НЕФТЬ И ГАЗ ПАЛЕОКАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ РИФОВ

Г. А. Максимович

В литературе широко распространено мнение об отрицательном значении карста. Между тем, древние карстовые понижения и пустоты являются вместилищем разнообразных полезных ископаемых (Максимович, 1956). Наибольшее практическое значение имеют залежи нефти, газа и бокситов. Мы остановимся на первых двух ископаемых.

В последнее время добыча нефти из карбонатных отложений составляет 40–60 % мировой. Не менее половины ее извлекается из образованных в прежние геологические эпохи карстовых каверн и полостей. Половина запасов газа крупнейших месторождений капиталистических стран также (приурочена к карбонатным отложениям.

Из нескольких типов залежей нефти и газа мы рассматриваем только приуроченные к рифам. Однако, прежде чем осветить палеокарстовые явления, целесообразно ознакомиться с особенностями карста современных коралловых островов, памятуя при этом, что в палеозое и мезозое были, конечно, несколько иные условия, в деталях отличающиеся от современных. В частности, отложения гуано могли возникнуть на коралловых островах лишь после появления птиц, которых не было в палеозое. Однако основной фактор карстообразования – это вода. Атмосферные осадки были в кембрии и во все последующие геологические периоды. В тропических условиях осадков было много. Отсюда можно предполагать, что в палеозое и мезозое в рифах возникали в общем такие же карстовые формы, как и в настоящее время. Более высокое содержание в воздухе CO_2, которое предполагается в нижнем палеозое, усиливало интенсивность карстообразования.

КАРСТ РИФОВЫХ ИЗВЕСТНЯКОВ

Рифовые известняки в настоящее время представлены коралловыми островами океанов и некоторых морей. Они широко развиты в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах, а также в Красном, Карибском и других морях. Краткие сведения о карсте современных коралловых островов можно найти у И. С. Щукина (1938), Козака (Kosack, 1952), Н. А. Гвоздецкого (1954) и Г. А. Максимовича (1955, 1956, 1960а, б). Более подробно описан карст тех островов, где имеются залежи фосфоритов. При разработке их обнажились подстилающие известняки и доломиты со своеобразными карстовыми формами. Характеристику карста островов мы приводим по данным Е. В. Орловой (1951), Д. В. Наливкина (1955) и Г. А. Максимовича (1960а).

Тихий океан. Многочисленные коралловые острова в экваториальной части Тихого океана закарстованы и являются значительным источником высокосортного фосфатного сырья. Здесь на островах группы Палау (Ангаур, Пелелиу и Токобей), Каролинских (Хейс, Науру, Ошен, или Океан), а также Хауленд, Бейкер, Джарвис, Молден, Эндербери, Лайсен (из группы Гавайских), Макатеа, Кита-Дайто-Дзима и Роза (из группы Рюкю), Клиппертон (у побережья Мексики) и других добываются фосфориты.

Острова Науру и Ошен, наиболее детально изученные, по мнению некоторых исследователей, несколько раз испытывали поднятия и погружения после образования залежей гуано. По нашему мнению, эти острова, очевидно, были подняты до отложений гуано и после того уже не погружались.

Во всяком случае можно считать установленным, что до начала образования современных фосфоритовых залежей эти острова были подняты на значительную высоту, и поверхность их подверглась закарстовыванию. Под действием атмосферных агентов и морской воды поверхность коралловых известняков приобрела карстовый рельеф. Область, в которой расположены фосфоритоносные острова, характеризуется малым количеством осадков. По-видимому, в процессе карстообразования наряду с дождевой водой большое значение имели брызги морской воды, приносимые ветром.

Остров населялся птицами, и вместе с накоплениями гуано возникали и органические кислоты, которые способствовали растворению карбонатов. В результате на поверхности островов образовались узкие гребни и столбы известняков пли доломитов, разделенные такими же узкими глубокими понижениями. Выступы большей частью сложены менее растворимыми доломитами или сильно доломитизированными известняками. Столбы и гребни обычно имеют вертикальные стенки и несколько заостренные вершины. Промежутки между ними часто перекрыты доломитизированными арками, а стенки изъедены прибоем.

В понижениях между доломитовыми столбами и гребнями накопился обломочный материал, состоящий главным образом из коралловых обломков, легкопроницаемых для воды и растворов.

Гуано, отлагавшееся на утесах и в промежутках между ними, служило источником фосфатных растворов, которые частично вызывали фосфатизацию поверхностного слоя доломитовых выступов, частично же пропитывали скопления обломочного материала, накапливавшегося в понижениях, и подстилающие его известняки. Обломочный материал состоял главным образом из арагонита, менее устойчивого, чем кальцит или доломит. Растворы, в которых фосфат находился в виде фосфорнокислого аммония, действуя на карбонаты, превращали их в фосфорит. Процесс замещения шел от поверхности к центру карбонатных зерен.

Приливы, отливы, а также морской прибой во время бурь вызывали постоянное движение обломочного материала и пропитавших его растворов. Они способствовали более равномерной фосфатизации и образованию оолитовой структуры. Наряду с оолитами возникали округлые зерна с радиальной структурой.

