

УДК 551.3.051:553:9

**«ФЛЮИДНОЕ» НАПРАВЛЕНИЕ ЛИТОЛОГИИ:
СОСТОЯНИЕ, ОБЪЕКТЫ, ЗАДАЧИ***Г.А. Беленицкая***Аннотация**

Статья посвящена актуальной проблеме литологии – участию восходящих флюидов в осадочных процессах. Рассмотрено ее современное состояние, выделены наиболее важные научные достижения в области изучения процессов современного и древнего флюидного седиментогенеза. Обозначены основные задачи дальнейшего развития «флюидного» направления литологии, намечены пути их решения.

Ключевые слова: седиментогенез, флюиды, очаги разгрузки, биоценозы, цианобактериальные маты, тафоценозы, геохимические аномалии, изотопный анализ, литология.

Введение

Фундаментальная проблема «Флюиды Земли, их разгрузка, геологические и биологические следствия» привлекает все больше внимания исследователей разных направлений наук о Земле. Ей были посвящены международные совещания в Москве, в странах Европы, США и Канады. Материалы совещаний регулярно публикуются. Выходит периодический журнал “Geofluids”. В России издан ряд специальных выпусков журналов, сборников, монографий [1–10].

В настоящем сообщении рассматривается лишь один из аспектов проблемы – разгрузки восходящих флюидов в седиментационные бассейны и их участие в осадочных процессах. При этом анализируется только «холодная» (термин П.Н. Кропоткина [1]) ветвь разгрузок, не обнаруживающих явных признаков связи с магматизмом и регулируемых главным образом сейсмотектонической активностью недр. Заметим лишь, что температуры «холодных» разгрузок обычно также повышены, часто весьма значительно, до 100–150 °С и более.

«Холодные» разгрузки в седиментационные бассейны реализуются в виде газово-жидких инъекций минерализованных вод и рассолов, нефтей, газов (CH₄, H₂S, CO₂, H₂, N₂ и др.), а также их сочетаний с пластично-текучими (соляными, глиняными и др.) и разжиженными (флюидизированными) породными массами (табл. 1, левая часть). Все они могут поступать из подстилающих комплексов (осадочных, складчато-метаморфических) и содержать «добавки» из более глубоких сфер. Как правило, они обогащены разнообразными макро- и микрокомпонентами, как «полезными» (рудобразующими), так и весьма «вредными». Именно «холодные» разгрузки для осадочного породо- и рудообразования имеют основное значение, однако как значимый фактор седиментогенеза до настоящего времени они почти не учитываются.

Табл. 1
 Согласованная типизация восходящих «холодных» (амагматических) разгрузок в область седиментогенеза и отвечающих им инъекционно-осадочных комплексов (по [11])

Восходящие инъекции*		Инъекционно-осадочные отложения**	
Группа	Подгруппа	Лито-геохимическая разновидность** и преобладающие компоненты состава инъецируемых масс	Лито-геохимическая разновидность*** и доминирующие компоненты состава отложений
Флюиды	Газы	II. УВ, CO ₂ , (H ₂ S) и др. I. В, H ₂ S, CO ₂ и др.	II. Биохомогенные отложения с повышенной карбонатностью, углеродистостью, угленосностью, сульфидностью I. То же, часто с повышенной сернистостью
	Жидкие УВ	II. Нефть, конденсат	II. Биохомогенные отложения с резко повышенной углеродистостью: горючие и черные сланцы (при субаквальной разгрузке), I. То же, часто с повышенной сернистостью
		Подземные воды	I. Нефть, конденсат высокосернистые II. Минеральные воды, преимущественно HCO ₃ -Na, часто углекислые, с повышенным содержанием Si, Fe, с характерным комплексом <i>галофобных</i> микрокомпонентов (щелочной гидрокарбонатно-натриевый тип) I. Рассолы, преимущественно Cl-Na-Ca, в том числе высокоминерализованные, с характерным комплексом <i>галофильных</i> микрокомпонентов, часто H ₂ S-содержащие (рассольный хлоридно-кальцие-вый тип)
	Текучие породные массы (литоконтинентские)	Флюидизированные (разжиженные) породные массы	II. УВ-водно-гризевые массы: газовый, нефтяной, гидро-, гризевой вулканизм I. УВ-рассольно-соляные массы: возможно взрывные выбросы – « <i>гало вулканизм</i> »
Рейдные (пластично-текучие) породные массы, участвующие в диапиризме		II. Глинистые, кремнистые массы: диапиризм глиняный, кремнистый и др. I. Соляные (сульфатно-соляные) массы: диапиризм соляной – галокинез	II. Вынесенный и переотложенный материал диапиров (глинистый, кремнистый и др.) I. Соли нового уровня: остаточные накопления (нерастворимые остатки соляных масс, принесенные фрагменты вмещающих пород)

* Курсивом выделены термины не общепринятые, предложенные автором.

** Лито-геохимические разновидности инъецируемых флюидно-породных масс: I – галофильная, II – галофобная.

*** Лито-геохимические разновидности инъекционно-осадочных отложений (и парагенезов): I – галофильная, II – галофобная.

Главную общую задачу «флюидного» направления литологии (и осадочной геологии в целом) мы видим в изучении воздействия «холодной» разгрузки на процессы разных стадий литогенеза. В настоящем сообщении внимание сосредоточено на ее воздействии на процессы преимущественно лишь одной стадии литогенеза – на седиментогенез.

В основание работы положены результаты целенаправленных комплексных исследований «флюидных» аспектов литологии, которые проводились в течение многих лет коллективом Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), руководимым автором статьи, и были поддержаны РФФИ. Исследования включали литолого-минералогические, эколого-тафономические, структурно-морфологические, изотопно-геохимические работы, итоги которых частично освещены в публикациях [11–14].

1. Современное состояние проблемы

За последние десятилетия наши знания о разных типах современных и былых «холодных» разгрузок и об их седиментационных производных – о распространенности, масштабах, причинах, экологических и седиментационных следствиях – существенно расширились, чему способствовали многочисленные достижения в разных областях науки. Кратко перечислим наиболее значимые из них.

1.1. Современные природные разгрузки. Благодаря итогам международных морских исследований кардинально изменились представления о процессах, осуществляющихся в настоящее время в субаквальных, в том числе в наименее изученных глубоководных обстановках осадконакопления, ранее практически недоступных прямым наблюдениям. Публикации, освещающие результаты этих исследований, весьма многочисленны (А.П. Лисицын, Ю.А. Богданов, Г.И. Войтов, Д.Г. Осика, Б.Г. Поляк, А.Ю. Леин, А.И. Блажчишин, М.К. Иванов, Дж. Алоизи (G. Aloisi), К. Пьер (C. Pierre), Ж.-М. Руши (J.-M. Rouchy), К. Бострём (K. Boström), М. Петерсон (M. Peterson), К. Олю (K. Olu), С. Ланс (S. Lance), А.В. Милков (A.V. Milkov), М. Сибюе (M. Sibuet), С. Ритгер (S. Ritger), Б. Карсон (B. Carson), Э. Сьюсс (E. Suess), Г. Робертс (H. Roberts), П. Аарон (P. Aharon), Д. Шумахер (D. Schumacher), К.Ф.М. Томпсон (K.F.M. Thompson), Е.Ф. Шнюков, Р.Р. Рахманов, В.Н. Холодов, Б.М. Валяев, А.Н. Дмитриевский и др.). Краткий обзор работ, наиболее значимых в интересующем нас аспекте, был дан нами ранее [11, 12]. Здесь отметим лишь главные для нас выводы.

