УДК 553.98+553.63(261.54)

Г. А. БЕЛЕНИЦКАЯ (ВСЕГЕИ)

СОЛИ И НАФТИДЫ: ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ

Выделены соляно-нафтидные узлы – осадочно-породные бассейны, крупнейшие по масштабам соленосности и нафтидности. Дана сравнительная оценка их масштабов; отмечены их общие структурно-тектонические, литолого-формационные, гидро- и газогеохимические, флюидодинамические и нефтегазовые особенности. Напряженное флюидодинамическое состояние недр, характерное для многих соляно-нафтидных узлов, способствует широкому и масштабному проявлению в них процессов восходящей миграции солей и углеводородов с формированием многоэтажных нефтегазовых залежей, а в области осадконакопления – очагов разгрузки и процессов переседиментации соляного и углеродистого материала. В качестве эталонного объекта выделен Мексиканский соляно-нафтидный супергигант. Большинство других соляно-нафтидных узлов сопоставимо с Мексиканским по ключевым показателям и также относится к числу суперпродуктивных и высокоперспективных, но одновременно и высокоаварийных.

Ключевые слова: *соли, соленосные бассейны, нафтидные бассейны, углеводороды, рассолы, очаги разгрузки, восходящие нефтяные источники, грязевой вулканизм, соляной диапиризм.*

“Saline-naphtide giants clusters” have been identified: sedimentary basins with the largest salt and naphtide contents. Their common structural-tectonic, petrologic, and fluid dynamic features were highlighted. Assessment of its most important features (paleo and recent tectonic, lithologic, and sedimentary, oil-and-gas and fluid dynamic) is given. Particular attention is given to widespread and extensive development of diverse ascending formations (brine and hydrocarbon flows, saline and clay diapirs, multi-level hydrocarbon occurrences, etc.) inside the basins and on the surface, to their large-scale discharge centres. The Mexican saline-naphtide supergiant was described as a reference target. Most of other major salt-naphtide clusters are comparable with the Gulf of Mexico basin in many respects, and also among the most highly promising, rapidly developing and high dangerous.

Keywords: *salt, salt-bearing basins, naphtide basins, hydrocarbon fluids, brine, discharge foci, accidental oil spills, mud volcanoes, salt diapirism.*

Введение. Взаимоотношения солей и углеводородов – одна из важных теоретических и прикладных проблем геологии осадочных бассейнов и прежде всего нефтяной геологии, ключевых как для фундаментальных вопросов нафтидогенеза, так и для решения конкретных задач поиска, бурения и эксплуатации нефтегазоносных залежей. Их частое сонахождение и пространственные взаимосвязи общеизвестны. Они фиксируются в самых разных масштабах – от сопряженности границ гигантских нефтегазовых и соленосных бассейнов до залегания отдельных скоплений углеводородов под соляными покрышками, их «утыкания» в соляные диапиры и т. д.

Характер взаимосвязей рассматривался многими авторами, в том числе в крупных обобщениях [1, 4, 7, 8, 10, 13, 14, 17–19, 21 и мн. др.], особенно часто нефтяниками, для которых факт наличия солей – один из основных ориентиров при проведении любых видов работ на любых стадиях. Вопрос и сейчас сохраняет актуальность и даже становится все более злободневным. Это во многом объясняется лавинообразным ростом в последние десятилетия новой информации и о соленосных, и о нефтегазовых бассейнах мира, связанным с активным развитием морских геолого-геофизических исследований, стремительным техническим прогрессом в морском бурении, в том числе все более глубоком и глубоководном.

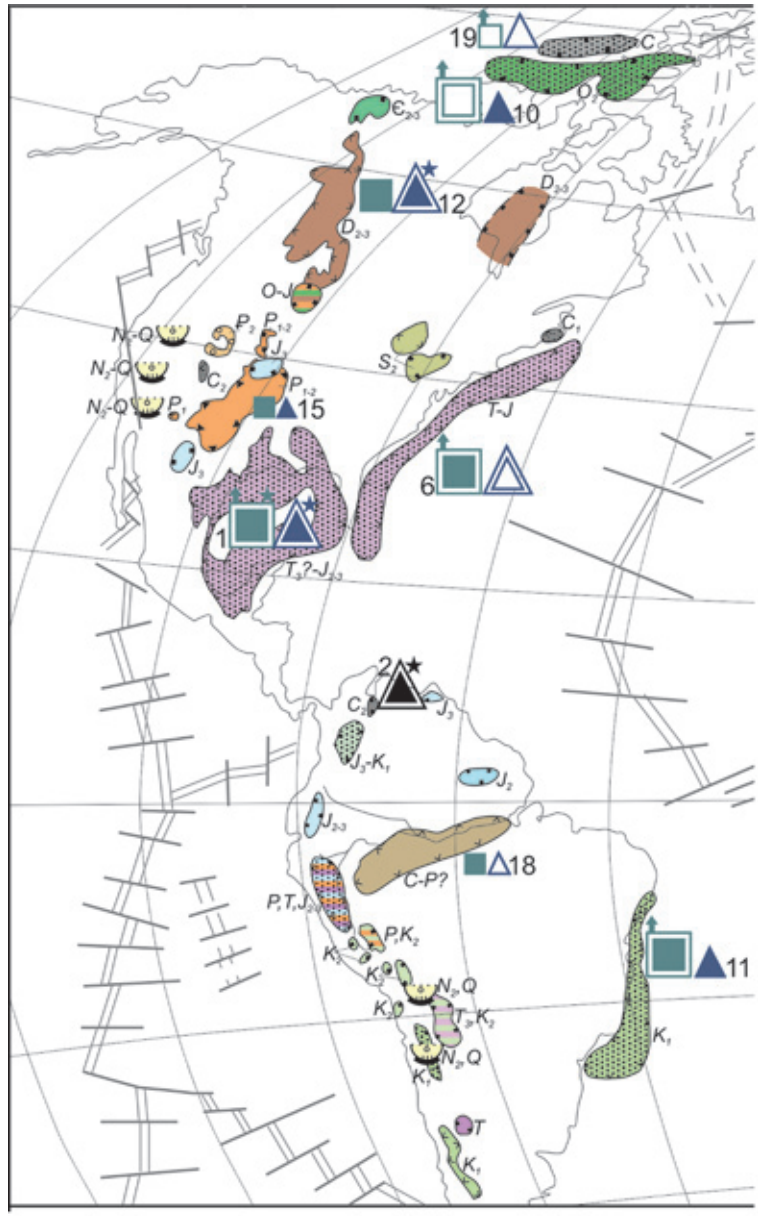
В геологии солей начиная с 60–70-х годов XX в. были целиком или в значительной мере открыты и прослежены гигантские солянокупольные бассейны и целые глобальные пояса (рис. 1). Соли вскрыты на всех ныне доступных бурению глубинах в акваториях и земных недрах, инструментально и визуально прослежены картины роста соляных тел, миграции углеводородов, их кинетические взаимосвязи.

Впечатляющие открытия сделаны (и продолжаются) и в познании нефтегазоносности недр. Многие наиболее значимые из них касаются нефтегазового потенциала именно соленосных бассейнов, особенно их подсолевых отложений. Здесь в рифогенных коллекторах открыты гигантские скопления углеводородных газов с уникальными содержаниями и запасами сероводорода. Среди них бесспорный мировой лидер – Прикаспийский бассейн.

Вместе с тем наметилось некоторое отставание работ по обобщению и осмыслению массы нового материала, раскрывающего соотношения между разномасштабными нефтегазовыми и соляными объектами. Наименее охарактеризована макрокартина, отражающая глобальные геологические взаимосвязи между наиболее масштабными нефтегазоносными и солянокупольными бассейнами мира. А именно такие объекты вмещают подавляющую часть общей массы и солей, и углеводородов.

© Г. А. Беленицкая, 2014

Используя многолетний опыт исследования закономерностей распространения и формирования природных солей и их углеводородной и рудной продуктивности [2, 3, 5 и др.], автор делает попытку применить накопленные данные для уточнения пространственных взаимосвязей наиболее крупных соленосных бассейнов мира с нефтегазоносными. Особый акцент сделан на кинетические аспекты взаимосвязей. Генетические вопросы в данном сообщении не обсуждаются; частично они рассмотрены в [2, 3 и др.].



Соленосные и солянокупольные бассейны мира. Осадочные бассейны, вмещающие мощные толщи солей, широко распространены на всех континентах и океанических окраинах (рис. 1). Отсутствуют они лишь в пределах внутренних частей собственно океанических пространств. Около половины соленосных бассейнов мира (а среди крупнейших большинство) интенсивно осложнены соляной (солянокупольной) тектоникой и именуются солянокупольными.