Фосфатпзация шла быстрее в мелкозернистых песках п значительно замедлялась там, где в большом количестве встречались крупные обломки и известняки. Иногда в этих крупных обломках растворение извести внутри зерна шло быстрее, чем его фосфатизация, и таким образом в фосфатизированной породе оставались

пустоты. В результате получились наиболее высокосортные фосфориты, в которых отсутствует свободный карбонат. В некоторых случаях впоследствии эти пустоты также заполнялись фосфатом. Фосфатные растворы, проникая через слой обломочного материала, естественно, скапливались в его нижней части и при благоприятных условиях отлагали фосфат, цементировавший зерна образовавшегося ранее фосфорита или кораллового песка.

Косак (Kosack, 1952) указывает, что в Океании господствуют карстовые явления в северных коралловых островах. Они особенно развиты там, где известняки высоко приподняты над уровнем океана. В качестве примера он приводит острова Палау, Атту и др. Полья и воронки имеются на островах Тонга. Исчезающие реки, карры, карстовые источники известны в более древних коралловых известняках островов Новая Каледония и Новая Ирландия (по Косаку, Новый Мекленбург).

Таким образом, карстовые явления развиваются на коралловых островах как при наличии фосфатной коррозии растворов, возникших при прохождении дождевых вод через гуано, так и при обычной карбонатной агрессии атмосферных осадков. Некоторую роль играют и брызги морской воды, приносимой ветром.

В Красном море и Персидском заливе закарстованы известняки коралловых островов.

В Индийском океане залежи фосфоритов известны на закарстованных карбонатных отложениях островов Рождества, а также Жуан-де-Нова (около Мадагаскара).

Фосфориты в подобных же условиях имеются в Карибском море на коралловых островах из группы Малых и Больших Антильских. Это – Кюрасо, Бонайре, Аруба, Авес, Барбуда, Кайман-Брак, Сан-Мартин, Сомбреро, Навасса. Карст коралловых известняков известен и там, где нет залежей гуано и фосфоритов.

По Косаку (Kosack, 1952), на Бермудских островах известны карры, а на Багамских, где известняки приподняты, – карстовые воронки и пещеры.

Своеобразен карст Бермудских островов, расположенных на юго-восточной окраине подводной платформы, представляющей собой срезанную вершину сложенного базальтами конуса вулкана, которая перекрыта толщей морских известняков мощностью до 120 *м* и ракушечных песков эолового происхождения. Ракушечные пески отлагались в четвертичное время. Верхние их горизонты, относящиеся ко времени последнего оледенения, образуют хорошо сохранившиеся и четко выраженные в рельефе дюны.

Карстовый рельеф островов представлен воронками и польями, которые на побережье затоплены и образуют бухты (Каал-Харбор, Брейт-Саун и др.). Наземные водотоки на островах отсутствуют. Берега островов абразионные. На уровне приливов, достигающих 2 *м,* развиты волноприбойные ниши. Выше располагаются пляжи монастырского времени, поднимающиеся на высоту 1,5–2 *м* над уровнем современных волноприбойных ниш. На высоте 2,5–5 *м* развиты ниши и гроты также монастырского времени, а еще выше – на 7,5 *м* – ниши и гроты более древнего возраста.

Ниже уровня современных волноприбойных ниш, на высотах до 2–3 *м* над ур. м. при отливах, располагается площадка с морскими каррами и ямами, заполненными ракушечным песком.

На глубине 9–18 *м* ниже ур. м. встречаются уплотненные отложения пляжа и зона гротов и ниш, образовавшихся при более низком уровне моря во время висконсинского оледенения (Bretz, 1959; Taillefer, 1957).

Современные рифы представляют собой однородную пещеристую массу известняка, пронизанную различными карстовыми ходами и пустотами. В дальнейшем эти полости могут быть заполнены обломками известняка, известковистым песком и илом. Поверхность атоллов плоская и покрыта бесчисленными мелкими карстовыми впадинами, воронками, выступами. У приподнятых над уровнем моря рифов наблюдается типичная поверхность гористой карстовой области, сложенной толщами известняковое крутыми обрывами и скалами.

Затопленные атоллы, судя по плато Пурталес, расположенному вдоль восточного берега Флориды на глубинах до 120–150 *м,* также имеют поверхность, осложненную впадинами, ямами, желобами, заполненными песком и мелкими обломками. Этот карстовый рельеф Д. В. Налпвкпн (1955) объясняет выщелачиванием морскими водами под водой без участия поверхностного выщелачивания. На самом же деле, поскольку атоллы ранее возвышались над уровнем моря, а затем были затоплены, подводным выщелачиванием, расширялись формы, которые образовались во время субаэрального состояния.