Характер *размещения* прослеженной ныне «выводной» флюидной активности недр иллюстрирует схема (рис. 1), где на фоне поясов неогеодинимической активности суммированы разные виды современных восходящих разгрузок (и частично их следствий) как в субаквальных, так и в субаэральных обстановках: рассеянные и фокусированные выходы потоков флюидов (газовых, нефтяных, минеральных вод и рассолов), поля грязевых вулканов, области соляного диапиризма и др. Общая картина размещения разгрузок выявляет: 1) чрезвычайно широкий и разнообразный диапазон обстановок их распространения – и ландшафтно-морфологических, и геодинимических, и климатических; 2) сопряженность между собой разных типов с образованием масштабных скоплений – узлов, протяженных зон и глобальных поясов; 3) зависимость размещения таких

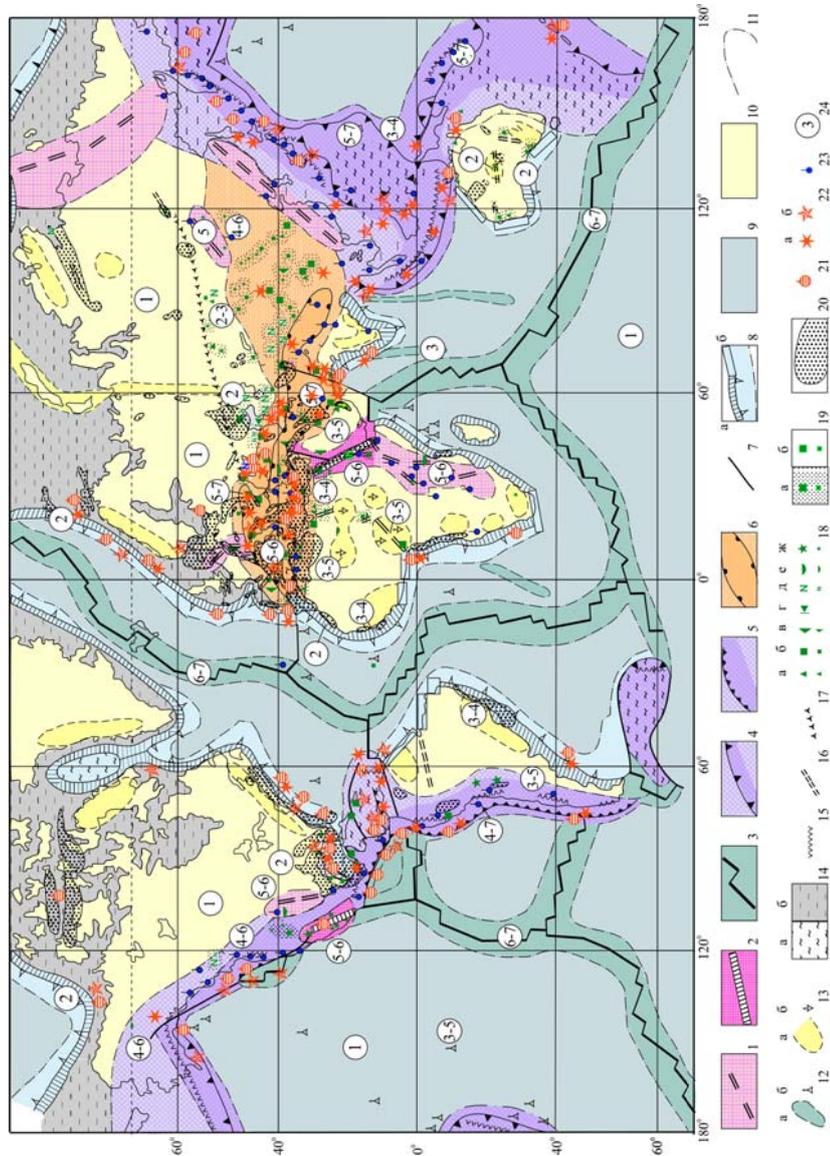
скоплений от характера неогеодинамической активности с преимущественной локализацией в пределах современных геодинамически активных поясов (включая их периферические области) – рифтогенных, активизированных пассивных окраин, активноокраинных, коллизионных. Заметим сразу, что и для былых проявлений инъекционной активности восстанавливаются связи с палеогеодинамической поясностью и фазами палеоактивности ([13] и др.).

Существенно уточнены представления о *масштабах* выносимого восходящими разгрузками материала. Для флюидов их характеризует комплекс известных количественных показателей: дебиты очагов, их количество, частота и длительность активных фаз и т. д. Как правило, особенно высоки дебиты у флюидных потоков, сопряженных с активностью грязевого вулканизма и соляного диапиризма. Существенным дополнением информации служат банки данных о геотехногенных разгрузках – о дебитах напорных скважин, прежде всего фонтанирующих, свободно изливающих на поверхность нефть, газ, воду. В целом, несмотря на некоторую ориентировочность имеющихся оценок, вполне очевидно, что масштабы восходящих флюидных разгрузок весьма значительны, а иногда и грандиозны.

Чрезвычайный интерес представляют возникающие вокруг очагов разгрузки разнообразные ореолы влияния (например, показанные на рис. 2). Их систематизация и иллюстрация даны нами в работах [11, 12]. Ярким проявлением и показателем масштабных флюидных разгрузок и их ореолов являются озера-разливы с напорным восходящим питанием, нередко возникающие вокруг высокодебитных источников вод, нефтей, газов, часто в связи с соляными диапирами и грязевыми вулканами. Это минеральные и рассольные озера, часто с аномалиями микрокомпонентного и газового состава (Эльтон, Баскунчак, Магади, Натрон и др.), а также нефтяные и «асфальтовые» озера (Гуаноко в восточной Венесуэле – самое крупное в мире, Пич-Лейк на о-ве Тринидад, на о-ве Сахалин и др.). В некоторых регионах общее количество нефтяных озер оценивается многими сотнями (и более тысячи), например в Мексике и на Ближнем Востоке. Свообразными субмаринными аналогами субаэральных озер являются глубоководные (около 2 км и более) рассолоносные впадины морей (Средиземного, Красного, Мексиканского и др.), а также мощные озероподобные придонные нефтяные разливы (Мексиканский, Калифорнийский заливы, Карибское море и др.).

