptual and terminological base.....	26
1.2. Salt-bearing basins of Eurásia.....	37
1.2.1. <i>Geologo-tectonic review</i> .....	37
1.2.2. <i>Mineragenic and economic importance</i> .....	40
1.2.3. <i>Largest salt-bearing basins: a brief geological-mineragenic characteristic</i> .....	41
1.3. Salt-bearing basins of North America.....	99
1.3.1. <i>Geologo-tectonic review</i> .....	99
1.3.2. <i>Mineragenic and economic importance</i> .....	100
1.3.3. <i>Largest salt-bearing basins: a brief geological-mineragenic characteristic</i> .....	100
1.4. Salt-bearing basins of South America.....	114
1.4.1. <i>Geologo-tectonic review</i> .....	114
1.4.2. <i>Mineragenic and economic importance</i> .....	116
1.4.3. <i>Largest salt-bearing basins: a brief geological-mineragenic characteristic</i> .....	116
1.5. Salt-bearing basins of Africa and Arabia.....	122
1.5.1. <i>Geologo-tectonic review</i> .....	122
1.5.2. <i>Mineragenic and economic importance</i> .....	124
1.5.3. <i>Largest salt-bearing basins: a brief geological-mineragenic characteristic</i> .....	124
1.6. Salt-bearing basins of Australia.....	139
1.6.1. <i>Geologo-tectonic review</i> .....	139
1.6.2. <i>Mineragenic and economic importance</i> .....	143
1.6.3. <i>Largest salt-bearing basins: a brief geological-mineragenic characteristic</i> .....	143
1.7. Conclusion.....	145
<b>CHAPTER 2. Historical-geodynamic analysis of the spatial and temporal distribution of world's salt-bearing basins</b> .....	146
2.1. Tasks of historical-geodynamic analysis of salt-bearing basins.....	146
2.2. Fundamentals of the geodynamic analysis.....	147
2.2.1. <i>Terminology</i> .....	147
2.2.2. <i>Geodynamic classification</i> .....	148
2.2.3. <i>Geodynamic types of salt-bearing basins</i> .....	151
2.2.4. <i>Diagnostic indications of salt-bearing basins of different geodynamic types</i> .....	151
2.2.5. <i>Lithogeodynamic models of salt-bearing basins</i> .....	154
2.3. On the preservation of salt bodies and information value of the geologic record.....	154
2.4. Neo-geodynamic salt-bearing basins of the world.....	156