В поднятых над уровнем моря коралловых островах поглощаемые понижениями на поверхности атмосферные осадки проникают вглубь и образуют зону вертикальной нисходящей циркуляции карстовых вод. Известняковый массив закарстовывается на значительную глубину. Образуются подземные полости различной формы и размеров. Они возникают за счет имевшихся ранее пустот. В результате коралловые острова на значительную глубину пронизаны разнообразными полостями и являются хорошими коллекторами нефти и газа. Это подтверждается данными бурения. По Д. В. Наливкину (1955), буровые скважины на рифах Тихого океана показали наличие кавернозности и полостей до весьма значительных глубин. Так, на атолле Бикини, по данным пяти скважин, до глубины 20–25 *м* залегает современный пористый риф, местами – плотные кавернозные известняки. Ниже, от 25 до 180 *м,* залегают белые и кремовые пористые рыхлые известняки с водорослями и другими организмами.

На о. Эниветок, расположенном западнее атолла Бикини, пробурено три скважины. Было установлено, что в одной скважине мягкие породы с полостями занимают 70 % всего разреза. Полости занимают 36 *м* и развиты до глубины 900 *м.* Диаметр одной из них 15 *м.* В другой скважине 55 % разреза было сложено мягкими породами с полостями до 2,5 *м* в поперечнике. Эти полости вызывали полную потерю циркуляции бурового раствора. Наиболее глубокая из них находилась на глубине 940 *м.*

На о. Фунафути скважина от 0 до 190 *м* проходила пористый рыхлый известняк с кораллами, известковыми

водорослями, моллюсками и фораминиферами.

Скважина на о. Кита-Дайто-Дзима, находящемся к югу от Японии, на глубине от 0 до 103,5 *м* вскрыла пористый, кавернозный доломитизированный известняк с рифообразующими кораллами, известковыми водорослями и форамийиферами.

На Большом Барьерном рифе пробурено две скважины. Северная на о. Майкелмас прошла 113,5 *м* кораллового рыхлого известняка, который подстилается кварцево-фораминиферовым песком. Южная скважина на о. Герон до 151,8 *м* проходила коралловый рыхлый материал, который подстилается песком.

На шельфе о. Борнео на атолле Маратуя пробурены две скважины. В более глубокой скважине вскрыт коралловый известняк (от 0 до 189 *м*).

Выше мы приводили мощности только верхней рыхлой части коралловых островов, составляющей их центральную часть. Общая же мощность рифовых известняков на о. Эниветок 1266 и 1389 *м,* причем с 180–200 *м* начался миоцен, а с 800–900 *м* – эоцен, продолжавшийся до основания. Олигоценовая фауна не найдена.

На атолле Бикини сейсмометрические наблюдения показали, что основание известковой толщи расположено на глубине 1800–3900 *м.* Наиболее глубокая скважина пробурена до 779 *м.* Третичные отложения начались со 130 *м,* но палеонтологически охарактеризованные плиоценовые отложения встречены на глубине 277,5–281,5 *м.* Начиная с глубины 537 *м,* пройдены породы нижнего миоцена.

Мощность рифовых известняков Тихого океана, превышающая на упомянутых островах 1000 *м,* не характерна для рифовых известняков прошлого, где она в большинстве случаев достигает нескольких сотен метров и обычно не свыше 600–800 *м.*

Комплекс отложений коралловых известняков состоит из собственно рифа, брекчиевидных и конгломератовидных отложении зоны прибоя, зернистых известняков мелководных отложений морского склона рифа и отложений лагун, залегающих среди рифа.

РИФОВЫЕ ПАЛЕОКАРСТОВЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ И ЗАЛЕЖИ НЕФТИ

Рифовые известняки, рассмотренные нами на примере современных, Четвертичных и третичных коралловых островов, образовывались и в прежние геологические эпохи. Они известны, начиная с нижнего палеозоя. Во многих районах СССР и зарубежных стран установлена промышленная нефтеносность рифовых известняков. Мы не ставим перед собой задачи перечислять их. Укажем для примера только некоторые. Таков рифовый массив первенца Волго-Уральской нефтегазоносной области – Верхне-Чусовские городки (Максимович, 1935), где пористость карбонатных отложении изменяется от 0,35 до 13,85 %, а размер каверн достигает 2 *см.*

Значительно лучше изучены рифовые палеокарстовые коллекторы Ишимбая в Башкирии. В. П. Маслов (1945) различает четыре фазы образования рифовых пород, характеризующихся битуминозностью и наличием окружающей гипсоносной толщи (кунгурского яруса перми).

Первая фаза – рост рифа – это образование скелета биогерма. Она заканчивается в Ишимбае заполнением внутренних пустот афанитово-шламмовым цементом. Цемент наблюдается как вокруг скелета мшанок, так и в карманах, пустотах.

Вторая фаза – поднятие рифа на поверхность и закарстовывание. Поднятый движениями земной коры над уровнем моря, риф подвергается воздействию атмосферных осадков и выветриванию. Выветривание расширяет трещины, а осадки стекают по поверхности и проникают в трещины. В результате растворения биогерма и детритусовых известняков на поверхности возникают карры, карстовые воронки и другие формы. В самом рифовом массиве образуются различные карстовые полости, характеристика которых будет дана ниже. Помимо процессов подземного растворения, происходят выпадение карбоната кальция из раствора в виде кальцитовых корочек на скелете рифообразующих организмов и инкрустация вокруг твердых частей. Это обусловливает частичное заполнение полостей.