Косвенно, но очень выразительно масштабы современной флюидной активности характеризует распространенность газогидратов ([2, 6, 9] и др.). Их проявления обычно совпадают с зонами различных активных углеводородных разгрузок (грязевых вулканов, метановых сипов и др.). К настоящему времени достаточно уверенно прослеживается глобальный характер распространения газогидратов в виде дискретных слоев. Области их установленного развития (даже по наиболее осторожным оценкам) весьма обширны. Безусловно справедливо мнение о неизбежности высококонцентрированных и масштабных, возможно, грандиозных, выбросов метана прежде всего в акватории в случае быстрого разрушения (распада) газогидратных слоев под воздействием тех или иных тектонических, термальных либо иных факторов ([9] и др.). При этом в качестве следствий таких залповых разгрузок естественно ожидать ответные кризисные биоценоотические и седиментационные события.

Рис. 1. Современная геодинамическая и флюидная активность мира. Обобщение по многим опубликованным источникам. Геодинамическая основа по [13]. 1-6 – активные геодинамические пояса (бледная закрапка – периферические зоны); 1-3 – рифтовые (1 – внутриконтинентальные, 2 – межконтинентальные, 3 – океанические), 4 – субдукционные, сопряженные с островными дугами, 5 – то же, вдоль краин континентов, 6 – коллизионные; 7 – сдвиговые участки границ плит; 8 – пассивные окраины континентов и крупных микроконтинентов; а – рифтогенные, б – сдвиговые; 9, 10 – внутриплитные стабильные области; 9 – океанические, 10 – континентальные; 11 – границы между областями с разными типами геодинамического режима; 12, 13 – области внутриплитной активизации (а), то же, с проявлениями вулканизма (б); 12 – внутриокеанические, 13 – внутриконтинентальные; 14 – акватории окраинных и внутренних морей; а – глубоководные с субокеанической корой, б – широкие мелко-водно-шельфовые участки; 15 – вулканические дуги; 16 – фрагменты погребенных рифтов, контролирующие надрифтовые впадины; 17 – северная граница периорогенной области в Евразии; 18, 19 – проявления (мелкие знаки – небольшие) современной разгрузки рессолов и сопряженный



галогенез (по [13]): 18 – геохимические типы (а – сульфатно-кальциевый, б – галлитовый, в – хлоридно-кальциевый, г – сульфатно-кальциевый, д – сульфатно-натриевый, е – содовый, ж – пестрого состава при участии сульфатно-натриевого, содового, иногда нитратного), 19 – характер распространения данного геохимического типа (а – дискретное, б – локальное); 20 – области соляного диализма; 21 – области активной разгрузки углеводородных флюидных потоков в глубоководных акваториях (по [10, 27] и др.); 22 – грязевые вулканы (по [2, 9, 15, 19, 20] и др.); а – установленные, б – предполагаемые; 23 – горячие источники; 24 – ориентировочная оценка геодинамической и флюидной активности (в условных единицах: 1 – минимальная, 7 – максимальная)

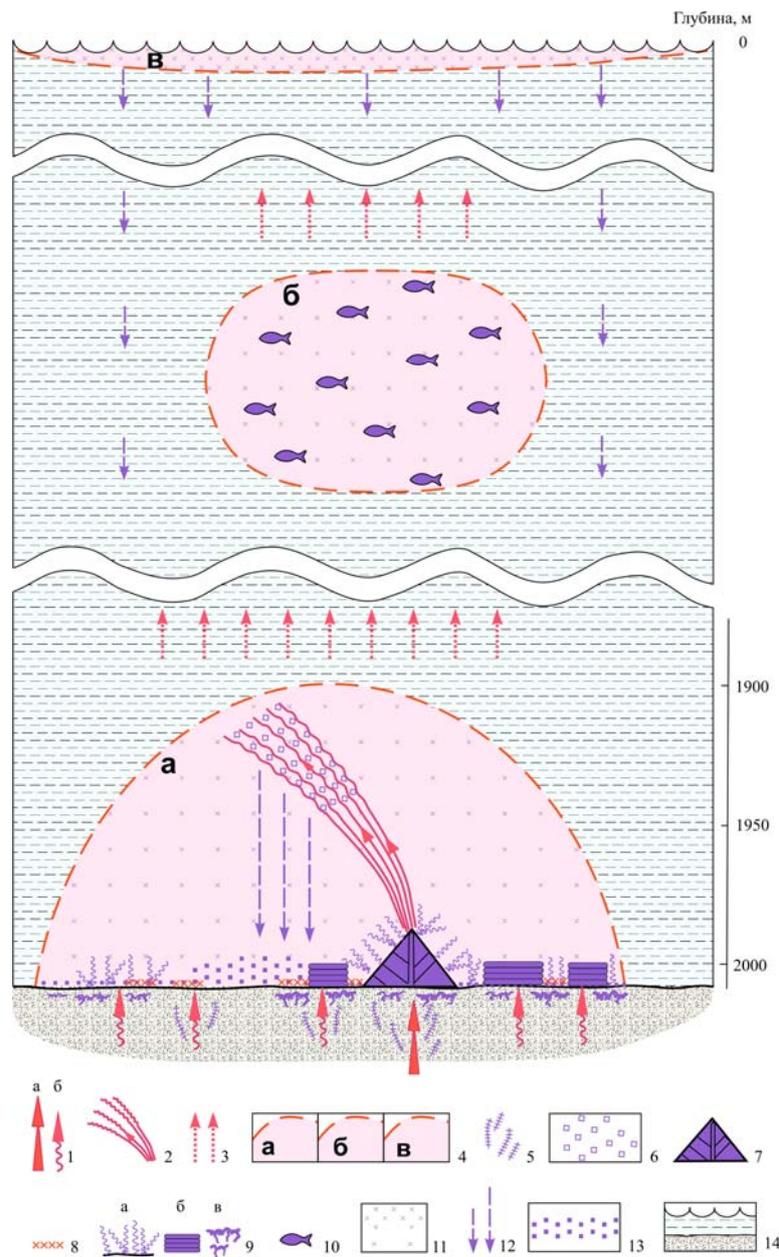


Рис. 2. Динамика химических и биогенных процессов в глубоководных очагах разгрузки флюидов и ореолах их влияния. Моделировано по опубликованным работам. 1 – очаги разгрузки флюидов: а – струйной (локализованной), б – диффузной (высачивания); 2 – локализованный флюидный шлейф; 3 – основные направления восходящего перемещения флюидов в одной массе; 4 – ореолы влияния очагов разгрузки флюидов в морской среде: а – приочаговый (придонный), б – оторванный внутриводный, в – оторванный приповерхностный; 5 – зона взаимодействия восходящих флюидов с субстратом ниже дна (поддонный ореол влияния); 6 – окисление и биохимическое преобразование компонентов флюидов; 7 – биоминеральная постройка на устье очага разгрузки; 8 – поверхности придонной минерализации субстрата (образования типа твердого дна); 9–11 – биоценоотические сообщества в ореолах влияния очага разгрузки: 9 – бентосные (а – ветвистые колонии, б – цианобактериальные маты, в – биотурбаторы), 10 – нектонные, 11 – планктонные; 12 – осаждение хемогенных и биогенных продуктов; 13 – накопление осадков на дне; 14 – морской бассейн и его субстрат

Огромнен объем материала, изливающегося при грязевулканических извержениях ([10, 15–20] и др.). При этом чрезвычайно велик, как уже отмечалось, сопряженный вынос флюидов, в том числе углеводородных. Многочисленные (до 100 и более) сальзы и грифоны (диаметром преимущественно до нескольких метров каждый), сопровождающие каждый грязевой вулкан, выносят, наряду с глинисто-грязевой пульпой, газ, нефть, воду. Суммарные дебиты углеводородных газов оцениваются величинами свыше 100 м³/сут, жидкой грязи – свыше 5 т/сут.