## Contents

2.4.1. Overview of salt-bearing basins .....	156
2.4.2. General picture of the placement of neo-geodynamic salt-bearing basins in the latest kinematic structure of the Earth (analysis results) .....	169
2.5. The main features of the geodynamic history of salt accumulation during the Phanerozoic.....	172
2.6. Patterns of geodynamic distribution of salt accumulation basins.....	183
2.6.1. Salt accumulation periodicity.....	184
2.6.2. Orderliness in spatial placement of salt-bearing objects .....	184
2.6.3. Regional features of the stratigraphic distribution of saline objects .....	185
2.6.4. Synchronicity or regular succession of halogen events.....	185
2.6.5. Geodynamic "specialization" of salt accumulation epochs .....	186
2.6.6. Geochemical "specialization" of salt accumulation epochs .....	187
2.6.7. Inheritance in the placement of salt-bearing objects .....	187
2.7. Conclusion.....	189
<b>CHAPTER 3. Kinematic history of salt bodies in the Earth's crust.....</b>	<b>191</b>
3.1. Morphokinetic groups of salt bodies .....	192
3.2. Salt bodies of the salt-tectonic group.....	193
3.3. Salt bodies of the orthotectonic group.....	201
3.3.1. Salt behavior under conditions of the active tectonics .....	201
3.3.2. Morphotectonic features of saline bodies in the nappe-folded areas .....	203
3.3.3. The prevalence of salts in folded areas of different ages .....	205
3.4. Kinematic evolution of salt bodies during tectonic development .....	212
3.5. Problems associated with the formation of nappe-like salt bodies.....	213
3.6. Conclusion.....	215
<b>PART 2. SALTS IN THE SYSTEM OF INJECTION-SEDIMENTARY FORMATIONS. RECYCLING MODELS OF SALT AND NAPHTHIDE ACCUMULATION.....</b>	<b>217</b>
<b>CHAPTER 4. Ascending Earth injection systems and injection-sedimentary formations.....</b>	<b>218</b>
4.1. The problem of the participation of ascending discharges in sedimentation.....	218
4.2. Ascending discharge to sedimentation area: objects, typification .....	222
4.2.1. Injection discharge systems .....	222
4.2.2. Fluids, foci of their discharge, influence aureoles (the fluid group proper).....	223
4.2.3. Flowing rock masses and their discharge foci (lithokinetic group) .....	229
4.2.4. Injection discharges parakineses.....	230
4.3. Distribution of ascending discharges in sedimentation area (current picture).....	234
4.3.1. Distribution of modern discharges .....	234
4.3.2. The scale of a recent input of injection material in the depositional environments.....	236
4.3.3. Geodynamic environments of recent discharge foci placement and their endogenous parameters .....	241
4.3.4. Upward discharges – a powerful environmental factor .....	245
4.4. Ecologo-sedimentary consequences of modern ascending discharges.....	252
4.4.1. Consequences of fluid discharges.....	252
4.4.2. Consequences of lithokinetic discharges.....	259
4.4.3. General models of injection-sedimentary processes .....	260
4.4.4. Agreed typing of injection discharges and their injection-sedimentary derivatives .....	261
4.5. Sedimentation consequences of past ascending discharges.....	263
4.5.1. Sedimentation derivatives and indications of fluid paleo-discharges .....	263
4.5.2. Sedimentation derivatives and indications of lithokinetic paleo-discharges .....	267
4.5.3. Injection-depositional parageneses.....	268
4.5.4. Regional examples of injection-depositional formations .....	268

4.6. Combinations of injection-depositional sediment types with background ones .....	275
4.7. Conclusion .....	275
<b>CHAPTER 5. Regeneration (recycling) model of salt accumulation .....</b>	<b>280</b>
5.1. Problems of the origin of salts and salt bodies (current state).....	280
5.1.1. <i>Problems of the genesis of salts (basic hypotheses)</i> .....	280
5.1.2. <i>Problems of the formation of salt bodies</i> .....	283
5.1.3. <i>New data affecting the solution of salt accumulation problems</i> .....	283
5.2. The essence of the regeneration model and implementation examples.....	284
5.3. Geological prerequisites for the implementation of the model .....	286
5.3.1. <i>The material prerequisites</i> .....	286
5.3.2. <i>Tectonic and landscape prerequisites</i> .....	288
5.4. Tectonic-kinematic succession and the brine-salt discharges types .....	289
5.5. Sedimentation-accumulative effects of brine-salt discharges.....	291
5.5.1. <i>General sequence of processes in sedimentation basins</i> .....	291
5.5.2. <i>Interaction of brines with basin waters (chemogenic-accumulative processes)</i> .....	295
5.5.3. <i>Consequences of the unloading of salt masses (extrusive-accumulative processes)</i> .....	298
5.5.4. <i>Consequences of unloading in lake-continental and coastal-sebkho-lagoon environments</i> .....	300
5.6. Discussion of the regeneration model.....	302
5.6.1. <i>Evaluation of model's genetic positions and the correspondence of the real salt bearing bodies features with the sedimentation consequences of the model</i> .....	302
5.6.2. <i>Mineragenic aspects of the model</i> .....	304
5.6.3. <i>Signs of participation of regeneration processes in salt accumulation</i> .....	305
5.6.4. <i>On the causes of underestimating the role of regeneration processes in salt accumulation</i> .....	306
5.6.5. <i>The problem of dating salts and salt bodies</i> .....	307
5.6.6. <i>On some contradictions in the models of evaporite accumulation of salt bodies</i> .....	308
5.6.7. <i>On the role of exhalation processes in salt accumulation</i> .....	309
5.7. On the evolution of the scales and mechanisms of salt accumulation in the geological history of the Earth.....	309
5.7.1. <i>Stratigraphic distribution of salts</i> .....	309
5.7.2. <i>On the evolution of the dominant mechanisms of salt accumulation in Earth's geological history</i> .....	310
5.8. Conclusion .....	313
<b>PART 3. EXAMPLES OF NATURAL SALT ACCUMULATION BELTS AND NODES .....</b>	<b>315</b>
<b>CHAPTER 6. Belts of salt-tectonic basins along the margins of young oceans .....</b>	<b>316</b>
6.1. The purpose of the chapter .....	316
6.2. Distribution of salt-tectonic basins along the margins of young oceans .....	317
6.3. Geological features of marginal-oceanic salt-tectonic basins.....	322
6.4. Geodynamic position and history of marginal-oceanic salt-tectonic basins.....	323
6.5. Morphokinetic features of salt tectonics in marginal oceanic basins .....	327
6.6. Specific features of the conditions and mechanisms of salt tectonics in marginal-oceanic basins.....	328
6.7. Geodynamic conditions of the manifestation of salt tectonics in marginal-oceanic basins.....	330
6.8. Influence of salt tectonics on the structure of sedimentary strata of marginal-oceanic basins .....	332
6.9. Oil and gas potential of marginal-oceanic salt-tectonic basins.....	333
6.10. Conclusion .....	334