Третья фаза – растрескивание карбонатных отложений рифа и последующее погружение его под уровень моря. Оно сопровождается частичным разрушением морскими волнами возникших во вторую фазу поверхностных карстовых форм – карр, воронок и др. По В. П. Маслову, это фаза вмывания по трещинам в оставшиеся полости битуминозных и карбонатных пород.

Так, к примеру, проникали по трещинам битуминозные растворы и карбонатные илы в рифе Ишимбая. В результате оставшиеся полости заполнялись битуминозным карбонатом с обломками корочек и организмов. В. П. Маслов считает проникновение обломков результатом дробления тектоническими движениями, а также внедрения морской воды под давлением волн (?) в краевые участки массива.

Четвертая фаза – отложение ангидрита и гипса из растворов лагуны, окружающей риф. Эта фаза характерна только для рифов, находящихся среди лагунных отложений. Погружение рифа Ишимбая под уровень кунгурской лагуны и последующее захоронение под осадками гипсоносных кунгурских отложений сопровождались, по В. П. Маслову, проникновением растворов лагуны по трещинам в более глубокие части массива, где нет битуминозных пород и растворов сульфатов. Ангидрит и гипс, выкристаллизовавшиеся в оставшихся ранее незаполненными пустотах и кавернах известняка, представляют в основном результат выпадения из этих растворов.

Часть гипса и ангидрита, по В. П. Маслову, образовалась, возможно, и другим путем. В некоторых шлифах карбонатных пород погребенных массивов наблюдаются как бы вкрапленные в породу, обычно хорошо ограненные кристаллы гипса. Этот гипс находится в обломках организмов и замещает их участки или же в организмах и цементе образует равномерно рассеянные вкрапления по всей породе.

В одном из шлифов керна с глубины 890,6–892,6 *м* кристаллы гипса внедрились в мелкие обломки кораллов, переполняющих породу, а также находятся в цементе. Обломки кораллов иногда рассекаются кристаллом гипса пополам, а иногда гипс ложится длинной осью вдоль обломка и рядом с ним.

В. П. Маслов дает два объяснения образованию выделений сульфата. Сингенетическое образование гипса на дне и в иле он считает маловероятным и склоняется к гипотезе вторичного его возникновения путем выпадения из растворов, эпигенетически заместивших карбонат в твердой породе.

Карстовые явления в рифовых массивах Башкирии, по В. П. Маслову, сильно замаскированы сложностью структуры. Результаты выщелачивания более наглядны в детритусовых известняках. В обнажениях горы Тратау встречаются карстовые пещерки и каверны поперечником 5 *см* и более, частично или целиком заполненные афанитовым и детритусовым известняками с горизонтальной слоистостью. Они были заполнены под водой. В керне скважин неоднократно встречались пещерки, целиком или частично заполненные битуминозным афанитовым известняком.

Карстообразование В. П. Маслов считает доверхнеартинским. Карстовые ходы документируются и уходом бурового раствора. В заполненных карстовых полостях наблюдаются крустификационный вторичный карбонат, дитритусовый известняк неизвестного возраста и темные битумино-глинисто-карбонатные афанитовые породы предположительно верхнеартинского возраста.

В Южной Франции, в Малых Пиренеях, развиты юрские доломиты различной мощности. В отдельных зонах они пористые, рыхлые, трещиноватые. Пористость обычно – около 10 %, но нередко достигает 18 %. В структуре Сан-Марсе 10 скважин давали по 22 тыс. $м^3$ газа в сутки. Добыча нефти составляла 172 тыс. галлонов[1] в сутки.

В Канаде верхнедевонский риф месторождения Ледюк в штате Альберта имеет форму банки, возвышающейся над дном моря не менее чем на 60 *м.* Длина его – около 20 *км,* ширина – около 8 *км.* Риф сложен серыми и желтоватыми пористыми доломитами и доломитизированными известняками, наибольшая мощность его – около 235 *м.* Мощность нефтеносного горизонта 10 *м.* Другое месторождение Норман-Уэлс, также приуроченное к рифовым известнякам верхнего девона, но в 1500 *км* севернее, характеризуется нефтеносностью рифа (Максимович, 19606; Наливкин, 1955).

В Пермском бассейне США, в штатах Техас и Нью-Мексико, в Делавэрской впадине, имеющей длину около 230 и ширину 160 *км,* развиты пермские отложения. Окаймляющий барьерный риф Кэпитен, сложенный пермскими отложениями, имеет мощность рифогенных известняков до 600 *м.* Он прослеживается на расстоянии 550 *км* при ширине его местами около 25 *км.* Риф имеет почти кольцевое строение. Известняки его отличаются высокой пористостью и кавернозностью. В наиболее богатых коллекторах вследствие сильной закарстованностп совсем не удается получить керн (месторождение Хоббз и др.).

На склонах рифовых массивов или известняковых останцовых поднятий наблюдаются кластические отложения, содержащие много обломков известняка и песчаного материала. Иногда они содержат нефть, хотя и в меньшем количестве, чем известняки, слагающие рифы и останцы.