Общий глобальный поток метана в атмосферу Земли Г.И. Войтов оценил величиной от $1 \cdot 10^{15}$ до $5 \cdot 10^{15}$ г CH₄ [1]. Для поступлений метана при грязевом вулканизме приводятся цифры до 27 Тг/год (в том числе около половины в период извержений) [10].

Объемы рассольно-соляных масс, участвующих в активном диапиризме и в других проявлениях галокинеза, еще более грандиозны ([13, 21, 22] и др.). В последние десятилетия открыты целые глобальные пояса их мощнейшего развития – Циркуматлантический, Циркуминдийский и Средиземноморско-Красноморский и ряд более мелких. В восходящем (субвертикальном) диапировом состоянии ныне находится не менее 50–60% всей массы солей мира, которая в целом оценивается величиной порядка 25 млн. км³ ($\sim 5 \cdot 10^{21}$ г). Значительная часть этих соляных масс сосредоточена в составе диапиров, прорывающих надсолевые слои вплоть до выхода на поверхность Земли или в близповерхностную зону. Во многих солянокупольных бассейнах широко и эффективно проявлена связанная с диапиризмом интенсивная восходящая разгрузка высококонцентрированных рассолов и углеводородов. В фазы или во время импульсов тектонической активности она нередко приобретает характер катастрофических выбросов смесей газов, рапы и дробленой соли – своеобразного «соляного вулканизма» (рассольно-углеводородно-соляного) [12].

Характерная черта разных видов масштабных разгрузок – их максимальная локализация в одних и тех же регионах – в своеобразных узлах разгрузки. В них сосредоточены и высокодебитные источники, и озера-разливы (рассольные и нефтяные), и области широкого и масштабного развития грязевого вулканизма и активного диапиризма – соляного и глиняного, и сверхпродуктивные фонтанирующие скважины, а также зоны распространения наиболее высоких аномальных пластовых давлений и повышенной сейсмической активности. К числу крупнейших «узлов» можно отнести многие нефтегазоносные бассейны, локализующиеся вокруг акваторий, в том числе Мексиканский, Венесуэльский, Месопотамский, Южно-Каспийский, Керченско-Черноморский, Североморский, Восточно-Средиземноморский, Гвинейский, Охотско-Сахалинский, Калифорнийский и др. Все эти «узлы» можно рассматривать как области глобальной разгрузки, объединяющие центры разгрузки более низкого ранга.

Итак, сфера осадконакопления обозначилась как область масштабного конечного восходящего стока из недр флюидов и сопряженных подвижно-текучих породных масс. Полностью подтверждено заключение К.А. Аникиева [23], что объемы флюидов, прорывающихся под высоким давлением в активизированных участках коры, измеряются астрономическими числами. Весьма показательно,

что крупные НГБ и связанные с ними акватории представляют собой одновременно узлы разгрузки углеводородов и их масштабные ловушки.

1.2. Современные флюидогенные экосистемы и флюидогенные осадки.

Замечательным научным достижением морских исследований стало обнаружение и детальное исследование *in situ* приоточаговых биоценозов и осадков. В ходе изучения субаквальных разгрузок, в том числе «холодных» – нефтяных, газовых, рассольных, – на большинстве из них, а также в пределах ореолов их влияния (рис. 2), были прослежены реакции на разгрузки со стороны бассейновых экосистем (аномальные «оазисы» жизни, минерализованные кладбища и др.), а также раскрыты многие детали их отражения в седиментогенезе (А.П. Лисицын, Ю.А. Богданов, Е.Г. Гурвич, Г.А. Заварзин, Л. Лобье, А.Ю. Леин, А.И. Блажчишин, М.К. Иванов, И.Ю. Беленькая, Дж. Алоизи, К. Пьер, К. Бострём, М. Петерсон, К. Олю, С. Ланс, М. Сибюе, С. Ритгер, Б. Карсон, Э. Сьюсс, Г. Робертс, П. Аарон, Д. Шумахер, К.Ф.М. Томпсон, Дж. Парнелл (J. Parnell), И.Р. Макдональд (I.R. MacDonald), А. Джудд (A. Judd), М. Ховланд (M. Novland), Б.М. Вальяев, А.Н. Дмитриевский, Е.Ф. Шнюков, и др.). Широкий и масштабный характер воздействия этого ранее почти не учитываемого фактора на бассейновую среду, биоту и седиментогенез с каждым годом раскрывается все отчетливее и полнее.

1.3. Флюидные палеовоздействия на палеоседиментационные процессы.

Новые представления о современных природных процессах дополнительно стимулировали поиск их палеоаналогов в осадочных разрезах – проявлений былых флюидных воздействий на палеоседиментационные обстановки. В результате существенно выросло число публикаций, в которых приводятся несомненные свидетельства и признаки широкого распространения в разрезах осадочных серий разных регионов и возрастов синхронных палеоседиментогенезу флюидных палеоразгрузок (Е.Ф. Шнюков, Ф. Трусхейм, Р.Р. Рахманов, А.Е. Лукин, Е.Г. Песков, Ю.Г. Цеховский, В.И. Муравьев, К.Г. Каледа, Н.А. Ахметьев, Н.Г. Музылев, Г.А. Беленицкая, Ж.-М. Руши, К. Кэмпбелл (K. Campbell), А. Бём (A. Boehm), Дж.М. Будаи (J.M. Budai), А.М. Ахметжанов, В.Н. Холодов, В.В. Зайков, Н.С. Бортников, В.Г. Ганелин, Я.Э. Юдович и др.). Решение этой задачи являлось одной из основных в комплексных исследованиях коллектива ВСЕГЕИ [11–14].

1.4. Техногенные модели флюидных воздействий на седиментационную среду.

Весомый вклад в освещение проблемы внесло изучение последствий воздействия на седиментационную среду техногенных «флюидов» – разнообразных выбросов сточных вод, нефтей, газов. Результаты исследований нефтяных разливов особенно значимы с точки зрения необходимости оперативного изучения их катастрофических последствий и поиска способов ликвидации. Именно техногенные катастрофы наиболее концентрированно и адекватно фиксируют геологически мгновенные картины флюидогенных событий и могут служить их своеобразными «вынужденными моделями». Целенаправленный анализ материалов о разнообразных эколого-седиментационных следствиях аварийных разливов нефти недавно был выполнен нами [25].