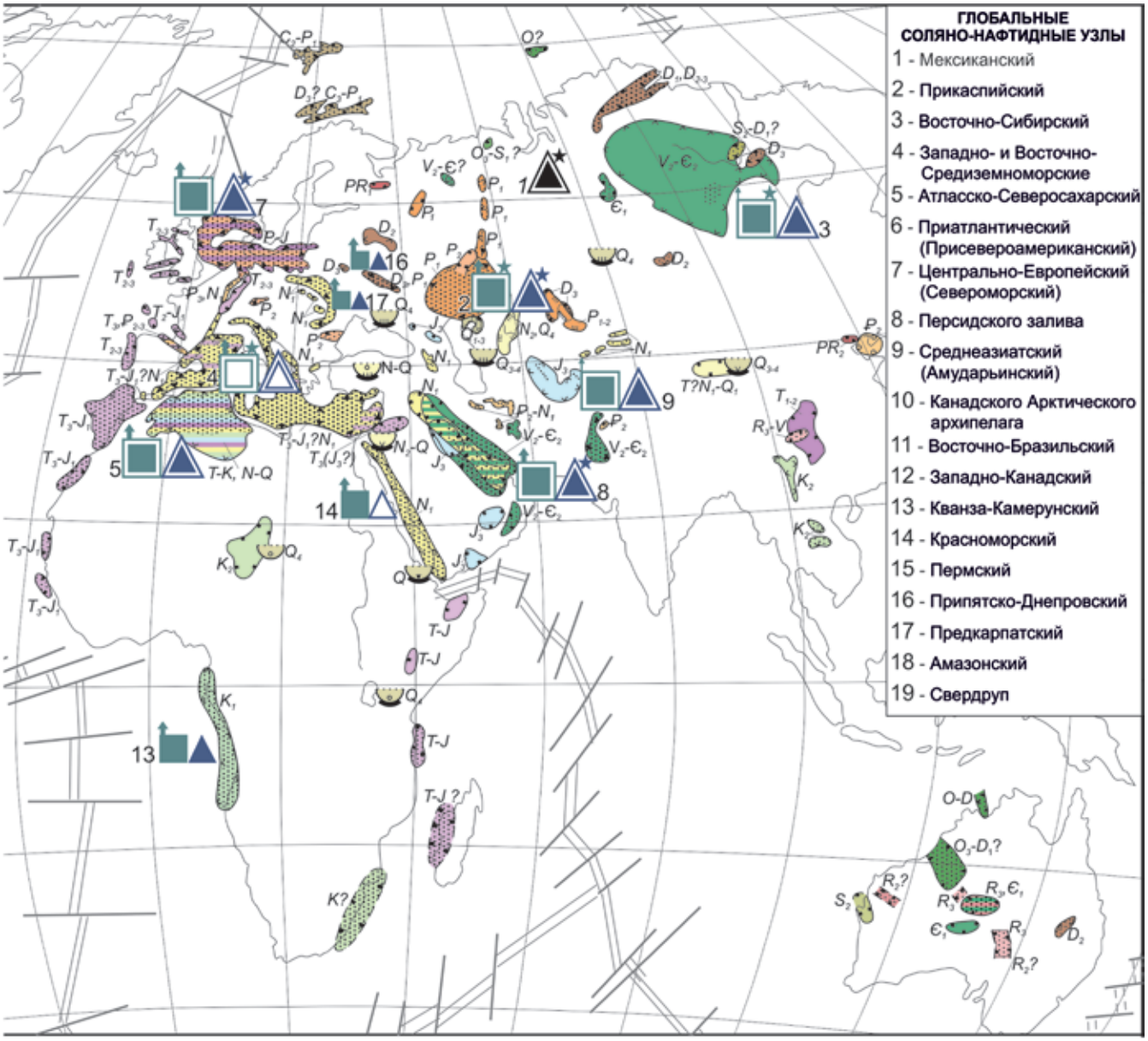
Прослежены гигантские соленосные (солянокупольные) бассейны и целые глобальные пояса протяженностью многие тысячи километров, вмещающие миллионы кубометров соли. Среди них грандиозное циркуматлантическое кольцо мезозойских солей, опоясывающее Атлантический океан вдоль побережий Северной и Южной Америки, Африки и Европы, более фрагментарные Циркуминдийский и Циркумледовитый пояса, уникальный по размерам сложный Средиземноморский солянокупольный супербассейн, гигантский Красноморский. Заметим, почти все они открыты и изучены за несколько последних десятилетий, при этом открытия новых продолжаются.

В мире известно свыше ста соленосных бассейнов, около половины из них крупные, содержащие очень мощные (от сотен метров до 1,5–2 км) толщи солей. Для сравнительной оценки масштабов этих бассейнов мы ввели ряд ориентировочных градаций, основанных на размерных показателях соляных толщ – их мощности, площади, объеме (табл. 1). При отнесении бассейнов к тем или иным градациям (табл. 2) использованы имеющиеся в литературе оценки [2, 3, 5, 12, 13 и др.], дополненные расчетными значениями, исходя из конкретных пространственных параметров соляных толщ.

По масштабам соленосности резко выделяется около 20 бассейнов, каждый содержит свыше 100 тыс. км^3 солей, 14 из них свыше 500 тыс. км^3. Четыре супергиганта – Прикаспийский, Мексиканского залива, Восточно-Сибирский и Средиземноморский – вмещают до 1,5–2,5 млн км^3 солей. Лишь несколько уступают им по масштабу (1,0–1,5 млн км^3 соли) гиганты Центрально-Европейский, Персидского залива, Атласско-Северосахарский и Приатлантический (Присевероамериканский). Показательно, что объем их соляных масс сопоставим или даже превышает другие хорошо известные геологические гиганты – трапповые комплексы, объем которых 1,0–2,0 млн км^3 (по разным оценкам) считается своеобразным эталоном крупномасштабных природных тел. Суммарные объемы солей в наиболее крупных соленосных бассейнах мира грандиозны – порядка 25 млн км^3 (что сопоставимо с общим содержанием солей в Мировом океане).

В количественном распределении солей во времени отчетливо выделяется ряд крупных максимумов [2, 3, 12 и др.]: V_2–$Є_2$, D_{2-3}, P_{1-2}, T_3–J_1, J_3, K_{1-2}, N_1. Именно с ними связаны все крупнейшие соленосные бассейны мира. Наиболее значительны три максимума: V_2–$Є_2$, P_{1-2} и N_1.

Многие соляные супергиганты и гиганты демонстрируют особенно значительные масштабы проявления солянокупольной тектоники, насчитывая от нескольких сотен до 1000 и более солянокупольных структур. В несколько менее крупных бассейнах количество таких структур измеряется сотнями, в небольших – десятками, а иногда и единицами. Однако в некоторых наиболее крупных соленосных бассейнах мира (Восточно-Сибирский, Амударьинский, Западно-Канадский и Пермский) галокинез проявлен весьма ограниченно. И это еще один чрезвычайно важный факт, ждущий специального изучения.



СОЛЕНОСНЫЕ БАССЕЙНЫ

Возрастные группы соленосных бассейнов	Вещественно-геохимические типы солей*				
	хлоридно-натриевый	хлоридно-калиевый	сульфатно-калиевый	сульфатно-натриевый	карбонатно-натриевый (содовый)
Палеобассейны					
Современные бассейны (рапа, осадки и погребенные залежи)	—				

* Для палеобассейнов - границы распространения, пунктир - предполагаемые; для современных бассейнов - внемасштабные знаки. Индекс - возраст основной соленосной формации; закраска отвечает общепринятой стратиграфической, полосатая - при наличии в разрезе мощных солей двух-трех возрастов.

Площади проявления соляно-купольной тектоники

ГЛОБАЛЬНЫЕ СОЛЯНО-НАФТИДНЫЕ УЗЛЫ

Тип бассейна	Ориентировочный масштаб бассейна			
	супергигантский	гигантский	крупнейший	крупный
Соленосный				
Нафтидный				

Полые значки - масштаб бассейна прогнозируемый

Стрелки над значками соленосных бассейнов - проявления соляно-купольной тектоники: утолщенные - интенсивные, тонкие - ограниченные, стрелки отсутствуют - не выражены

2 — Глобальный соляно-нафтидный узел, типы значков отвечают параметрам соленосного и нафтидного бассейнов; цифра - номер в списке и на карте

1 — Нафтидные супергиганты с неустановленной соленосностью: *1* - Западно-Сибирский, *2* - Оринокский

Рис. 1. Соленосные бассейны мира [5] и глобальные соляно-нафтидные узлы. Сост. Г. А. Беленицкая. Обобщение по опубликованным и авторским материалам

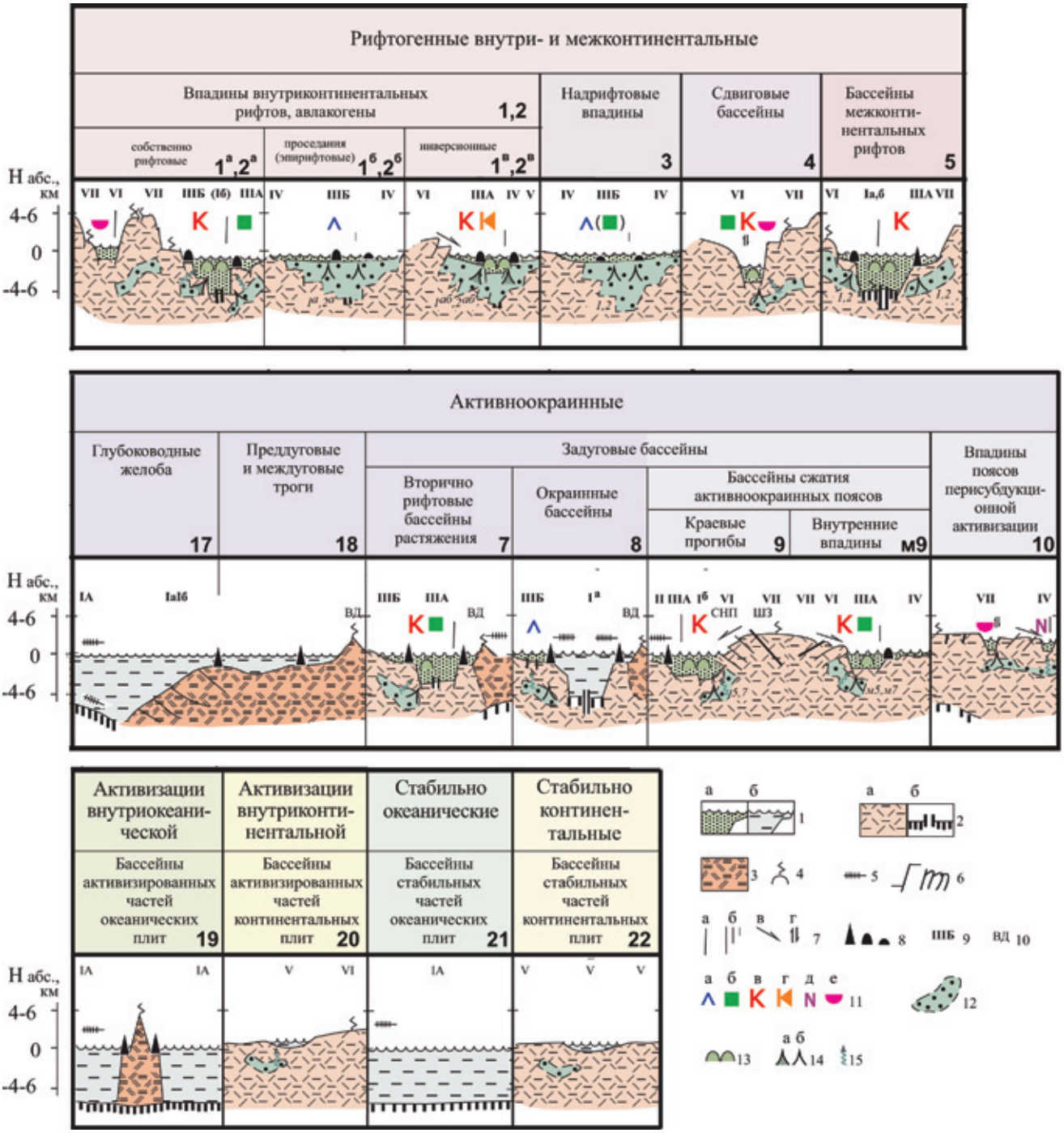
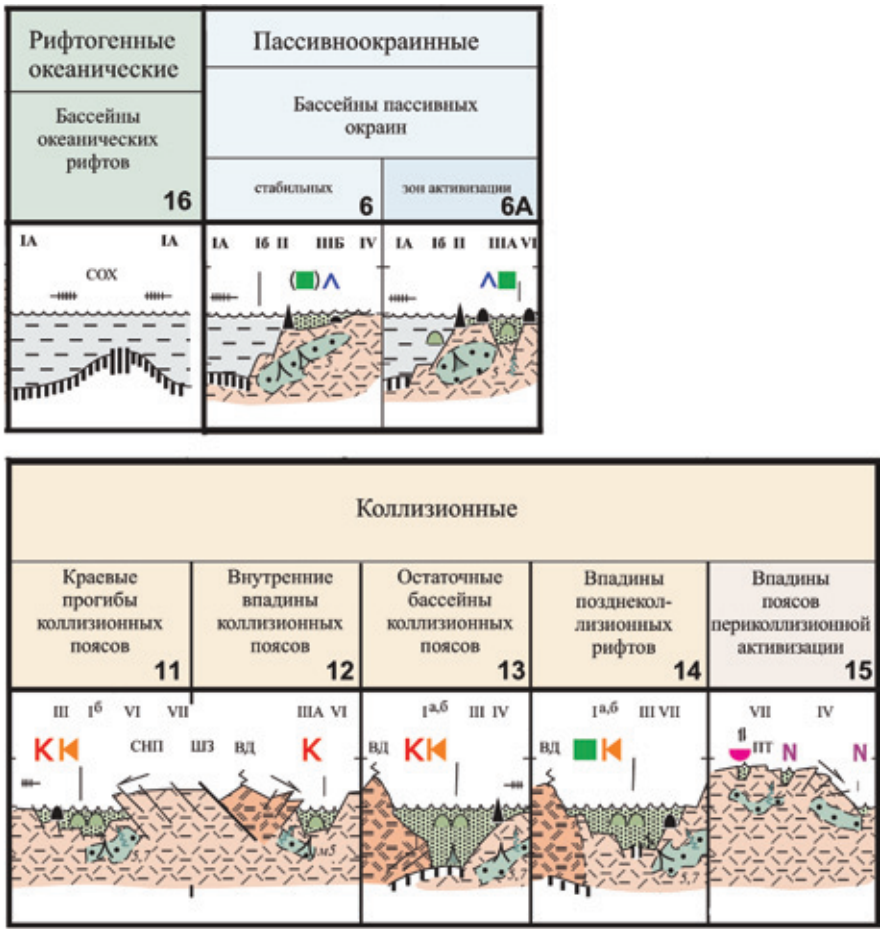