Мощность продуктивных зон колеблется от 3 до 30 *м,* но изредка доходит до 50 *м.* Пористость в известняках и доломитах очень неравномерна и варьирует от 0 до 30 %. Отдельные пустоты достигают величины грецкого ореха. Встречаются пещеры длиной от 3–5 до 10 *м* (Ейтс, Хоббз), в которые при бурении проваливается инструмент. Образование каверн и пещер в рифовых известняках Кэпитен, погребенных на западном борту Центральной платформы, обусловлено палеокарстовыми процессами. Это подтверждается имевшимся случаем выброса сталактита одной из фонтанирующих скважин в месторождении Хоббз.

Как правило, все пористые известняки отличаются высокой проницаемостью. Уменьшение ее обусловлено отложениями кальцита в порах. Пористые зоны или линзовидны (Хоббз и др.) или следуют напластованию известняка. Между пористыми зонами нередки прослои плотных непроницаемых известняков или песчаных сланцев, изгибающихся в соответствии со структурой и обусловливающих разделение коллектора на отдельные горизонты.

Продуктивные пористые зоны залегают на разных уровнях от кровли пермских известняков и обычно располагаются вблизи нее, часто на расстоянии всего нескольких метров. Иногда же коллекторы находятся на глубине нескольких десятков метров от кровли известняков. Обычно верхняя часть известняков представлена плотной твердой породой, образующей кепрок для нижележащих пористых продуктивных зон.

В месторождении Хоббз первая продуктивная зона находится в 8–9 *м* ниже кровли известняков и имеет мощность около 25 *м.* Она представлена очень пористым и кавернозным известняком и наиболее продуктивна. Вместе с нефтью она содержит много газа. Зона перекрыта кепроком из плотного доломита.

Вторая зона, по названию Кэппс, отделена от первой пятиметровой пачкой непроницаемого песчаного доломита. Эта зона, представленная менее пористым и проницаемым доломитом, содержит в основном нефть.

В месторождении Хендрик в рифовых кавернозных известняках Кэшт- тен, расслоенных линзовидными тонкозернистыми песчаниками и прослоями бентонита, выделяются две пористые зоны, залегающие на глубинах 50–80 и 113–145 *м* от их кровли. Пористые участки встречаются спорадически и обусловлены кавернами растворения и трещинами. Они имеют линзовидный характер. В месторождении Юнис промышленная нефтеносная зона располагается на 210 *м* ниже кровли известняков.

В месторождении Ейтс имеется, по-видимому, пять пористых линзовидных зон, представленных

[1] 1 галлон равен 4,546 *л.*

оолитовыми доломитами и расположенных ступенчато в интервале 70 *м* от кровли известняков Сан-Андрес.

Пермские известняки отличаются очень большой производительностью и высокими дебитами. Здесь было пробурено несколько скважин с начальными дебитами выше 25 тыс. *т/сутки.* Начальные же дебиты в 1–2 тыс. *т/сутки* обычны для Пермского бассейна. В самом богатом в бассейне месторождении Ейтс они превышали 14 тыс. *т/сутки* при неглубоком залегании продуктивных горизонтов. В месторождении Хендрик начальные дебиты доходили до 7–8 тыс. и даже до 13 тыс. *т/сутки,* а в месторождении Хоббз – до 3 тыс. *т/сутки.* В некоторых месторождениях вместе с нефтью получается большое количество газа.

Пермские известняки отличаются не только большим дебитом некоторых скважин, но и обусловили высокую производительность на единицу площади; в месторождении Биг-Лэйк, например, количество добытой нефти из пермских известняков выражается в 8250 *т/га,* в Ейтс – 13 250 *т/га.*

В большинстве месторождений разрабатывается одна основная нефтеносная зона в пористых известняках.

В 1940 г. была обнаружена промышленная нефть в криноидных известняках рифового происхождения, относящихся к свите отроун в месторождении Тодд, находящемся в округе Крокетт, в южной части провинции, в бассейне Черных сланцев. Из этого горизонта с глубины около 1900 *м* было получено нефти 240 *т/сутки* (Успенская, 1950).

Весьма показательна высокая продуктивность рифовых известняков формации Эль-Абра в округе Золотой пояс в Мексике (Бенавидес, 1959). В 1908 г. скв. 3 Сан-Диего (Дос-Бокал) вошла в эксплуатацию. Она давала 33 тыс. $м^3$*/сутки,* а за короткий период с 4 июля по 30 августа было выброшено 1824 тыс. $м^3$ нефти. Скв. 4 Серро-Асуль в 1916 г. имела дебит, достигавший 41 тыс. $м^3$*/сутки.*

Рифовые среднемеловые известняки Эль-Абра имеют пористость за счет пустот в раковинном материале из остатков моллюсков, рудистов и сравнительно немногочисленных кораллов. Более значительна пористость раковинной брекчии. Первичная пористость рифовых известняков была уменьшена цементацией и перекристаллизацией кальцита. Предполагается наличие разломов с подвижками.