1.5. Литогеодинамический анализ осадочных бассейнов. Весьма конструктивную роль сыграло развитие литогеодинамического направления исследований осадочных бассейнов, способствовавшее раскрытию характера воздействия на развитие осадочных систем проявлений эндогенной активности недр, а также участия флюидных факторов в их становлении и эволюции. Литогеодинамический анализ дал инструмент для оценки роли этих факторов в жизни осадочных бассейнов на разных стадиях литогенеза [13].

В результате всех перечисленных исследований отчетливо обозначилась система убедительных признаков активного и масштабного участия восходящих разгрузок и в современном, и в древнем седиментогенезе.

2. Общая геолого-генетическая модель флюидно-осадочного поро- и рудообразования. «Флюидогенные» объекты

Одним из итогов исследований стало обоснование общей геолого-генетической модели флюидно-осадочного поро- и рудообразования с раскрытием причинно-следственной цепочки событий: возмущение напорной флюидной системы недр → градиентный рост интенсивности флюидных потоков и их разгрузки в седиментационные бассейны → возникновение в очагах разгрузки и ореолах их влияния флюидогенных экосистем (аномальных флюидогенных обстановок и стрессовых флюидогенных биоценозов) → накопление флюидогенных биохемогенных осадков → итоговые (после захоронения, фоссилизации и литификации) аномальные биохемогенные комплексы осадков – «флюидно-осадочные ассоциации» [13, 12]. Обозначенная последовательность объединила широкий спектр объектов – «флюидогенную» систему: собственно флюиды, флюидная (геофлюидная) система недр, каналы восходящего транзита флюидов, флюидная разгрузка, способы и очаги разгрузки, ореолы их влияния, уровни разгрузки, флюидогенные биотопы, биоценозы, тафоценозы и, наконец, конечные звенья – флюидогенные осадки и флюидогенные породные (и рудно-породные) ассоциации (парагенезы). Тем самым в «обиход» литологов была введена целостная система новых, нетрадиционных для нее объектов и связей.

Два последних итоговых звена – для литологии наиболее важные – представляют собой различные сочетания слоистых биогенно-хемогенных тел и биоминеральных построек, обогащенных компонентами флюидов, а также органическим веществом и другими биогенными образованиями. Как правило, они имеют отчетливую геохимическую специализацию и нередко вмещают или контролируют рудные, нерудные и горючие полезные ископаемые. В этих комплексах, названных флюидно-осадочными, локализованы разнообразные биогенные и абиогенные структурно-вещественные неоднородности и аномалии, представляющие собой главный итог флюидных палеоразгрузок и содержащие многочисленные признаки синседиментационных флюидных палеовоздействий.

Такого рода комплексы – породные и рудно-породные парагенезы (ассоциации) с признаками синседиментационных флюидных палеовоздействий – в настоящее время, как уже отмечалось, выявлены и охарактеризованы в осадочных разрезах многих регионов. И все же пока в подавляющем большинстве литологических исследований воздействия флюидных факторов учитываются весьма редко. Результирующее звено восходящих флюидных разгрузок – их отражение

в осадочных разрезах – к настоящему времени наименее исследовано. Современная теоретическая и практическая литология и осадочная минерагения по-прежнему ориентированы на анализ преимущественно лишь нормально-осадочных процессов, каковыми считаются процессы, обязанные поступлению и отложению вещества под воздействием только разнообразных экзогенных факторов, прежде всего ландшафтных и климатических.

3. Задачи исследований

Среди причин, тормозящих развитие «флюидного» направления литологии, весьма существенны сложности научно-методического плана, вызванные вовлечением в анализ перечисленных выше новых, нетрадиционных для литологии объектов, связанных с флюидными разгрузками и их производными, отсутствием соответствующих понятийно-терминологических баз и классификаций, неразработанностью методов расшифровки признаков участия флюидных разгрузок (многие из которых имеют иную генетическую интерпретацию) и т. д. Учитывая это, мы попытались наметить ряд конкретных задач, первоочередных для развития разных аспектов обсуждаемого направления. Важно, однако, подчеркнуть, что большинство из них в разной мере уже освещено в публикациях, в том числе в работах упоминавшихся авторов. Перечисляя задачи, мы будем кратко характеризовать возможные пути и примеры их решения, предлагаемые в этих работах, а также в наших публикациях [11–14, 25].

3.1. Разработка понятийно-терминологической базы. Введение в «обиход» литологии широкого спектра «флюидогенных» объектов и взаимосвязей ставит, как уже было отмечено, задачу разработки, уточнения или адаптации применительно к ее задачам принципиально нового комплекса понятий и терминов. Частично эта задача обсуждалась в работах [11–13].

3.2. Типизация восходящих разгрузок в сферу современного и былого осадконакопления. Такого рода типизация должна учитывать признаки флюидных систем, важные для седиментологии, прежде всего особенности их состава, способов и динамики поступления. В предложенном варианте (табл. 1, левая часть) за основу приняты фазово-вещественные показатели [11]. Среди участников «холодных» разгрузок выделены собственно флюиды и текучие породные массы. Флюиды, в свою очередь, делятся на три подгруппы: подземные воды (преимущественно минерализованные, включая рассолы), жидкие углеводороды (нефти, конденсаты) и газы. Весьма обычны их различные сочетания. По макро- и микрогеохимическим особенностям выделены две достаточно контрастные разновидности: I – *галофильная* и II – *галофобная*. К галофильной относятся: рассолы, преимущественно Cl–Na–Ca- и Cl–Ca-типов, часто высококонцентрированные (и сверхкрепкие) с характерным комплексом галофильных микрокомпонентов, нередко H₂S-содержащие (рассольный хлоридно-кальциевый тип), высокосернистые жидкие углеводороды и H₂S-содержащие газы. Для галофобной разновидности типичны минеральные воды, как правило, существенно менее минерализованные, преимущественно HCO₃–Na-типа, часто углекислые, с повышенным содержанием Si, Fe, с характерным комплексом

галофобных микрокомпонентов (щелочной гидрокарбонатно-натриевый тип), малосернистые жидкие углеводороды и бедные сероводородом газы. Представители каждой разновидности (газы, жидкие углеводороды, воды) образуют устойчивые сонахождения – галофильные и галофобные соответственно. Первые часто ассоциируют с проявлениями соляного диапиризма, вторые – глиняного диапиризма и грязевого вулканизма.