Рис. 2. Геодинамическая классификация и ландшафтно-морфоструктурные модели соленосных бассейнов [5]

1 – бассейны субаквальной седиментации: *а* – соленакопление характерно, *б* – соленакопление не характерно; *2* – тип земной коры (включая осадочный чехол): *а* – континентальная и субконтинентальная, *б* – океаническая, субокеаническая и оси спрединга; *3* – комплексы вулканических дуг и внутриокеанических поднятий; *4* – активный вулканизм; *5* – направление движения литосферных плит; *6* – синседиментационные тектонические смещения масс в субстрате и обрамлениях бассейнов; *7* – то же, характерные типы: *а* – раздвиги с прогибанием, *б* – прогибания разной интенсивности, *в* – надвиги, *г* – сдвиги, сдвиго-раздвиги; *8* – биогермные комплексы разного масштаба; *9* – фациально-ландшафтные обстановки: IA – абиссальные и хедальные (ложе океана, впадины глубоководных желобов), $I^{а}$, $I^{б}$ – батиально-абиссальные и батиальные (дно котловинных морей, континентальный склон), II – внешнего шельфа, барьерно-рифовые, III – внутреннего шельфа (IIIA – депрессионные, IIIБ – мелководные), IV – прибрежные лагунно-заливные (сэбхово-лагунные), V – низменно-равнинно-озерные, VI – предгорно- или возвышенно-равнинно-озерные, VII – горно-озерные; *10* – области межбассейновых тектонических поднятий: ВД – вулканические дуги, ШЗ – шовные зоны, СНП – складчато-надвиговые пояса, ПТ – сводово-глыбовые «пояса торошения»; *11* – геохимические типы галогенеза (в скобках – ограниченное развитие): *а* – сульфатно-кальциевый, *б* – галититовый, *в* – хлоридно-калиевый, *г* – сульфатно-калиевый, *д* – пестрого состава, часто сульфатно-натриевый, *е* – то же, содовый; *12* – погребенные соленосные комплексы в субстрате; *13* – солянокупольные осложнения формирующихся соленосных бассейнов; *14* – солянокупольные осложнения погребенных соленосных бассейнов: *а* – установленные, *б* – предполагаемые; *15* – восходящая разгрузка из погребенных соленосных бассейнов



В солянокупольных структурах заключено не менее половины всей массы солей мира. Во многих крупнейших бассейнах сосредоточено свыше 70–80% общего объема их солей.

В современной стратисфере соляные массы образуют два контрастных морфокинетических типа: динамичный – солянокупольный и относительно статичный – стратифицированно-пластовый. Относительную долю первого в общем балансе соляных масс в еще большей мере повышает доказанная в последние годы аллохтонно-покровная природа некоторых субпластовых соляных тел.

Палеотектоническую позицию соленосных бассейнов в наибольшей мере характеризует положение присутствующих в их разрезах мощных доминантных соляных толщ. Возникновение таких толщ характерно для палеообстановок следующих геодинамических типов (рис. 2): I. Рифтогенные внутриконтинентальные (Припятско-Днепровский, D_3, P_1; Амазонский, C–P?; Вилюйский, D_3; Амадиес, R_3, Є). II. Рифтогенные межконтинентальные (Красноморский, N_1; Циркуматлантические – Приатлантический (Присевероамериканский), T_3–J_1; Мексиканского залива, T_3?–J_{2-3}; Кванза-Камерунский, Восточно-Бразильский, K_1a). III. Активноокраинные задуговых бассейнов сжатия (Амударьинский, J_3; Восточно-Сибирский, V_2–$Є_2$). IV. Коллизионные: краевых прогибов (Предкар-

Таблица 1

Ориентировочные категории соленосных бассейнов (по пространственным параметрам) и нафтидных бассейнов (по геологическим запасам)

Категории бассейнов	Индекс	Соленосные бассейны			Нафтидные бассейны
		Мощность, км	Площадь, тыс. км^2	Объем, тыс. км^3	Запасы, млрд т
Уникальные (супергиганты)	У	2–2,5	> 1500	> 1500	> 100
Гигантские	Г	~1,5	1000–1500	1000–1500	10–100
Крупнейшие	Кш	1,0–1,5	500–1000	500–1000	5–10
Крупные	К	0,6–1,0	200–500	100–500	1–5
Средние	С	0,4–0,6	100–200	10–100	<1
Мелкие	М	< 0,4	< 100	< 10	

Примечание: Категории соленосных бассейнов выделены на основании обобщения данных [2–5, 12, 13] и дополнительных авторских оценок; категории нафтидных бассейнов – по [16] с дополнениями по [9, 15, 18, 20 и др.].

Таблица 2

Глобальные соляно-нафтидные узлы (сост. Г. А. Беленицкая) [1]

Соляно-нафтидные узлы	Масштаб бассейна [2, 3]		Возраст основной соленосной формации	Интервал нефтегазоносности	Калиеносность соленосного бассейна [4]	Сера [2]		Положение над акваторией [5]
	соленосного	сопряженного нафтидного				газовая	самородная	
Мексиканский	У↑↑	У	T_3?–J_{2-3}	C_2, T–Q	3	С	К+С	++
Прикаспийский	У↑↑	У	P_1k	D_2–Ꝑ	4	У	М	+
Восточно-Сибирский	У↑	Г	V_2–Є$_2$	V–Є	3	М	–	–
Западно- и Восточно-Средиземноморские	***У***↑↑	***Г***	T_3–J_1, N_1	T_{2-3}–N	2	–	С	+++
Атласско-Северосахарский	Г(***У***)↑↑	Г	T_3–J_1, N_1	Є–T	3	М	–	–
Приатлантический (Присевероамериканский)	Г(***У***)↑↑	***Г***	T_3–J_1	J–N_2	3	–	–	+++
Центрально-Европейский (Североморский)	Г↑↑	У	P_2z	Є–P_2	4	С	–	++
Персидского залива	Г↑↑	У	V_2–Є$_2$, N_1	V–N_1	2	С	У	+
Амударьинский	Г↑	Г	J_3	J_{2-3}–Ꝑ$_2$	3	К	С	–
Канадского Арктического архипелага	***Г***↑↑	Кш	O_2	T–N_2	1	–	–	++
Восточно-Бразильский	Г↑↑	Кш	K_1a	J–Ꝑ	2	–	–	+++
Западно-Канадский	Кш↑↑	У	D_{2-3}	Є–J	4	К	–	–
Кванза-Камерунский	Кш↑↑	Кш	K_1a	K_{1-2}–N_1	3	М	–	++
Красноморский	Кш↑↑	***Кш***	N_1	K_2–N_1	2	–	–	+++
Пермский (Западно-Техасский)	К(***Кш***)	К	P_{1-2}	pЄ–P_2, K_1	4	К	К	–
Припятско-Днепровский	К↑↑	К	D_3, P_1	D_1–P_1	4	–	М	–
Предкарпатский	К↑↑	К	N_1	S–N_2	4	М	У	–
Амазонский	К	*К*	C–P?	D–C	3	–	–	–
Свердруп	***К***↑↑	***Кш***	C_{1-3}	T–K_1	1	–	–	++

Примечания. 1. Оценки даны на основании обобщения литературных и авторских материалов. 2. Масштабы объектов (***курсив*** – прогнозируемые): У – уникальные (супергигантские), Г – гигантские, Кш – крупнейшие, К – крупные, С – средние, М – мелкие. 3. Солянокупольные осложнения: ↑↑ – интенсивные, ↑ – ограниченные. 4. Калиеносность соленосного бассейна: 4 – очень значительная, 3 – значительная промышленная, 2 – установлена, 1 – вероятная. 5. Положение соляно-нафтидного узла над акваторией: «+++» – целиком, «++» – значительная часть, «+» – частично, «–» – целиком на суше.

патский, N_1^{1-2}; Персидского залива, N_1^{1-2}; Предуральские – Бельский, Соликамский и Верхнепечорский, P_1), внутренних впадин (Закарпатские и Трансильванский, N_1), остаточных бассейнов (Прикаспийский, P_1k; Восточно-Средиземноморский, N_1^3), впадин позднеколлизионных рифтов (Западно-Средиземноморские, N_1^3).

Палеогеодинамический тип обстановки образования солей несет важную информацию о специфике их состава, глубинном строении бассейнов, характере вмещающих соли латеральных и вертикальных формационных рядов и т. д. [2].