<b>CHAPTER 7. Mexican salt-oil supergiant – center of natural and geotechnogenic oil catastrophes</b> .....	335
7.1. The main tasks of the chapter .....	335
7.2. Geological, oil, gas and fluid-dynamic features of the Mexican basin.....	336
7.3. Salt and petroleum-bearing subsurface of the Mexican basin .....	340
7.4. Live floor of the Gulf of Mexico .....	344
7.5. Accidents on the oil wells as a geotechnogenic phenomenon.....	350
7.6. Emergency oil spills and naphtho-sedimentogenesis .....	353
7.7. The largest salt-petroleum basins as global centers of hope and hazard .....	355
7.8. On the elimination of oil spills’ ecologic consequences.....	356
7.9. Conclusion .....	358
<b>CHAPTER 8. The Mediterranean salt-bearing supergiant. Riddles and paradoxes of the Messinian salt accumulation</b> .....	359
8.1. Problems of salinity of the Mediterranean .....	359
8.2. Key features of geology and geodynamic history .....	360
8.2.1. <i>Main features of geology</i> .....	360
8.2.2. <i>Paleogeodynamic history</i> .....	363
8.3. Salinity of the bowels of the Mediterranean: the modern distribution of the Messinian and Triassic salts .....	366
8.3.1. <i>Messinian salt strata</i> .....	366
8.3.2. <i>Current distribution of Triassic salts</i> .....	370
8.3.3. <i>Current spatial interrelations between the Triassic and Miocene salts in the Mediterranean</i> .....	377
8.4. Kinematic history of Triassic salts and their distribution in the pre-Messinian time .....	381
8.5. Messinian salinity crisis. Representation of the origin of the Messina salts .....	383
8.6. Messina events as the implementation of the regeneration model .....	386
8.6.1. <i>Geological events of the Messinian time</i> .....	386
8.6.2. <i>Unloading processes of brine-salt masses</i> .....	390
8.6.3. <i>Salt accumulation processes</i> .....	390
8.6.4. <i>Results of the analysis of the premises and events that contributed to the implementation of the regeneration model</i> .....	391
8.7. Discussion of the events and “paradoxes” of the Messinian salt accumulation from the standpoint of regeneration and evaporite models (comparative analysis).....	391
8.7.1. <i>Differences in the assessment of the events of the Messinian time</i> .....	391
8.7.2. <i>“Paradoxes” and the contradictions of the Messinian salt accumulation</i> .....	392
8.7.3. <i>Results of the comparative analysis</i> .....	395
8.7.4. <i>On the signs of the participation of regeneration processes in the formation of the Messinian salt bodies of the Mediterranean</i> .....	396
8.7.5. <i>On the reasons for ignoring the possible role of injection processes in the Messinian salt accumulation</i> .....	396
8.8. Conclusion .....	397
<b>CHAPTER 9. The Dead Sea: a small naphtho-salt node and discharge focus</b> .....	399
9.1. Problems of salinity and oil-gas potential of the Dead Sea .....	399
9.2. Key features of the geology and fluid-dynamics of the Dead Sea graben.....	400
9.2.1. <i>Structural-tectonic situation</i> .....	400
9.2.2. <i>Salt bowels of the Dead Sea graben</i> .....	404
9.2.3. <i>Fluidodynamic tension of the bowels of the Dead Sea and the ways of its discharge</i> .....	405
9.3. “Salt miracle” of the globe .....	406
9.3.1. <i>Dead Sea and its “unusual” features</i> .....	406
9.3.2. <i>The Dead Sea features as reflected in its names</i> .....	413
9.4. Origin and history of the development of salts, diapirs and brines of the Dead Sea.....	416