В конце верхнего мела в рифовых известняках Золотого пояса сформировался карстовый рельеф. В результате в массиве возникли значительные вторичные каверны и полости, которые благодаря высокой проницаемости и обусловили приведенные выше суточные и суммарные дебиты нефти. Играет роль и весьма большая мощность меловых рифов Эль-Абра. В скв. 35 Хардин она более 2537 *м,* в скв. 4 Арройо-Гранде – 1323 *м* и в скв. Аласак – 110–705 *м.* Именно эксплуатация закарстованных рифовых известняков позволила в свое время (в 1921 г.) Мексике выйти на второе место в мире по добыче нефти.

В СССР в последнее время вновь усилился интерес к палеокарстовым рифовым коллекторам нефти и газа. В Башкирии с 1932 по 1959 г. было открыто 16 месторождений нефти, приуроченных к погребенным сакмаро-артинским рифам. Они располагаются к югу от Ишимбая вдоль восточного склона Русской платформы. Нефть этих месторождений более высокого качества. В ней много газа и светлых фракций и меньше обычного серы и сероводорода.

В 1959 г. в Ишимбаевском Приуралье в Башкирии было открыто три газоконденсатных месторождения: Канчуринское, Мусинскоо и Маячное, а в последующие годы Кунакбаевское и др. Они приурочены к сакмаро-артинским поровым и кавернозным рифам. Предварительные исследования позволили определить расчетный свободный дебит газа только одной скважины Канчуринского рифового массива – 1,43 млн. $м^3$*/сутки* (Левицкий, 1961; Ованесов, Пастухов, Билалов, 1960).

П. А. Софроницкий и И. Х. Абрикосов (1958) считают, что из-за небольших размеров артинских рифов Предуральский прогиб к северу и югу от Верхне-Чусовского месторождения не заслуживает разведки.

В Волгоградской области В. М. Леонтьев (1960) предполагает обнаружить девонские газонефтеносные рифы. Рифы имеются и в Бирской седловине (Мирчинк, Мкртчян, 1961).

Необходимо учитывать, что отпрепарированные эрозией рифы часто образуют палеокарстовые останцы. Это усложняет отделение рифовых коллекторов от останцовых (Максимович, Армишев, 1962).

Рифовые месторождения нефти и газа, по Н. А. Еременко (1961), приурочены к склонам платформ, наклоненным в сторону предгорных прогибов. Это внешние борта прогибов. В настоящее время установлены методы изучения пористости, разработки месторождений, подсчета запасов, поисков рифовых массивов (Белоусова, 1962; Даунинг, 1959; Копытов, 1961; Куликов, 1961; Мелик-Пашаев, 1961; Ованесов, 1956; Теодорович, 1943; Хатьянов, 1960; Шамов, 1959).

Приведенные данные о закарстованности погребенных рифов указывают на их значительную газонефтеносность. Поиски и изучение новых рифов позволят увеличить добычу нефти и газа.

OIL AND GAS OF PALEOKARST REEF CAVITIES

G. A. Maximovich

Summary

Oil from carbonate deposits has lately accounted for about 40–60 % of the total world production. No less than 50 % of this oil is obtained from karst caverns and cavities formed during earlier geological epochs. Half of the resources of gas of the largest oil fields of capitalistic countries too are confined to carbonate deposits. Among the several types of oil and gas pools only those confined to reefs are considered in this article. The distribution of karst of reef limestones (rocent, quaternary and tertiary) and its peculiarities are described from literary data. Reef limestones of former geological epochs arc known from the Lower Paleozoic. To them are confined paleokarst oil and gas collectors. In many regions of the

U. S. S. R. and foreign countries oil and gas resources of commercial importance have been discovered in reef limestones. The data given in this paper on karsted buried reefs indicate a considerable oil and gas content. The search and study of new reefs will allow to increase the production of oil and gas.

ЛИТЕРАТУРА

Бенавидес А. Округ Золотой пояс.– В кн. «XX Междунар. геол, конгресс. Материалы по геологии нефти», т. 3. Северная и Южная Америка. М., Гостоптехиздат,

Белоусова М. Г. О характере зависимости радиационного гамма-излучения от пористости для рифовых известняков Башкирского Приуралья.– Труды Всес. нефтегаз, науч.-исслед. ин-та, вып. 34, 1962.

Гвоздецкий Н. А. Карст. Вопросы общего и регионального карстоведения. Изд. 2. М., Географгиз, 1954.

Даунинг Дж. Рифовая зона Римбей-Сент-Альберт. – В кн. «XX Междунар. геол, конгресс. Материалы по геологии нефти», т. 3. Северная и Южная Америка. М., Гостоптехиздат, 1959.

Еременко Н. А. Классификация месторождений и залежей нефти и газа. – Геол, нефти и газа, 1961, № 3.

Копытов А. В. Особенности подсчета запасов нефти и газа объемным методом в рифовых массивных залежах. – Разведка и охрана недр, 1961, № 4.

Куликов Ф. С. Методика поисков месторождений нефти в Башкирии. – Геол, нефти и газа, 1961, № 9.