Нефтегазоносность соленосных бассейнов. Почти все соленосные осадочные бассейны нефтегазоносны. Нередко границы самих нефтегазоносных территорий проводятся по границам распространения доминантных соляных толщ: Центрально-Европейского – цехштейновых, Прикаспийского – кунгурских, Атласско-Северосахарского – триасовых и т. д. Стратиграфический возраст солей порой используется и в наименованиях нефтегазоносных бассейнов (соответственно бассейны Цехштейновый, Кунгурский, Триасовый и др.).

При оценке углеводородной продуктивности нефтегазоносных объектов будем ориентироваться на общую «разнофазовую» продуктивность и использовать обобщающий термин ***«нафтиды»***, включающий углеводороды «в газовом, жидком, полутвердом и твердом состояниях или в виде смеси этих фаз» [18, с. 15]. Широко и конструктивно этот термин использовал К. Н. Кравченко [16]. Им введено понятие «***нафтидный бассейн***», объединяющий территории со скоплениями углеводородов разного фазового состояния. Для оценки масштабов таких бассейнов он предложил их деление по общим (для бассейнов в целом) геологическим запасам нафтидов. Введенные им размерные категории мы приняли в несколько измененном варианте за основу при анализе ориентировочных масштабов нафтидных бассейнов, сопряженных с соленосными (табл. 2, рис. 1). При отнесении

конкретных нафтидных бассейнов к тем или иным категориям дополнительно использованы данные работ [1, 9, 10, 15, 18, 20 и др.], а также отечественных и зарубежных справочных и региональных публикаций.

Роль солей по отношению к нефтегазоносности недр весьма разноплановая. Соли влияют как на структурно-морфологические характеристики залежей углеводородов, так и на их количественные и качественные показатели: размещение, конфигурацию и масштабы скоплений, состав углеводородов и т. д. В качестве фактора, контролирующего размещение залежей углеводородов, значимость солей хорошо известна и неоднократно описана; она чрезвычайно высока (хотя и различна) и при пластовом (или субпластовом), и при купольном их залегании. Пластовые (и субпластовые) тела благодаря минимальной проницаемости соляных масс признаны лучшими покрышками нефтегазовых залежей. Как выяснилось, эти функции успешно выполняют и аллохтонные (в том числе движущиеся) покровы солей, и более мелкие, нависающие «козырьки» диапиров [11 и др.]. Субвертикальные же тела, особенно диапиры, формирующие в процессе своего роста широкий комплекс осложнений вмещающих и покрывающих их пород, создают для залежей разнообразные структурно-тектонические ловушки (рис. 3).

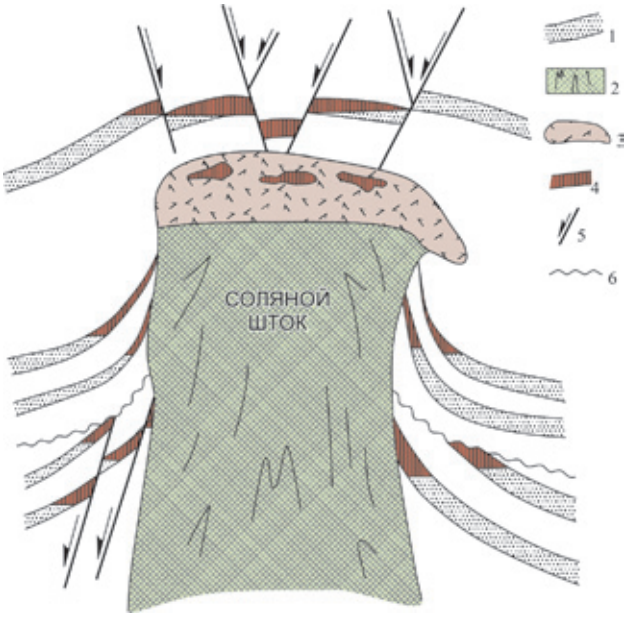


Рис. 3. Основные типы залежей углеводородов, характерные для ловушек, связанных с диапировыми структурами. Моделировано по [18]

1 – коллекторские (нефтегазоносные) горизонты; *2* – соляной шток; *3* – кепрок; *4* – залежи углеводородов; *5* – тектонические нарушения, стрелки – направления смещений; *6* – поверхности несогласия

Соляно-нафтидные узлы. Нафтидный потенциал многих соленосных бассейнов, прежде всего наиболее крупных, чрезвычайно высок. Именно им отвечает большинство глобальных нафтидных максимумов, в том числе нафтидные супергиганты и гиганты Мексиканского залива, Прикаспийский, Персидского залива, Североморский, Атласско-Северосахарский, Амударьинский, Западно-Канадский и ряд других (табл. 2).

Это особенно характерно для солянокупольных бассейнов, в разрезах которых сосредоточены крупнейшие скопления углеводородов, порой образующие многоуровенные колонны – от неглубоких (первые сотни метров) до вскрытых на самых больших глубинах.

Однако проблема взаимосвязи не столь однозначна – не во всех нафтидных бассейнах соли известны. В некоторых, в том числе в супергигантах Западно-Сибирском и Оринокском, они отсутствуют. Правда, «бессолевой статус», по крайней мере части бассейнов, вероятно, «временный», соли в их глубоких недрах просто еще не обнаружены.

Тем не менее, отчетливое соответствие подавляющему большинству соляных (и солянокупольных) гигантов высокомасштабных нафтидных бассейнов позволяет говорить о глобальных ***«соляно-нафтидных узлах»***.

На карте (рис. 1), отражающей картину размещения всех значительных соляных и солянокупольных бассейнов мира, показано 19 наиболее крупных соляно-нафтидных узлов – соляных и нафтидных гигантов. Соляно-нафтидные узлы выделены парными значками, левая часть которых отражает относительные масштабы соленосности и интенсивность проявления солянокупольной тектоники, а правая – масштабы нафтидности (в принятых градациях). Типовые профили приведены на рис. 4–8. Еще примерно столько же бассейнов можно объединить в группу крупных соляно-нафтидных узлов.

Соляно-нафтидные узлы имеют целый ряд однотипных особенностей размещения, строения и состава. Многие из них определяются параметрами соленосных бассейнов, и прежде всего доминантных соляных толщ, которые охарактеризованы нами в работах [2, 3 и др.]. Приведем наиболее общие их черты.

Структурно-тектоническая позиция соляно-нафтидных узлов: связь с гигантскими и глубочайшими депрессионными геоструктурами длительного и интенсивного развития; большая глубина погружения фундамента и соответственно резко увеличенная (до 10–22 км) мощность осадочного выполнения; значительно сокращенная мощность континентальной коры; иногда наличие «окон» коры океанического типа; четко выраженные системы ступенчатых разломных ограничений. Наибольшее значение имеют геоструктурные элементы зон сочленения платформ с подвижными областями, ныне находящиеся на разных стадиях геодинамической эволюции. Основные из них – пассивноокраинные, наследующие межконтинентальные рифты (Кванза-Камерунский, Восточно-Бразильский, Присевероамериканский, Мексиканского залива), краевые прогибы активноокраинных и коллизионных поясов и остаточные бассейны (Персидского залива, Средиземноморские, Прикаспийский и др.), а также межконтинентально-рифтовые незавершенных тектонических циклов развития (Красноморский). Несколько меньшие масштабы типичны для соляно-нафтидных узлов рифтогенных систем внутренних частей платформ (Припятско-Днепровский) и впадин складчатых областей (Трансильванский). Особое значение в контроле соляно-нафтидных узлов имеют геоструктуры, возникающие на пересечении двух, реже трех геоструктурных элементов, названные нами литогеодинамическими узлами [4].

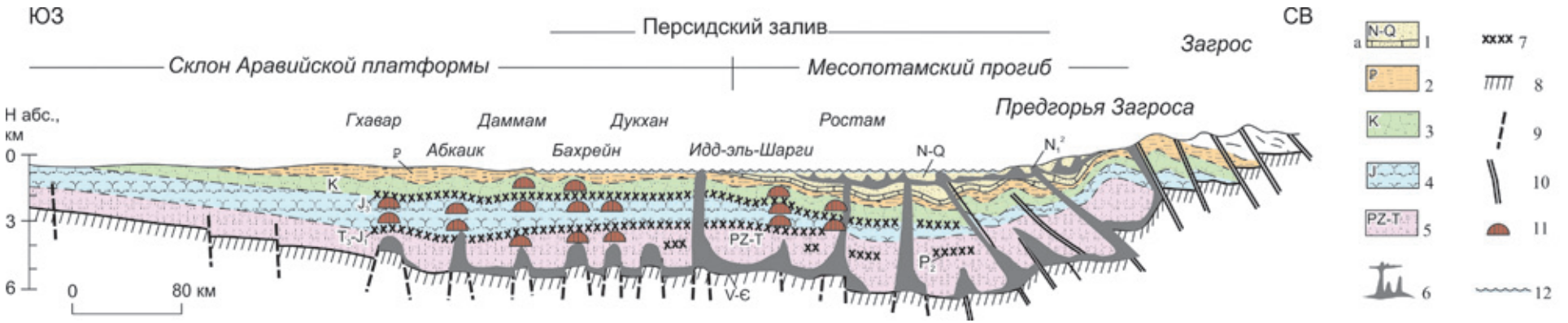


Рис. 4. Схематический геологический разрез солянокупольного бассейна Персидского залива. Сост. Г. А. Беленицкая (моделировано по опубликованным источникам)

1–5 – комплексы отложений: *1* – неоген-четвертичных (*а* – известняки Асмари, P_3–N_1^1), *2* – палеогеновых, *3* – меловых, *4* – юрских, *5* – палеозойско-триасовых; *6* – соли и солянокупольные образования, основные уровни: венд-кембрийский (V–Є, формация Ормуз) и миоценовый (N_1^2, нижний Фарс); *7* – второстепенные уровни сульфато- и соленосности: верхнепермский (P_2), верхнетриасово-нижнеюрский (T_3–J_1) и верхнеюрский (J_3); *8* – докембрийское основание; *9* – разломы; *10* – надвиги; *11* – залежи углеводородов; *12* – воды Персидского залива