3.3. Типизация литолого-минерогенических и биогенных производных восходящих разгрузок. Вариант типизации, согласованной с фазово-вещественной типизацией разгрузок, представлен в табл. 1 (правая часть). Группы, подгруппы и разновидности седиментационных производных разгрузки коррелируются с соответствующими подразделениями разгружающихся систем. Среди седиментационных производных также устанавливаются две минерально-геохимических разновидности. Для каждой из них характерны свои флюидогенные комплексы и их ассоциации: 1) для галофильной типичны сульфатно-кальциевые и соляные породы разных минерально-геохимических типов, высокомагнезиальные карбонаты и глины, высокоуглеродистые комплексы, а также специфический набор полезных компонентов (руды Pb, Zn, Cu и др.); 2) для галофобной – фосфатные, широкий спектр кремнистых, глауконитовые, сульфидно-, окисно- и карбонатно-железистые, каолиновые глины, бентониты, высокоуглеродистые, угленосные и некоторые другие образования. Наиболее обычным «сквозным» элементом обеих ассоциаций являются высокоуглеродистые комплексы. Специфика флюидно-осадочных ассоциаций коррелируется с особенностями состава порождающих их разгрузок. Промежуточные варианты ассоциаций отражают воздействия флюидных разгрузок смешанных типов. Как правило, галофильные ассоциации характерны для соленосных осадочных бассейнов и устанавливаются в разрезах большинства из них (например, в Волго-Уральском, Амударьинском, Восточно-Сибирском), галофобные – для разрезов бассейнов, не содержащих сколько-нибудь значительных количеств соляных пород (например, для Балтийского, Воркутинского, Западно-Сибирского).

3.4. Расшифровка и систематизация признаков участия восходящих флюидных разгрузок в осадочных процессах. К настоящему времени как в современных осадках, формирующихся на активных очагах разгрузки, так и в разрезах разновозрастных осадочных комплексов описан широкий спектр признаков воздействий на седиментационные процессы и палеопроцессы восходящих флюидных разгрузок [7–20, 26–28]. Их достаточно хорошая сопоставимость в современных и палеообстановках позволяет более уверенно выделить типовые наборы.

Наиболее распространены три группы признаков [11, 12, 14]: I – вещественные (минерально-геохимические и изотопные), II – биотические, III – структурно-морфологические. Учитывая сходство характерных признаков каждой группы в разрезах разных возрастов и регионов, мы кратко проиллюстрируем их основные черты на примере главным образом кембро-ордовикских отложений Балтийского палеобассейна, где с целью их расшифровки нами проводились наиболее детальные комплексные исследования. В разрезах этих отложений выделено несколько флюидно-осадочных рудно-породных комплексов. По своим

структурно-вещественным особенностям они, как правило, резко отличаются от фоновых терригенно-карбонатных отложений, благодаря чему выделяются в самостоятельные слои или горизонты. Главные из них: оболочные (фосфатоносные) пески и песчаники, диктионемовые (высокоуглеродистые) сланцы, глауконитовые пески, глауконитовые известняки, окисно-железистые («чечевичные») слои, кукурситы (горючие сланцы). Сочетание этих комплексов в разрезе образует своеобразное фосфатно-железисто-кремнисто-углеродистое сообщество, очень типичное для галофобной разновидности флюидно-осадочных ассоциаций. Именно в составе перечисленных комплексов, максимально в их подошве, а частично и в подстилающем субстрате, широко развиты все три группы признаков флюидных палеовоздействий.

Вещественные признаки. Наиболее весомый признак – резко аномальный (по отношению к фоновым терригенно-карбонатным комплексам) отчетливо индивидуализированный макро- и микрокомпонентный состав: фосфатоносные (с рудными концентрациями фосфора), высокоуглеродистые (вплоть до промышленных горючих сланцев), глауконитовые (до 20–30% и более глауконита), окисно-железистые (до 50–60% Fe_2O_3), сульфидные (до 80% пирита), все – с разнообразной аномально-высокой попутной геохимической специализацией, часто минерагенически значимой (U, Sr, F, Mo, Re, TR и др.). Следует подчеркнуть, что изменения минерально-геохимической специализации на границах комплексов осуществляются на фоне относительно стабильных (или слабо варьирующих) региональных ландшафтно-климатических палеоусловий. Наряду со своеобразием каждого комплекса, прослеживается их общая «сквозная» геохимическая специализация (чаще всего – P, K, Fe, Sr, F, TR и др.), нетипичная для фоновых пород. Кроме того, обнаруживается корреляция суммарной геохимической специализации всех флюидогенных комплексов с таковой подстилающего субстрата. Такая унаследованность в сочетании с корреляцией с фазами тектонической активности и с подчиненностью долгоживущим тектоническим нарушениям подтверждает вероятность связи формирования исследуемых комплексов с восходящей разгрузкой флюидов, обогащенных элементами субстрата.

Все большую генетическую значимость приобретают изотопные характеристики флюидогенных образований. В частности, данные об изотопном составе углерода карбонатов и углеродистого вещества ($\delta C_{карб}$ и $\delta C_{орг}$) изученных флюидно-осадочных комплексов подтверждают вероятность их флюидогенной природы [14]. Важную информацию несут как аномалии абсолютных значений, так и их значительный разброс [1, 2, 7, 10, 16, 26–28].

Биотические признаки. На границах комплексов наблюдаются градиентные кризисные эко- и тафоценотические изменения, в том числе: 1) резко выраженные скачки таксономических и количественных характеристик биоты (контрастная смена процветающих биоценозов стрессовыми, часто с доминирующей ролью цианобактериальных сообществ, общим таксономическим однообразием, всплесками продуктивности, а иногда и размеров, единичных специализированных таксонов и т. д.), а затем нередко столь же резкий возврат к исходному состоянию); 2) геохимическая специализация возникающих биоценозов с определяющим (породообразующим) развитием организмов, накапливающих (или отлагающих) аномальные концентрации компонентов, образующих геохимическую специфику

комплексов – P, Sr, F, TR, C_{орг}, SiO₂ и др.; 3) контрастные изменения морфологических характеристик биосеносов. Особенно важна аномально возрастающая, часто доминирующая, роль микробиальных (прежде всего цианобактериальных) сообществ с присущим им набором показателей. Наиболее ярко все эти биотические изменения выражены на уровнях развития высокоуглеродистых образований: черных диктионемовых сланцев и горючих сланцев – кукерситов.