Лепицкий П. И. Итоги геологических работ на нефть и газ за 1960 г. по СССР и задачи на 1961 г. – Геол, нефти и газа, 1961, № 2.

Леонтьев В. М. Возможность обнаружения рифов в карбонатной толще франского яруса северной части Волгоградской области. – Геол, нефти и газа, 1960, № 10.

Максимович Г. А. Режим нефтяного месторождения Верхне-Чусовские городки. – Азерб. нефт. хоз-во, 1935, № 5.

Максимович Г. А. Химическая география вод суши. М., Географгиз, 1955.

Максимович Г. А. Генетические типы полезных ископаемых в карстовых пустотах. – В кн. «Тезисы докладов на совещании по изучению карста 30 января – 3 февраля 1956 г.», вып. 9. М., Изд-во АН СССР, 1956.

Максимович Г. А. Карстовый тип месторождений фосфоритов. – Уч. зап. Пермск. ун-та. Докл. геол, фак-та, т. 15, вып. 1, 1960а.

М аксимович Г. А. Полезные ископаемые, связанные с карстом. – В кн. «Карст». М., Изд-во «Знание», 1960,-.

Максимович Г. А., Армишев В. М. Палеокарстовые останцовые коллекторы нефти. – Тат. нефть, 1962, № 4.

Маслов В. П. К вопросу о фазах седиментации и карстообразования погребенных массивов Ишимбая. – Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 1.

Мелик-Пашаев В. С. Единая поверхность водонефтяного контакта – один из основных факторов выделения эксплуатационных объектов. – Геол, нефти и газа, 1961, № 5.

Мирчинк М. Ф., Мкртчян О. М. О рифогенных структурах Бирской седловины. – Докл. АН СССР, нов. серия, 1961, т. 138, № 6.

Наливкин Д. В. Учение о фациях, т. I. М. – Л., Изд-во АН СССР, 1955.

Ованесов Г. П. К вопросу о разработке рифовых месторождений нефти. – Нефт. хез-во, 1956, № 7.

Ованесов Г. П., Пастухов А. Г., Билалов Р. С. Газоконденсатные месторождения Ишимбайского Приуралья. – Геол, нефти и газа, 1960, № 10.

Орлова Е. В. Фосфоритоносные бассейны зарубежных стран. – В кн. «Минеральные ресурсы зарубежных стран», вып. 19. М., Госгеолиздат, 1951.

Софроницкий П. А., Абрикосов И. Х. Перспективы нефтеносности Пермской области. – Геол, нефти и газа, 1958, № 10.

Теодорович Г. И. О коллекторах нефти Ишимбаевско-Стерлитамакского района. – Изв. АН СССР, серия геол., 1943, № 2.

Успенская Н. Ю. Нефтеносность палеозоя Северо-Американской платформы. М. – Л., Гостоптехиздат, 1950.

Хатьянов Ф. И. Геологическое строение южной части Предуральской депрессии и поиски рифовых массивов. – Геол, нефти и газа, 1960, № 7.

Шамов Д. Ф. Условия формирования нефтяных месторождений Предуральской депрессии. – Геол, нефти и газа, 1959, № 8.

Щукин И. С. Общая, морфология суши, т. II. М. – Л., ОНТИ, 1938.

Bretz J. H. Origin of Bermuda caves. – Bull. Geol. Soc. America, 1959, 70, N 12, Part 2.

Kosack H. P. Die Verbreitung der Karst- und Pseudokarsterscheinungen fiber die Erde. – Peterm. Geogr. Mitt., 1952, 96, N 1.

Taillefer F. Les rivages des Bermudes et les formes littorales de dissolution du calcaire. – Cahiers geogr., 1957, N 2, Quebec.

Том XII | Труды Московского общества испытателей природы | 1964
Vol. XII | Transactions of the Moscow Society of Naturalists

НЕФТЬ И ГАЗ ПАЛЕОКАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ РИФОВ

Г. А. Максимович

В литературе широко распространено мнение об отрицательном значении карста. Между тем, древние карстовые понижения и пустоты являются вместилищем разнообразных полезных ископаемых (Максимович, 1956). Наибольшее практическое значение имеют залежи нефти, газа и бокситов. Мы остановимся на первых двух ископаемых.

В последнее время добыча нефти из карбонатных отложений составляет 40—60% мировой. Не менее половины ее извлекается из образованных в прежние геологические эпохи карстовых каверн и полостей. Половина запасов газа крупнейших месторождений капиталистических стран также приурочена к карбонатным отложениям.

Из нескольких типов залежей нефти и газа мы рассматриваем только приуроченные к рифам. Однако, прежде чем осветить палеокарстовые явления, целесообразно ознакомиться с особенностями карста современных коралловых островов, памятуя при этом, что в палеозое и мезозое были, конечно, несколько иные условия, в деталях отличающиеся от современных. В частности, отложения гуано могли возникнуть на коралловых островах лишь после появления птиц, которых не было в палеозое. Однако основной фактор карстообразования — это вода. Атмосферные осадки были в кембрии и во все последующие геологические периоды. В тропических условиях осадков было много. Отсюда можно предполагать, что в палеозое и мезозое в рифах возникали в общем такие же карстовые формы, как и в настоящее время. Более высокое содержание в воздухе CO_2, которое предполагается в нижнем палеозое, усиливало интенсивность карстообразования.