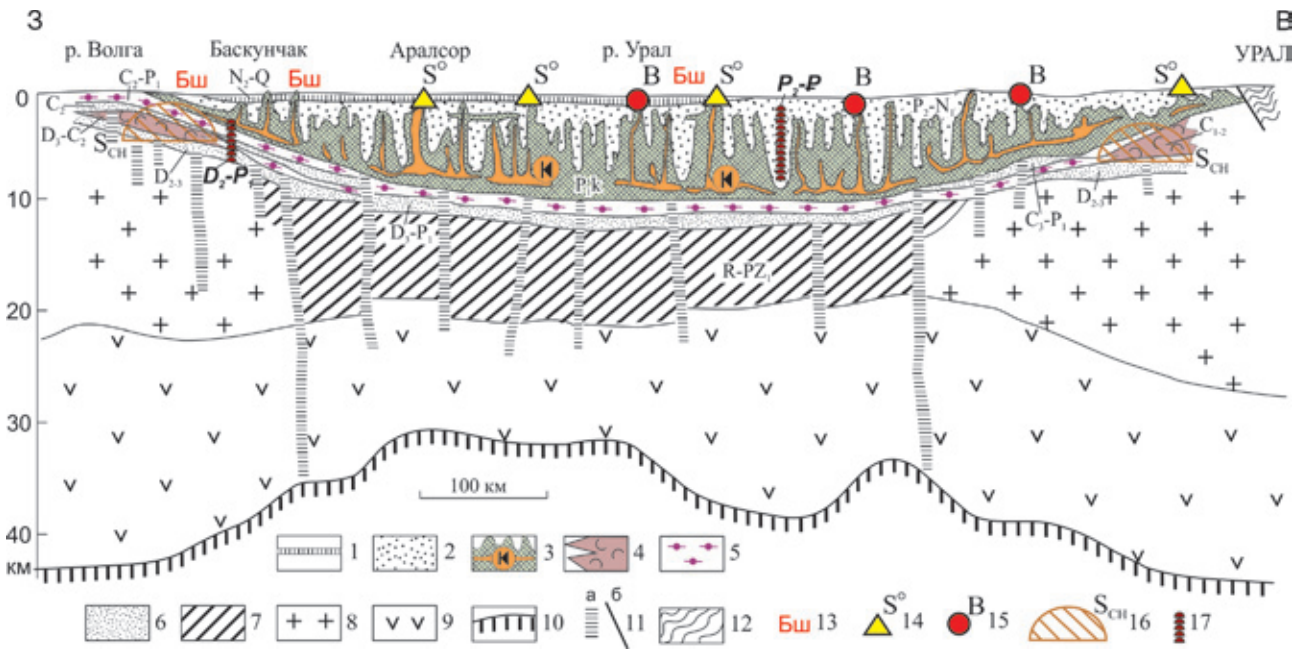


Рис. 5. Геолого-минерагенический профиль через Прикаспийский солянокупольный бассейн. Моделировано по опубликованным и авторским материалам [5] с дополнениями

1 – покровный комплекс (N_2–Q); *2* – надсолевой комплекс терригенных и терригенно-карбонатных отложений (P_2–N_1); *3* – кунгурская галогенная формация сульфатно-калиевого типа (P_1k) с месторождениями и проявлениями каменной и калийных солей; *4–6* – подсолевой верхнепалеозойский (докунгурский, D–P_1) осадочный комплекс, отложения: *4* – карбонатно-рифогенные, шельфовые, *5* – глинисто-кремнисто-карбонатные доманикового типа, глубоководные, *6* – существенно терригенные; *7* – рифейско-нижнепалеозойский доплитный терригенно-карбонатный комплекс повышенной плотности (R–PZ_1); *8* – «гранитный» слой; *9* – «базальтовый» (гранулит-базитовый) слой; *10* – верхняя мантия; *11* – глубинные разломы (*а*) и надвиговые зоны (*б*); *12* – складчато-надвиговые комплексы Урала; *13–16* – положение месторождений и проявлений: *13* – бишофита, *14* – серы самородной, *15* – боратов, *16* – серы газовой; *17* – обобщенные интервалы нефтегазоносности

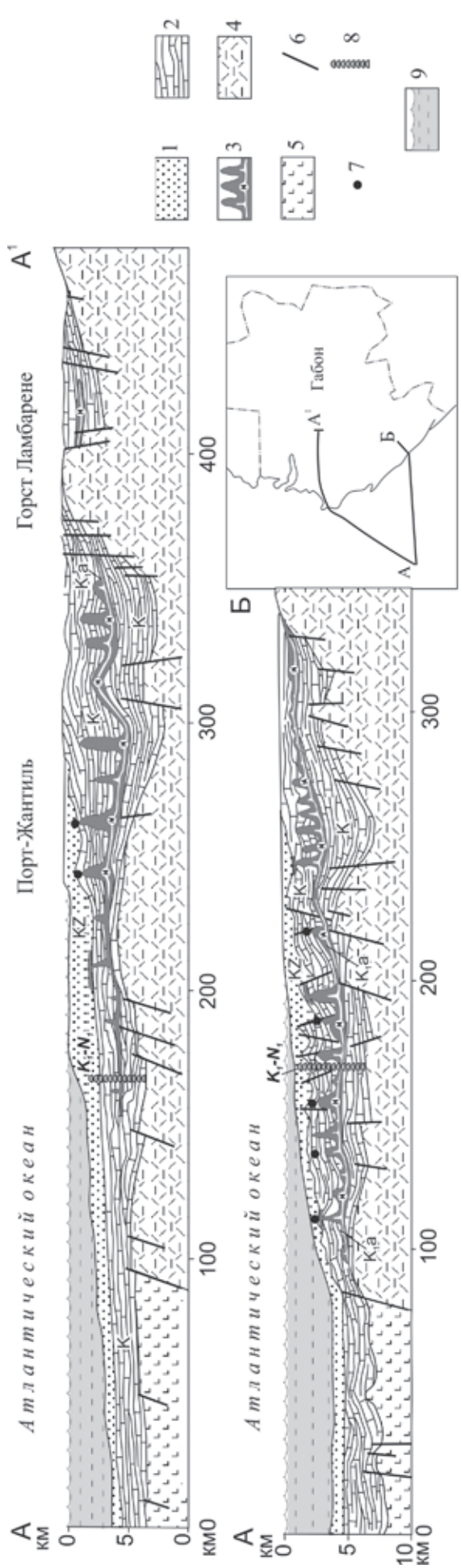


Рис. 6. Поперечные профили через Кванза-Камерунский соляно-купольный бассейн (Приатлантическая пассивная окраина Зап. Африки). На схеме показано положение профилей. Моделировано по Р. Беку и П. Ленеру с изменениями и дополнениями

1 – кайнозойские отложения (KZ); *2* – меловые отложения (K); *3* – соляная толща с горизонтами калийных солей с тахгидритом и бишофитом (K_1a); *4*, *5* – фундамент: *4* – континентальный, *5* – океанический (акустический); *6* – тектонические нарушения; *7* – нефтегазовые залежи; *8* – обобщенный интервал установленной и вероятной нефтегазоносности; *9* – воды Атлантического океана

Именно с ними связаны многие «окна» коры океанического типа. Они контролируют большую часть максимумов и осадконакопления, и соленосности, и нефтидности осадочного чехла.

Параметры соляных толщ и их специфические черты – масштаб, состав, строение, морфология, кинетика и др. – определяют многие важные особенности соляно-нафтидных узлов: весьма крупные площади и мощности, частое присутствие в разрезе двух-трех, а иногда и более соляных толщ, значительные (до 5–10 км, иногда больше) глубины расположения наиболее мощных – доминантных – соляных толщ. Калиеносность солей – важная особенность практически всех соляно-нафтидных узлов, определяющая связь с ними глобальных аномалий химически подвижных форм калия, а также магния, брома и других соляных компонентов (рис. 1, табл. 2).

Вертикальная дисгармоничность присуща строению большинства соляно-нафтидных узлов. Как правило, в них выделяются структурные мегакомплексы, разделенные толщами солей, которым отвечают самостоятельные этажи нефтегазоносности. При наличии в разрезе одной мощной доминантной толщи выделяются подсолевой и надсолевой комплексы, различающиеся типом и интенсивностью дислоцированности пород и характером нефтегазоносности (например Прикаспийский бассейн, рис. 5). При наличии двух или более соленосных толщ количество этажей нефтегазоносности возрастает (бассейн Персидского залива, рис. 4). Интенсивная и разнообразная соляная тектоника резко усложняет структуру соляно-нафтидных узлов.

Парагенезы соленосных толщ с высокоуглеродистыми (черносланцевыми) и рифогенно-карбонатными формациями (часто типа карбонатных платформ) образуют глобально выраженную литолого-формационную и нефтегазовую триаду: соли, черные сланцы, рифы. Высокоуглеродистые комплексы чаще подстилают соленосные толщи, иногда расслаивают или перекрывают их, рифогенно-карбонатные располагаются под или над солями. Соотношение между членами триады отчетливо зависит от палеотектонической позиции [2, 5]. Так, в пассивноокраинных последовательностях типичен восходящий ряд: высокоуглеродистые → соленосные → рифогенно-карбонатные (Кванза-Камерунский, Восточно-Бразильский и др.); в краевых системах: рифогенно-карбонатные → высокоуглеродистые → соленосные (Предуральские, Прикаспийский, Пермский и др.). Такие триады с разной полнотой проявляются и в сочетаниях относительно более мелких литологических тел, вплоть до породного уровня. Многоуровенность солей, высокоуглеродистых комплексов, а часто и всей триады, – характерная

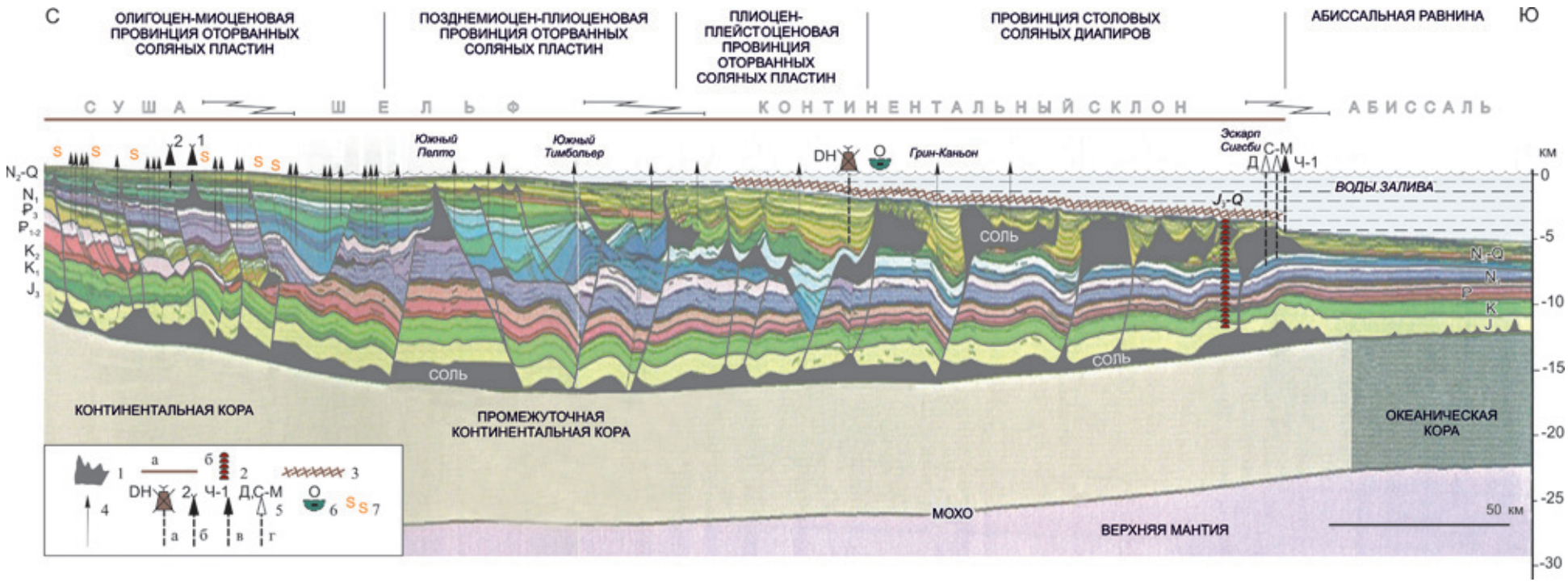


Рис. 7. Субмеридиональный профиль Мексиканского солянокупольного бассейна (через северную часть акватории Мексиканского залива, от Луизианы до впадины Сигсби). Из [7] стратиграфическая основа моделирована по [25], стратиграфическая закраска отвечает оригиналу (отличается от общепринятой); возрастные индексы указаны слева