Структурно-морфологические признаки. В составе флюидно-осадочных комплексов наблюдается широкий спектр специфических макро- и микроособенностей структурно-текстурного строения тел, их морфологии, размещения и пространственных соотношений. Характерны формы, сопоставимые с неоднократно описанными на современных очагах разгрузки: минерализованные поверхности типа твердого дна и панцирей, воронкоподобные, микроползневые, флюидо- и биотурбированные, небольшие криптобиогенные глинисто-карбонатные постройки, специфические конкреционные скопления и др. Показательны разнообразные по форме и размеру тела, нарушающие стратификацию осадков: субвертикальные трубко-, цилиндрические и конусообразные, секущие наслоение пород. Важно, что среди таких трубчатых форм многие имели выход на уровне палеоседиментации, то есть могли служить выводными путями палеоразгрузки. На их устьях иногда фиксируются инситу скопления фауны прекрасной сохранности. Для внутренних частей трубок, а также для часто окружающих их импрегнационно-метасоматических ореолов характерно обогащение аутигенным материалом – карбонатным (кальцитовым, сидеритовым, анкеритовым), фосфатным, железистым (окисным, сульфидным, карбонатным), особенно эффективным глауконитовым и др. С ними же часто связаны разнообразные геохимические аномалии. По крайней мере часть трубчатых образований представляет собой древние каналы синседиментационной разгрузки (древние очаги, сипы, покмарки, высачивания и др.). В рассматриваемых разрезах, относимых нами к галофобной разновидности, наиболее вероятны разгрузки флюидов гидрокарбонатно-кремнисто-железистого состава. Характерно, что для горизонтов развития флюидных трубок типично интенсивное развитие также и трубковидных форм биогенной природы, чаще всего разнообразных ихнофоссилий. В настоящее время в осадочных разрезах все трубчатые образования, как правило, уверенно относят к ихнофоссилиям (О.С. Вялов, Р.Ф. Геккер, А.В. Дронов, П.В. Федоров и др.). Следует отметить, что факт интенсивного развития ихнитовых образований на очагах разгрузки достаточно закономерен: будучи реакцией на флюидную разгрузку, они представляют одно из ее биогенных следствий. Именно это имеет место на многих современных очагах разгрузки, где присутствуют и минерализованные флюидами трубки разгрузки и скопления трубчатых форм биогенной природы ([10, 26–28] и др.).

Чрезвычайно важным и информативным общим показателем флюидогенной природы рассмотренных образований является отчетливая согласованность и контрастность появления и исчезновения всех их специфических признаков.

3.5. Оценка роли эндогенной палеоактивности недр. Одним из способов выявления возможного влияния эндогенных факторов на формирование флюидогенных комплексов может служить прослеживание корреляционных связей

между уровнями максимального развития этих комплексов и региональными фазами эндогенной активности. Например, для Балтийского кембро-ордовикского палеобассейна уже упоминалась корреляция между появлением в разрезах флюидогенных парагенезов и фазами активности в обрамляющих подвижных поясах (Япетус и Торнквист).

3.6. Изучение закономерностей чередования «флюидогенных» типов седиментогенеза с «нормально-фоновыми». При формировании осадочных последовательностей интенсивные восходящие разгрузки, дискретные по своей природе, практически всегда осуществляются на фоне нормально-бассейновых факторов (климатических, эвстатических, фациальных), которые регулируют характер осадконакопления в промежутках между фазами усиления разгрузок, изменяясь несравненно медленнее. Масштабные относительно кратковременные флюидные разгрузки, интенсифицируемые тектоногенными факторами, резко прерывают ход фоновой седиментации. При этом они могут проявляться на фоне практически любых климатических и фациальных обстановок, хотя, естественно, существуют и определенные закономерные «предпочтения». В итоге неизбежны многообразные, часто циклические, чередования флюидных типов осадконакопления с фоновыми.

Существенно, что во всех случаях, даже в тех, когда масштаб (прежде всего мощность) флюидогенных комплексов уступает фоновым, они, как правило, относятся к числу наиболее интересных и минерагенически значимых интервалов разрезов.

3.7. Актуализация общей классификации типов седиментогенеза. Обозначение сферы осадконакопления как области современного и бывшего конечного восходящего стока флюидных и сопряженных подвижно-текучих породных масс, то есть как области аккумуляции материала не только поверхностного сноса, но и восходящего глубинного стока, области, где после полной или частичной трансформации происходит утилизация и захоронение значительной части инъецируемого материала, делает желательным введение «холодных» флюидных внедрений в число закономерных и значимых факторов седиментогенеза с выделением соответствующего флюидно-осадочного типа седиментогенеза и его введением в общую систему типов седиментогенеза. В настоящее время общепринятой является классификация Н.М. Страхова [29], где наряду с четырьмя климатическими типами выделен один эндогенный (тектоногенный) – вулканогенно-осадочный, отвечающий «горячим» разгрузкам. Возможность введения в тектоногенную группу Н.М. Страхова еще одного – флюидно-осадочного – типа была аргументирована в работах [13, 11]. Этот тип – флюидный по источнику материала, осадочный по способу его накопления – объединяет широкий комплекс процессов субаквального и субаэрального осадконакопления, в реализации которых ключевую роль играет разгрузка восходящих флюидов. С ее проявлениями связано накопление многих типов преимущественно биохемогенных пород и руд, которые контролируются непосредственно очагами разгрузки и ореолами их влияния, образуясь в результате смешения и взаимодействия разгружающихся флюидов

с водами и газами зон разгрузки, а также в разной мере с компонентами субстрата при активнейшем участии организмов и микроорганизмов.

Заключение

Рассматривая участие восходящих флюидов в процессах осадочного цикла, мы уделили основное внимание процессам седиментогенеза. Вместе с тем очевидна важность более широкого подхода к проблеме: необходимость системного исследования воздействия флюидов на процессы всех стадий (и зон) литогенеза. Ныне имеются многочисленные работы, фиксирующие широчайший спектр флюидных воздействий на процессы диагенеза, катагенеза, гипергенеза ([24, 30, 31] и др.). Важным и эффективным представляется раскрытие всего комплекса различных флюидогенных образований, возникающих на путях восходящей миграции флюидов и на разных уровнях их разгрузки, в качестве целостной системы, анализ пространственно-временных и геохимических взаимосвязей флюидогенных образований разных стадий и зон литогенеза. Одну из первоочередных задач осадочной геологии мы видим в определении зависимостей и корреляций между флюидно-осадочными комплексами зоны седиментогенеза и преимущественно флюидно-метасоматическими образованиями зон диагенеза, катагенеза и гипергенеза.

Еще ряд важных особенностей воздействия флюидов на природную среду и ее экосистемы определяет значительно более широкое междисциплинарное значение фактора «флюидных внедрений». Их способность вызывать значительные (в том числе катастрофические) изменения природной среды и становиться причиной биотических, рудно-геохимических, изотопных и других флюидогенных событий обуславливает необходимость их обязательного учета при обсуждении всех этих и многих других проблем геологии и минерации осадочных бассейнов. Особенно отчетливо выступает связь с флюидно-осадочными ассоциациями проявлений биотических событий и перестроек. В наибольшей мере это относится к типоморфному элементу ассоциаций – черносланцевым комплексам, которые в настоящее время достаточно единодушно признаются индикаторами многих кризисных событий.

Все увереннее обнаруживается избирательная связь с флюидогенными комплексами (часто – локализация в них) разных типов биохомогенных руд, в том числе синседиментационных. Именно эти комплексы во многих осадочных последовательностях являются главными носителями рудных концентраций и геохимических аномалий. Более того, само наличие в осадочных разрезах таких синседиментационных концентраций и аномалий может служить показателем вероятности участия в их генезисе инъекционных палеовоздействий, а также предпосылкой наличия других их проявлений.

Естественно, необходима разработка принципов интеграции традиционных литологических методов с новыми ориентированными на распознавание флюидогенных признаков и связей (тафономическими, палеоэкологическими, событийно-стратиграфическими, палеогидрогеохимическими и литогеодинамическими и др.). Серьезную помощь может оказать методический опыт изучения техногенных катастроф.