## Contents

9.4.1. Origin of the Dead Sea graben salts: current views .....	416
9.4.2. Allochthonous model of the formation of salts filling-up the graben of the Dead Sea.....	419
9.4.3. Genesis of the Dead Sea brines: why is the sea salty?.....	424
9.4.4. History of the formation of salts, diapirs and brines of the Dead Sea .....	428
9.5. About natural analogues of the Dead Sea.....	432
9.6. Fluctuations in the level of the Dead Sea brines as a reflection of the “life” of saline basins .....	439
9.6.1. On fluctuations in the level of the Dead Sea brines .....	439
9.6.2. Factors affecting fluctuations in the levels of brine lakes .....	443
9.6.3. Ripples in the level of Dead Sea brines as a natural manifestation of the “life” of the hydrocarbon-brine-salt system of the subsoil .....	444
9.7. Myths as a reflection of natural events in the life of the Dead Sea .....	446
9.7.1. Sodom events: evidence of the Bible, historians, geographers, archaeologists.....	446
9.7.2. Sodom events: geological interpretations .....	449
9.7.3. Salt or galovolcanism: the geological scenario of Sodom events .....	450
9.7.4. Natural and technogenic analogues of Sodom events.....	454
9.8. Conclusion .....	458
<b>PART 4. OIL AND GAS OCCURRENCE ISSUES IN THE SALT BEARING BASINS .....</b>	<b>461</b>
<b>CHAPTER 10. Salts and naphthides: spatial, kinetic, geochemical interrelations as forecast factors.....</b>	<b>464</b>
10.1. On the role of salts in the placement of hydrocarbon accumulations .....	464
10.1.1. General character of spatial ratios of salts and hydrocarbons .....	464
10.1.2. Oil and gas bearing saline basins of different geodynamic types .....	466
10.1.3. Role of salt bodies of different morphokinetic types .....	470
10.2. Salt-naphthide nodes.....	471
10.3. Geological features of salt-naphthide nodes as factors of petroleum occurrence forecast.....	475
10.3.1. Structural-tectonic position.....	475
10.3.2. Parameters of salt strata and their specific features.....	475
10.3.3. Salt tectonics .....	475
10.3.4. Paragenesis of saline strata .....	475
10.3.5. Vertical disharmony.....	476
10.3.6. Gradient zones and scarps in post-salt sediments .....	476
10.3.7. Hydrocarbon composition.....	476
10.3.8. Underground water .....	477
10.4. Salt-naphthide nodes as centers of salt, brines and hydrocarbons ascending migration and discharge.....	477
10.5. On salt and naphthide sheath-and-crust recycling.....	479
10.6. Conclusion .....	480
<b>CHAPTER 11. Placement patterns and criteria of the hydrogen sulfide-containing natural gas field forecast evaluation.....</b>	<b>483</b>
11.1. Problems of the distribution of hydrogen sulfide in natural gases .....	483
11.2. Distribution.....	484
11.3. Origin.....	487
11.4. Factors controlling the placement of hydrogen sulfide-containing gases.....	488
11.4.1. Formational lithological features .....	488
11.4.2. Stratigraphic position.....	490
11.4.3. Structural-tectonic conditions .....	490