1 – соли: в основании осадочного разреза – материнские соли Лоанн (T_3?–J_{2-3}), в верхней части в составе неоген-четвертичных отложений – аллохтонные соляные покровы, оторванные от материнских солей; *2* – область установленной нефтегазоносности (*а*, линия над профилем) и общий интервал установленной и вероятной нефтегазоносности (*б*); *3* – область установленного современного интенсивного развития восходящих разгрузок нефтей, газов, рассолов, грязевых вулканов, газогидратов, а в подстилающем разрезе – соляных и глиняных диапиров и многоуровенных залежей углеводородов; *4* – скважины; *5* – ориентировочные проекции на профиль скважин: *а* – аварийной Deepwater Horizon, 2010 г., *б* – аварийных 1 и 2 на северном побережье залива, *в* – Челленджер-1, 1968 г., *г* – скважины Джек (Д) и Сент-Мало (С-М), вскрывшие на континентальном склоне подсолевые (подпокровные) нефтегазоносные отложения; *6* – ориентировочное положение на профиле глубоководного рассольного озера Орка; *7* – область распространения месторождений самородной серы в кепроках соляных куполов (Техас-Луизианская сероносная провинция)

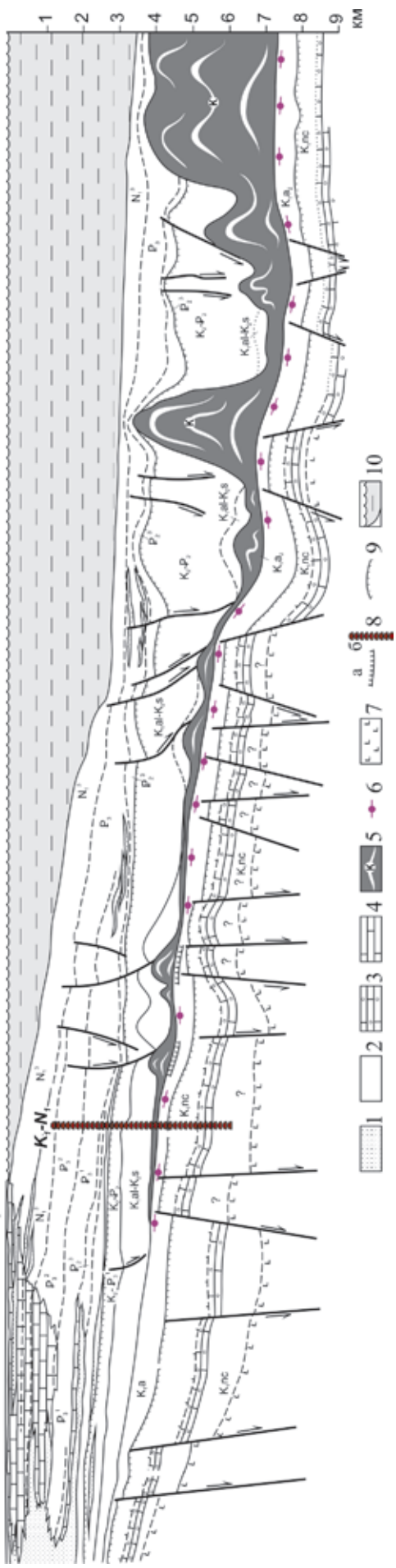


Рис. 8. Поперечный профиль через Восточно-Бразильский соленосный бассейн (Приатлантическая пассивная окраина Юж. Америки). По Е. В. Артюшкову (1993) с изменениями и дополнениями

1 – конгломераты, песчаники; *2* – песчаники, алевролиты, глинистые сланцы; *3* – органогенные известняки; *4* – тонкообломочные известняки; *5* – соляная толща с горизонтами калийных солей и тахгидрита (K,a); *6* – углеродистые отложения (формация Ибура); *7* – базальты; *8* – нефтегазоносность: *а* – подсолевой уровень, *б* – обобщенный интервал установленной и вероятной нефтегазоносности; *9* – несогласия; *10* – воды Атлантического океана

черта разрезов многих соляно-нафтидных узлов.

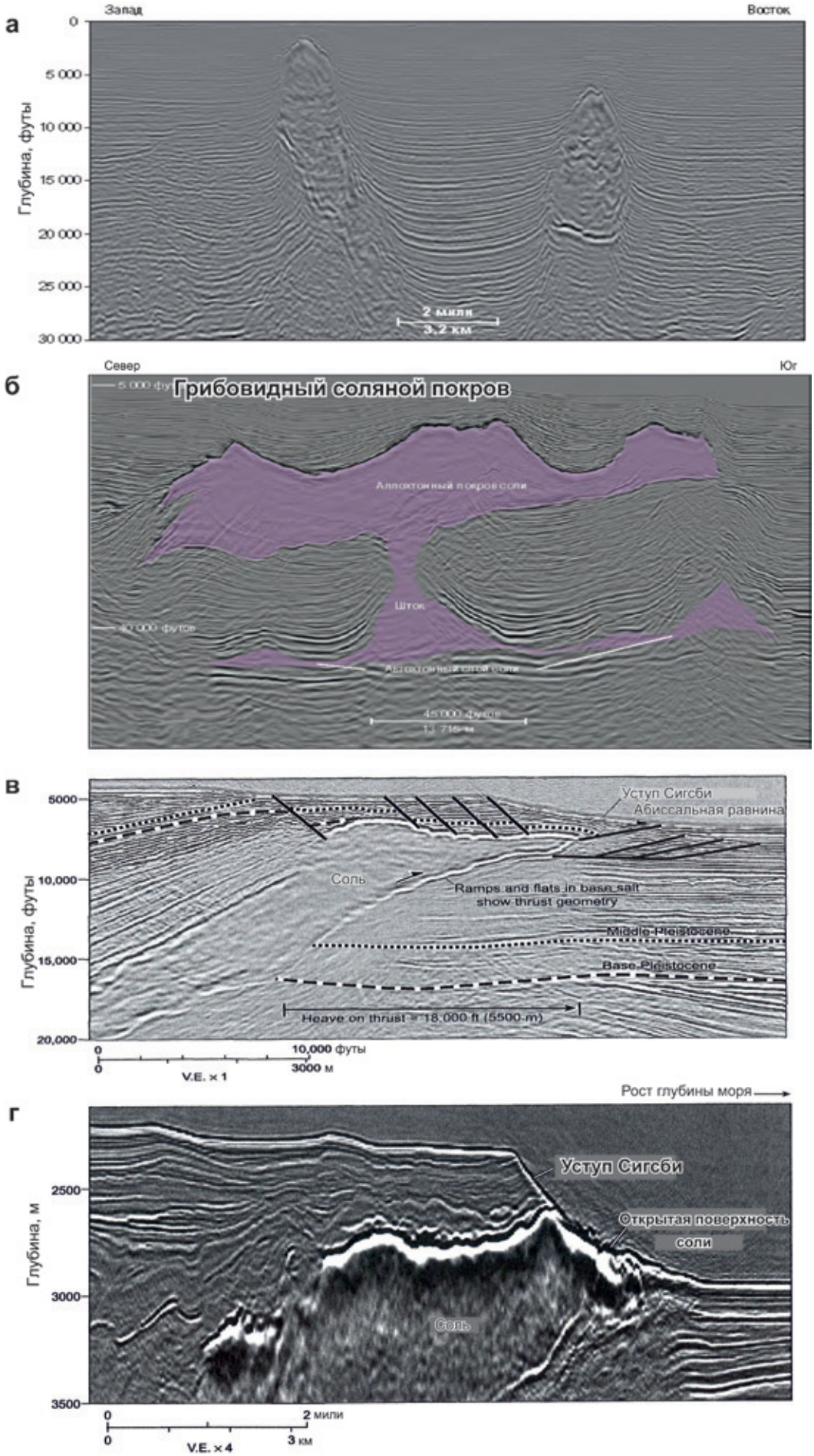
Состав нафтидов характеризуется высокой сернистостью (табл. 2). В наибольшей мере она свойственна рифогенно-карбонатным резервуарам, занимающим подсолевую (или смежную с солями) позицию. Именно с ними связаны все без исключения глобальные максимумы сероводородсодержащих газов (газовой серы) [22]. Соляно-нафтидным узлам подчинены также и многие крупные бассейны (и месторождения) серы самородной экзогенной группы (Мексиканский, Персидского залива, Амударьинский, Пермский, Средиземноморский и др.). Соляно-нафтидным бассейнам, помимо калия и других собственно соляных компонентов, отвечают глобальные аномалии еще и серы в разных фазовых и валентных формах, преимущественно высокоподвижных (и высокореактивных).

Для *подземных вод* соляно-нафтидных узлов типоморфным является наличие высококонцентрированных (крепких и сверхкрепких) рассолов, преимущественно Cl-Na-Ca, Cl-Mg-Ca и Cl-Ca типов, с характерным комплексом галофильных макро- и микрокомпонентов (K, Mg, Br, B и др.), часто H_2S-содержащих. Все эти макро- и микрокомпоненты содержатся в очень высоких (нередко уникальных) концентрациях, чем кардинально отличаются от подземных вод бессолевых разрезов.

В итоге, соляно-нафтидные бассейны, наряду с уникальными концентрациями солей и нафтидов, контролируют крупнейшие скопления и аномалии калия, серы, брома, бора и других макро- и микроэлементов галофильного сообщества, находящихся в твердой, жидкой и газообразной формах, что позволяет говорить о них как о *глобальных комплексных – литогидрогазогеохимических – галофильных аномалиях в стратисфере Земли*.