В заключение следует подчеркнуть, что перечисленные и некоторые другие аспекты проблемы в разной мере уже освещены во многих публикациях. Однако для вхождения в практику литологических исследований все эти данные требуют апробации, систематизации и дальнейшего целенаправленного развития.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-05-00555).

Summary

G.A. Belenitskaya. A "Fluidal" Field in Lithology: Status, Targets, and Tasks.

The paper is devoted to a topical issue in lithology, i.e. the participation of ascending fluid discharges in sedimentary processes. The current state of the problem is discussed; the most important achievements in the study of the processes of modern and ancient fluidal sedimentogenesis are highlighted. The main tasks for further development of the "fluidal" field of lithology are defined; the ways of their solution are outlined.

Key words: sedimentogenesis, fluids, discharge foci, biocoenoses, cyanobacterial mats, taphocoenoses, geochemical anomalies, isotopic analysis, lithology.

Литература

1. Журн. Всесоюз. хим. о-ва. – 1986. – Т. 31, № 5. – С. 481–587.
2. Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ, парагенезы в системе горючих ископаемых: Тез. докл. Междунар. конф., 2006 г. / Отв. ред. А.Н. Дмитриевский, Б.М. Валяев. – М.: ГЕОС, 2006. – 320 с.
3. Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений (к 100-летию со дня рожд. акад. П.Н. Кропоткина) / Отв. ред. А.Н. Дмитриевский, Б.М. Валяев. – М.: ГЕОС, 2011. – 520 с.
4. *Лисицын А.П.* Вклад эндогенного вещества в океанскую седиментацию // Литология на новом этапе развития геологических знаний. – М.: Наука, 1981. – С. 20–45.
5. *Файф У., Прайс Н., Томпсон А.* Флюиды в земной коре. – М.: Мир, 1981. – 437 с.
6. *Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А.* Субмаринные газовые гидраты. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 1994. – 199 с.
7. *Лукин А.Е.* Литогеодинимические факторы нефтегазонакопления в авлакогенных бассейнах. – Киев: Наукова Думка, 1997. – 224 с.
8. *Блажчишин А.И.* Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в Балтийском море / Под ред. А.А. Гайгаласа. – Калининград: Янтар. Сказ, 1998. – 160 с.
9. *Дмитриевский А.Н., Валяев Б.М.* Углеродородная дегазация через дно океана: локализованные проявления, масштабы, значимость // Дегазация Земли и генезис углеводородных флюидов / Отв. ред. А.Н. Дмитриевский, Б.М. Валяев. – М.: ГЕОС, 2002. – С. 7–36.
10. *Леин А.Ю., Иванов М.В.* Биогеохимический цикл метана в океане. – М.: Наука, 2009. – 576 с.
11. *Беленицкая Г.А.* Типы седиментогенеза: расширенный вариант классификации // Отеч. геология. – 2008. – № 3. – С. 29–45.
12. *Беленицкая Г.А.* Роль глубинных флюидов в осадочном породо- и рудообразовании // Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений (к 100-летию со дня рожд. акад. П.Н. Кропоткина). – М.: ГЕОС, 2011. – С. 143–188.
13. *Беленицкая Г.А.* Осадочные бассейны Земли. Соляная тектоника. Литогенез // Энциклопедический справочник «Планета Земля». Т. 2: Тектоника и геодинамика / Гл. ред. Л.И. Красный. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – С. 189–222, 354–375, 1211–1220.

14. *Беленицкая Г.А., Журавлев А.В., Колокольцев В.Г.* Признаки флюидных палеовоздействий на осадочные процессы в кембро-ордовикских отложениях Балтийского палеобассейна // *Осадочные процессы: седиментогенез, литогенез, рудогенез.* – М., 2006. – Т. 1. – С. 301–303.
15. *Рахманов Р.Р.* Грязевые вулканы и их значение в прогнозировании газонефтеносности недр. – М.: Недра, 1987. – 174 с.
16. *Oli K., Lance S., Sibuet M., Henry P., Fiala-Médioni A., Dinot A.* Cold seep communities as indicators of fluid expulsion patterns through mud volcanoes seaward of the Barbados accretionary prism // *Deep-Sea Res. I.* – 1997. – V. 4, No 5. – P. 811–841.
17. *Шнюков Е.Ф.* Грязевый вулканизм в Черном море // *Геол. журн.* – 1999. – № 2. – С. 38–47.
18. *Холодов В.Н.* Грязевые вулканы: закономерности размещения и генезис // *Литол. и полезн. ископ.* – 2002. – № 3. – С. 227–241; № 4. – С. 339–358.
19. *Лимонов А.Ф.* Грязевые вулканы // *Соросов. образов. журн.* – 2004. – Т. 8, № 1. – С. 41–47.
20. *Milkov A.V.* Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates // *Marine Geol.* – 2000. – V. 167, No 1–2. – P. 29–42.
21. *Trusheim F.* Mechanism of salt migration in Northern Germany // *AAPG Bull.* – 1960. – V. 44, No 9. – P. 1519–1540.
22. *Косыгин Ю.А.* Типы соляных структур платформенных и геосинклинальных областей. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 92 с.
23. *Аникиев К.А.* Аномально высокие пластовые давления в нефтяных и газовых месторождениях. – Л.: Недра, 1964. – 168 с. (Тр. ВНИГРИ. Вып. 233.)
24. *Колокольцев В.Г.* Блочные метасоматиты в осадочных толщах и их диагностика. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. – 96 с.
25. *Беленицкая Г.А.* Последствия нефтяных катастроф глазами седиментолога // *Природа.* – 2010. – № 2. – С. 25–34.
26. *Ritger S., Carson B., Suess E.* Methane-derived authigenic carbonates formed by subduction-induced pore-water expulsion along the Oregon/Washington margin // *Geol. Soc. Am. Bull.* – 1987. – V. 98, No 2. – P. 147–156.
27. *Иванов М.К.* Потоки углеводородных флюидов на глубоководных окраинах и связанные с ними явления // *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология.* – 2000. – № 5. – С. 31–44.
28. *Aloisi G., Pierre C., Rouchy J.-M., Foucher J.-P., Woodside J.* Methane-related authigenic carbonates of eastern Mediterranean Sea mud volcanoes and their possible relation to gas hydrate destabilisation // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 2000. – V. 184, No 1. – P. 321–338.
29. *Страхов Н.М.* Основы теории литогенеза: в 3 т. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 1. – 212 с.
30. *Песков Е.Г.* Геологические проявления холодной дегазации Земли. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. – 279 с.
31. *Юдович Я.Э.* Флюидное минералообразование – альтернатива литогенезу? Обзор // *Урал. геол. журн.* – 2009. – № 4. – С. 31–80.

Поступила в редакцию
31.10.11

Беленицкая Галина Александровна – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург.

E-mail: ankudinovo@mail.ru, Galina_Belenitskaya@vsegei.ru