## Contents

11.4.4. Oil and gas conditions and gas reserves .....	491
11.4.5. Trap types .....	491
11.4.6. Thermobaric conditions .....	492
11.4.7. Gas-hydrogeochemical indicators .....	493
11.4.8. Microbiological indicators .....	493
11.4.9. Phase type of the accumulations .....	493
11.4.10. Features of the chemical composition of deposits .....	493
11.4.11. Sulfur isotopic composition .....	494
11.4.12. Complexity and zoning of mineral-geochemical manifestations of sulfur .....	495
11.4.13. Indicators of destruction, migration and discharge .....	497
11.5. Conclusion .....	497
<b>PART 5. “HOT DESTINY” OF BURIED SALTS. PARTICIPATION OF SALTS IN ENDOGENOUS PROCESSES (ON THE EXAMPLE OF ALKALINE MAGMATISM) .....</b>	<b>499</b>
<b>CHAPTER 12. Natural salt-alkaline associations .....</b>	<b>503</b>
12.1. Natural salts of the Earth’s crust as potential participants in magmatism .....	503
12.2. Prerequisites for the participation of salts in alkaline magmatism .....	504
12.2.1. Similarity of specific compositional components of saline and alkaline rocks .....	505
12.2.2. Spatial coexistence of salt and alkaline magmatic objects .....	508
12.2.3. Similarities in the patterns of distribution of salt and alkaline objects .....	510
12.3. Salt-alkaline associations .....	511
12.4. Tectonic types of salt-alkaline associations .....	514
12.5. Conclusion .....	515
<b>CHAPTER 13. Reference salt-alkaline objects and their analogues .....</b>	<b>516</b>
13.1. Reference salt-alkaline provinces .....	516
13.1.1. Italian (Roman) salt-alkaline province – folded cover type .....	517
13.1.2. Upper Rhine salt-alkaline province – riftogenic type .....	522
13.1.3. Northwestern African salt-alkaline province – type of activated passive margin .....	524
13.1.4. Results of the analysis of reference objects .....	527
13.2. On the prevalence of salt-alkaline associations of different ages. Examples of reference objects analogues .....	527
13.2.1. Salt-alkaline associations of the neogeodynamic group .....	528
13.2.2. Salt-alkaline associations of the paleogeodynamic group .....	534
13.3. Conclusion .....	539
<b>CHAPTER 14. Geologo-genetic aspects of salt-alkaline interactions model .....</b>	<b>540</b>
14.1. Geological model of salt-alkaline objects structure .....	540
14.2. Signs of the salt-magmatic interactions model realization .....	544
14.2.1. Material features .....	544
14.2.2. Structural and texture features .....	546
14.2.3. Spatial and morphological indicators .....	547
14.2.4. Features of the manifestation and correlation of various signs .....	547
14.3. Genetic aspects of the model of salt-magmatic interactions (the halocontamination of mantle magmas) .....	547
14.3.1. On the role of salt components in alkaline magmatism .....	547
14.3.2. Ore role of salt components .....	553
14.3.3. Participation in magmatism of salt paragenic rocks .....	553

## Contents

---

14.3.4. <i>On the role of composition and morphology features of saline bodies           in magma injection sites</i> .....	554
14.4. Salt-carbonate sedimentary and alkaline-carbonatite magmatogenous parageneses: some comparisons.....	555
14.5. On experimental data in solving the problems of salt-magmatic interactions.....	556
14.6. Comparative analysis of geological and genetic models of alkaline magma formation .....	559
14.7. Conclusion .....	562
<b>Conclusion</b> .....	566
<b>References</b> .....	573
<b>Subject index</b> .....	591
<b>About the author</b> .....	604