Таковы наиболее важные общие черты соляно-нафтидных узлов, которые можно обозначить как относительно статичные. Чрезвычайно значимы также общие кинетические особенности и взаимосвязи солей и нафтидов.

Центры восходящей миграции и разгрузки солей, рассолов, углеводородов. Важная черта многих соляно-нафтидных узлов – высокая флюидодинамическая напряженность недр. Ее следствия – широкомасштабная восходящая миграция всех подвижных компонентов, прежде всего солей и углеводородов, и их интенсивная разгрузка, «скрытая» на путях миграции в недрах и окончательная «открытая» в сферу седиментогенеза или гипергенеза (рис. 9, 10). Особенно широко и эффектно эти процессы выражены в бассейнах с активной соляной тектоникой, где соли находятся в наименее стабильном состоянии, часто в перманентном активном движении. Формы галокинеза здесь весьма разнообразны. Масштабно проявлен диапиризм;


а
Запад
Восток
Глубина, футы
0
5 000
10 000
15 000
20 000
25 000
30 000
2 мили
3,2 км
б
Север
Юг
5 000 футов
Грибовидный соляной покров
Аллохтонный покров соли
Шток
40 000 футов
Автохтонный слой соли
45 000 футов
13 716 м
в
Глубина, футы
5000
10,000
15,000
20,000
Уступ Сигсби
Абиссальная равнина
Соль
Ramps and flats in base salt show thrust geometry
Middle Pleistocene
Base Pleistocene
Heave on thrust = 18,000 ft (5500 m)
0
10,000 футы
0
3000 м
V.E. × 1
г
Рост глубины моря
Глубина, м
2500
3000
3500
Уступ Сигсби
Открытая поверхность соли
Соль
0
2 мили
0
3 км
V.E. × 4

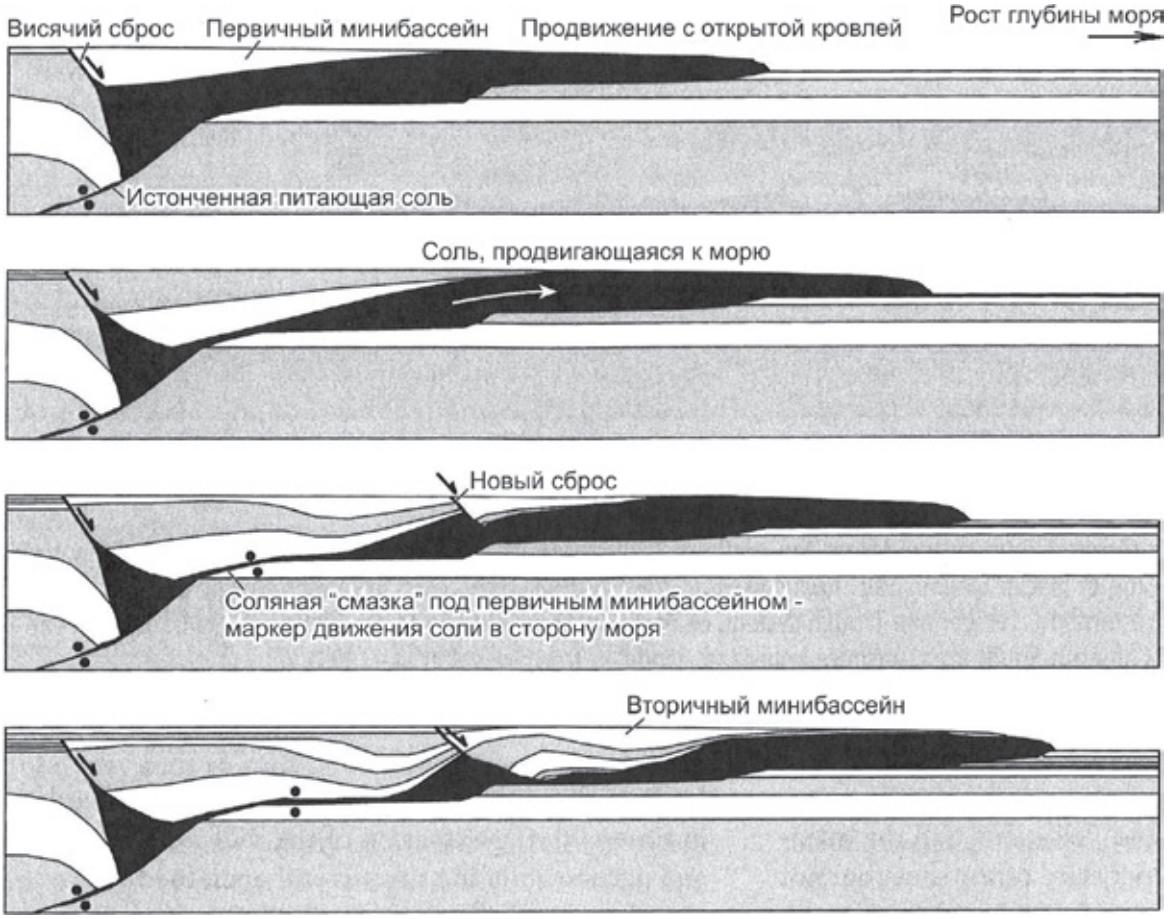


Рис. 10. Модель формирования аллохтонной соляной системы. Проградация солей в виде покровов происходит в направлении глубокого моря [24]

множество субвертикальных соляных тел (столбов, башен, гигантских капель, протяженных хребтов, стен и т. д.) рассекают осадочные комплексы, нередко прорывая даже самые молодые отложения. Другая типичная форма – аллохтонные (чужеродные) соляные покровы, в том числе очень масштабные, протяженностью многие сотни километров при мощности до нескольких километров (рис. 7–10). Если для диапиризма характерна главным образом восходящая миграция соляных масс при подчиненной роли их латерального перемещения, то при образовании аллохтонных покровов значительную (до преобладающей) роль приобретает сублатеральное внедрение-растекание солей на уровнях выше слоев материнских солей. Среди сублатеральных внедрений можно обозначить «интрузивное» – преимущественно межпластовое (внутриформационное), осуществляемое подобно силлам в области скрытой разгрузки, и «экструзивное» – поверхностное (надпластовое) в области конечной открытой разгрузки солей на дно более молодого седиментационного бассейна с дальнейшим растеканием преимущественно в сторону уклона дна.

Важно учитывать, что образование соляных аллохтонных покровов не связано непосредственно с тектоническим покровообразованием складчато-надвиговых областей, сопровождаемым срывами и перемещением пластин осадочных пород разных типов. Возникновение собственно соляных покровов наблюдается во многих регионах с относительно слабой (хотя и повышенной) тектонической активностью (бассейны Прикаспийский, Восточно-Бразильский, Западно-Африканский, Присевероамериканский, Днепровский и др.). Но и среди таких регионов интенсивное развитие соляных покровов характерно для тектонически наиболее активных бассейнов (Мексиканский, Персидский). Здесь их образование, нередко синхронное складчато-надвиговым деформациям, осуществляется преимущественно по периферии зон их локализации и на их фронте; в других же случаях предшествует им во времени.

Рис. 9. Подземный рост и растекание солянокупольных структур. Сейсмические изображения из работ [11] – *а, б* и [24] – *в, г*

а, б – вертикально растущие диапиры (*а*) и мощный грибовидный аллохтонный покров соли (*б*) под континентальным шельфом Мексиканского залива; аллохтонный покров сформирован двумя диапировыми телами, поднимающимися из подстилающего слоя автохтонной мезозойской соли, который оказался почти истощенным; в центре виден шток, соединяющий автохтонное и аллохтонное соляные тела, справа – второй выклинивающийся шток; *в, г* – наклонные соляные тела в районе уступа Сигсби, проградирующие в направлении абиссали: *в* – клиновидное соляное тело, переходящее в покров, перекрытый тонким слоем осадков, продвигается в сторону уступа (простирание до 3,7 км, амплитуда поднятия более 5,5 км), *г* – соляное тело, достигшее поверхности морского дна

Сам факт аллохтонной природы субсогласных покровообразных соляных тел получил обоснование лишь в последние годы, главным образом благодаря исследованиям в Мексиканском заливе [2, 7, 11, 23–25 и др.]. Это касается как «экструзивных» соляных тел (излившихся на дно акваторий или на поверхность Земли), так и «интрузивных» (внедрившихся подобно силлам между пластами осадочных пород). Хотя такого рода образования распространены во многих соленосных бассейнах (Персидском, Прикаспийском, Западно-Африканских, Восточно-Бразильском, Присевероамериканском, Днепровском и др., и, по-видимому, очень широко в Средиземноморских), но до настоящего времени весьма редко опознаются как образования «чужеродные». Обычно они однозначно интерпретируются как молодые инситные (автохтонные) толщи, возникшие эвапоритовым путем в результате солнечного выпаривания морских вод (позже подстилающих отложений и раньше перекрывающих). Еще недавно так было и с покровными солями Мексиканского бассейна, залегающими чаще всего среди миоценовых осадочных толщ и датировавшимися миоценом.

Соляные покровы, являющиеся, как и диапиры, не только элементами структуры нефтегазоносных разрезов, но и активными участниками жизни (кинетики) соленосных недр, в еще большей степени влияют на распределение залежей углеводородов. Понятие «подсолевая залежь» приобретает более широкий смысл: наряду с «подавтохтонными» залежами устанавливаются «подаллохтонные».

Для соляно-нафтидных узлов характерны процессы интенсивной миграции и разгрузки не только солей, но и всех других подвижных компонентов. В них широко и масштабно развиты рассольно-соляной, грязевой и газовый вулканизм, разные типы высокодебитных источников рассолов, газов, нефтей, озера-разливы (тоже рассольные и нефтяные), а также активный глиняный диапиризм. Здесь же локализуются и сверхпродуктивные фонтанирующие скважины, связанные с зонами высоких аномальных пластовых давлений в недрах [7]. С ростом флюидно-тектонической активности недр скорость и интенсивность всех этих процессов значительно возрастают: на порядки увеличиваются скорость роста диапиров и в еще большей мере интенсивность сопряженных с диапиризмом углеводородно-рассольных и рассольно-соляных восходящих разгрузок.

Миграция солей и углеводородов и их разгрузка осуществляются в разных комбинациях и в разной последовательности, определяя характер их взаимоотношений, типы локализации углеводородов и виды их залежей. Некоторое сходство миграционно-реологических характеристик солей и углеводородов, особенно в условиях флюидодинамической напряженности недр, определяет их частую совместную восходящую миграцию. Особенно важным становится еще один аспект взаимосвязей солей и углеводородов, хорошо известный, но привлекающий меньше внимания. Речь идет о своеобразной транспортирующей роли солей в ходе такой миграции. Соль в своем диапировом восхождении как субстанция более плотная по сравнению с углеводородами сильнее нарушает целостность вмещающих слоистых толщ вокруг диапиров и над ними, формируя зоны повышенной проницаемости, куда и устремляются углеводороды. Соляные диапиры выполняют роль своеобразных таранов и «эвакуаторов», способствующих более интенсивной миграции углеводородов (правда, одновременно немного и тормозящих их восхождение, создавая на путях следования «заторы» в виде структурно-тектонических ловушек и покрышек). Важно, что и сами высоконапорные углеводороды в свою очередь изо всех сил «подталкивают» соли снизу [18, 20].

Стоит подчеркнуть, что подобные миграционные взаимосвязи углеводороды обнаруживают не только с солями, но и с другими «подвижными» текучими породами, прежде всего с глинистыми – главными участниками глиняного диапиризма и грязевого вулканизма.

Масштабное развитие в большинстве соляно-нафтидных узлов процессов восходящей миграции и разгрузки делает их одновременно крупнейшими очагами восходящего нафтидо-соляного стока и центрами наиболее активного влияния (и нагрузки) на геологическую среду.

Соляной и нафтидный коровый рециклинг. Разгрузка рассольно-соляных масс и нафтидов в седиментационные бассейны способствует формированию новых уровней соленосных, а также и высокоуглеродистых комплексов [2, 6, 7]. Масштабы этих процессов прямо связаны с интенсивностью разгрузки. Чем она интенсивнее, тем эффективнее процессы молодого соленакопления и нафтидогенеза.

Восходящая миграция и разгрузка солей и углеводородов проявляются в широком спектре процессов и новообразований. Для солей это механический переток соляных масс с образованием аллохтонных соляных покровов и химическая реседиментация из рассолов с накоплением неоавтохтонных солей [2]; для углеводородов переток, образование нефтегазовых залежей, их переформирование, разрушение и, кроме того, участие в реседиментации с накоплением новых уровней высокоуглеродистых отложений [6, 7].

В фазы тектонических перестроек, сопровождаемых смятием соленосных и нефтегазоносных комплексов, происходит частичное или полное разрушение уже самих соляно-нафтидных узлов, и прежде всего выдавливание их соляной и нафтидной «начинки». Соляно-нафтидные узлы становятся чрезвычайно мощными локализованными источниками соляного и углеводородного вещества для формирования новых уровней соляных и углеродистых комплексов, центрами их регенерации и рециклинга, предопределяя широко известные седиментационные взаимосвязи соляных и углеродистых комплексов.

Соляно-нафтидные узлы выступают как своеобразные реакторы, обеспечивающие нафто-соляной рециклинг, инициируемый флюидно-тектонической активностью недр. Именно эти процессы могут служить одной из основных причин совпадения главных эпох соле- и углеродонакопления с эпохами диастрофизма, а многоуровенность, многоэтажность и унаследованность солей и нафтидов являются еще одним следствием этих процессов.

Мексиканский супергигант – эталонный соляно-нафтидный узел. В конкретных бассейнах, в том

числе гигантских, разные аспекты соотношений солей и углеводородов рассмотрены в многочисленных публикациях. В качестве эталонного и модельного объекта может служить один из крупнейших в мире и, пожалуй, наиболее изученный Мексиканский соляной и нафтидный супергигант, для которого нами выполнен детальный анализ разнообразных, в том числе кинетических взаимосвязей солей и углеводородов [7]. Отражая типичные черты и соляных, и нафтидных бассейнов, Мексиканский бассейн даже среди большинства других гигантов выделяется как масштабностью пространственных показателей, так и чрезвычайно ярким проявлением многих важнейших характеристик – геологических, нефтегазовых, флюидодинамических (рис. 7). К тому же он фокусирует главные весьма контрастные тенденции современного развития нефтегазовой геологии и нефтедобычи: с одной стороны, стремительное освоение все более глубоких и глубоководных областей, обязанное колоссальным достижениям науки, техники и технологии и их интеграции, с другой, столь же стремительный, а порой и опережающий рост сложностей и, главное, угроз со стороны недр, все чаще выходящих из-под контроля. Именно в Мексиканском бассейне установлены рекорды почти всех показателей нефтяного бурения: и общей глубины, и глубоководности, в том числе по подсолевым коллекторам, и продуктивности. Но вместе с тем и аварийности, что особенно ярко высветила авария Deepwater Horizon. Большинство других соляно-нафтидных узлов сопоставимо с Мексиканским бассейном по ключевым показателям и также относится к числу наиболее высокоперспективных и высокоаварийных.

Заключение. Соляно-нафтидные узлы представляют собой многокомпонентные динамичные геофлюидные системы, в которых соли и нафтиды являются ключевыми подвижными макрозвеньями. Общая восходящая направленность главного вектора геофлюидных систем определяет неравномерную миграцию их компонентов со скрытыми перетоками в недрах, с временной локализацией углеводородов в залежах, с конечной открытой разгрузкой в область осадконакопления и включением в новые циклы соленакопления и нафтоседиментогенеза. Различные соотношения между солями и углеводородами в процессах миграции и разгрузки создают многообразие соляно-нафтидных паракинезов (пространственных взаимосвязей нефтегазовых залежей с соляными телами в недрах), а также очень частую сопряженность соляных и углеродистых комплексов в сфере палеоседиментогенеза.

Еще одна особенность, во многом связанная с предыдущей (хотя и имеющая иную – геотехногенную – природу), характерна для большинства соляно-нафтидных узлов – их чрезвычайно высокая аварийность при бурении на нефть и газ. Эти показатели делают соляно-нафтидные узлы одновременно и максимально перспективными для поисковых работ и добычи нефти, и максимально опасными.

В ближайшем будущем, судя по всем прогнозам, одними из основных объектов внимания останутся именно крупнейшие соляно-нафтидные узлы, в которых наряду с уже установленными гигантскими ожидаются еще более крупные скопления, причем во все более глубоких и в более глубоководных областях, где уверенно предполагается самая «большая нефть». Особые надежды возлагаются на глубокозалегающие подсолевые резервуары, хотя с ними же связываются и экстремальные риски.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 10-05-00555-а).

1. *Аксенов А.А., Гончаренко Б.Д., Калинко М.К.* и др. Нефтегазоносность подсолевых отложений. – М., 1985. – 205 с.

2. *Беленицкая Г.А.* Галогенсодержащие бассейны // Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов / под ред. А.Д. Щеглова. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. – С. 220–320.

3. *Беленицкая Г.А.* Осадочные бассейны Земли. Соляная тектоника. Литогенез // Планета Земля: Энциклопед. справочник. Т. 2: Тектоника и геодинамика / гл. ред. Л.И. Красный. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – С. 189–222, 354–375, 1211–1220.

4. *Беленицкая Г.А.* Карта литогеодинамического районирования нефтегазоносносных территорий России // Геодинамика нефтегазоносных бассейнов: Материалы II Междунар. конф. – М., 2005. – С. 77–85.

5. *Беленицкая Г.А.* Минерагения соленосных бассейнов мира. Соленосные осадочные бассейны континентов // Планета Земля: Энциклопед. справочник. Том «Минерагения» / гл. ред. Л.И. Красный. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. Кн. 1, С. 165–189. Кн. 2–5.

6. *Беленицкая Г.А.* Последствия нефтяных катастроф глазами седиментолога // Природа. 2010. № 2. – С. 25–34.

7. *Беленицкая Г.А.* Мексиканский залив – центр природных и геотехногенных нефтяных катастроф // Регион. геология и металлогения. 2011. № 45. – С. 51–69.

8. *Беленицкая Г.А.* Природные соляно-нафтидные узлы – глобальные центры надежд и угроз (на примере бассейна Мексиканского залива) // Пространство и время. 2012. № 3(9). – С. 193–207.

9. *Гаврилов В.П.* Геология и минеральные ресурсы Мирового океана. – М.: Недра, 1990. – 323 с.

10. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности солянокупольных бассейнов материков по геофизическим данным / ред. Н.В. Неволин. – М., 1977. – 293 с.

11. *Дрибус Д.Р., Джексон М.П.А., Капур Д., Смит М.Ф.* Сокровища под соляными толщами // Нефтегазовое обозрение. Осень. 2008. – С. 5–21.

12. *Жарков М.А.* Палеозойские соленосные формации мира. – М.: Недра, 1974. – 391 с.

13. *Калинко М.К.* Соленакопление, образование соляных структур и их влияние на нефтегазоносность. – М., 1973. – 132 с.

14. *Капченко Л.Н.* Связь нефти, рассолов и соли в земной коре. – Л.: Недра, 1974. – 184 с.

15. Карта нефтегазоносности мира. Масштаб 1 : 15 000 000. Объяснительная записка. Координаторы В.И. Высоцкий, Ю.Г. Наместников и др. Науч. ред. В.И. Высоцкий, Е.Н. Исаев, К.А. Клещев и др. – М.: ВНИИзарубежгеология, 1994. – 196 с.

16. *Кравченко К.Н.* Бассейновая основа общей теории нафтидогенеза. – М.: НИА-Природа, 2004. – 66 с.

17. *Кудрявцев Н.А.* О закономерностях накопления ископаемых солей // Сов. геология. 1966б. № 7. – С. 25–37.

18. *Леворсен А.* Геология нефти и газа. – М.: Мир, 1970. – 640 с.

19. *Мелихов В.Н.* Продуктивность и потенциал газонефтеносности Амударьинского мегабассейна // Геология нефти и газа. 2009. № 5. – С. 10–18.

20. *Перродон А.* История крупных открытий нефти и газа. Пер. с англ. – М.: Мир, 1994. – 255 с.

21. *Соколин Х.Г.* Геология и нефтегазоносность солянокупольных областей. – М.: Наука, 1976. – 148 с.

22. *Belenitskaya G.A.* Distribution pattern of hydrogen sulphide-bearing gas // Petrol. Geosci. London. 1998. N 4. – P. 49–66.

23. *Combellas-Bigott R.I., Galloway W.E.* Depositional and structural evolution of the Middle Miocene depositional episode, East-Central Gulf of Mexico // AAPJ Bull. 2006. Vol. 90. N 3. – P. 335–362.

24. *Hudec M.R., Jackson M.P.F.* Advance of allochthonous salt sheets in passive margins and orogens // AAPG Bull. Vol. 90. N 10. 2006. – P. 1535–1572.

25. *McBride Barry C.* The evolution of allochthonous salt along a megaregional profile across the Northern Gulf of Mexico Basin // AAPJ Bull. 1998. Vol. 82. N 5B. P. 1037–1054.

Беленицкая Галина Александровна – доктор геол.-минер. наук, гл. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ.
<Galina_Belenitskaya@vsegei.ru>, <ankudinovo@mail.ru>.