КАРСТ РИФОВЫХ ИЗВЕСТНЯКОВ

Рифовые известняки в настоящее время представлены коралловыми островами океанов и некоторых морей. Они широко развиты в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах, а также в Красном, Карибском и других морях. Краткие сведения о карсте современных коралловых островов можно найти у И. С. Щукина (1938), Козака (Kosack, 1952), Н. А. Гвоздецкого (1954) и Г. А. Максимовича (1955, 1956, 1960$_{а, б}$). Более подробно описан карст тех островов, где имеются залежи фосфоритов. При разработке их обнажились подстилающие известняки и доломиты со своеобразными карстовыми формами. Характеристику карста островов мы приводим по данным Е. В. Орловой (1951), Д. В. Наливкина (1955) и Г. А. Максимовича (1960$_а$).

Тихий океан. Многочисленные коралловые острова в экваториальной части Тихого океана закарстованы и являются значительным источником высокосортного фосфатного сырья. Здесь на островах группы Па-

лау (Ангаур, Пелелиу и Токобей), Каролинских (Хейс, Науру, Ошен, или Океан), а также Хауленд, Бейкер, Джарвис, Молден, Эндербери, Лайсен (из группы Гавайских), Макатеа, Кита-Дайто-Дзима и Роза (из группы Рюкю), Клиппертон (у побережья Мексики) и других добываются фосфориты.

Острова Науру и Ошен, наиболее детально изученные, по мнению некоторых исследователей, несколько раз испытывали поднятия и погружения после образования залежей гуано. По нашему мнению, эти острова, очевидно, были подняты до отложений гуано и после того уже не погружались.

Во всяком случае можно считать установленным, что до начала образования современных фосфоритовых залежей эти острова были подняты на значительную высоту, и поверхность их подверглась закарстовыванию. Под действием атмосферных агентов и морской воды поверхность коралловых известняков приобрела карстовый рельеф. Область, в которой расположены фосфоритоносные острова, характеризуется малым количеством осадков. По-видимому, в процессе карстообразования наряду с дождевой водой большое значение имели брызги морской воды, приносимые ветром.

Остров населялся птицами, и вместе с накоплениями гуано возникали и органические кислоты, которые способствовали растворению карбонатов. В результате на поверхности островов образовались узкие гребни и столбы известняков или доломитов, разделенные такими же узкими глубокими понижениями. Выступы большей частью сложены менее растворимыми доломитами или сильно доломитизированными известняками. Столбы и гребни обычно имеют вертикальные стенки и несколько заостренные вершины. Промежутки между ними часто перекрыты доломитизированными арками, а стенки изъедены прибоем.

В понижениях между доломитовыми столбами и гребнями накопился обломочный материал, состоящий главным образом из коралловых обломков, легкопроницаемых для воды и растворов.

Гуано, отлагавшееся на утесах и в промежутках между ними, служило источником фосфатных растворов, которые частично вызывали фосфатизацию поверхностного слоя доломитовых выступов, частично же пропитывали скопления обломочного материала, накапливавшегося в понижениях, и подстилающие его известняки. Обломочный материал состоял главным образом из арагонита, менее устойчивого, чем кальцит или доломит. Растворы, в которых фосфат находился в виде фосфорнокислого аммония, действуя на карбонаты, превращали их в фосфорит. Процесс замещения шел от поверхности к центру карбонатных зерен.

Приливы, отливы, а также морской прибой во время бурь вызывали постоянное движение обломочного материала и пропитавших его растворов. Они способствовали более равномерной фосфатизации и образованию оолитовой структуры. Наряду с оолитами возникали округлые зерна с радиальной структурой.

Фосфатизация шла быстрее в мелкозернистых песках и значительно замедлялась там, где в большом количестве встречались крупные обломки и известняки. Иногда в этих крупных обломках растворение извести внутри зерна шло быстрее, чем его фосфатизация, и таким образом в фосфатизированной породе оставались пустоты. В результате получились наиболее высокосортные фосфориты, в которых отсутствует свободный карбонат. В некоторых случаях впоследствии эти пустоты также заполнялись фосфатом. Фосфатные растворы, проникая через слой обломочного материала, естественно, скапливались в его нижней части и при благоприятных условиях отлагали фосфат, цементировавший зерна образовавшегося ранее фосфорита или кораллового песка.

Косак (Kosack, 1952) указывает, что в Океании господствуют карстовые явления в северных коралловых островах. Они особенно развиты там,

где известняки высоко приподняты над уровнем океана. В качестве примера он приводит острова Палау, Атту и др. Полья и воронки имеются на островах Тонга. Исчезающие реки, карры, карстовые источники известны в более древних коралловых известняках островов Новая Каледония и Новая Ирландия (по Косаку, Новый Мекленбург).

Таким образом, карстовые явления развиваются на коралловых островах как при наличии фосфатной коррозии растворов, возникших при прохождении дождевых вод через гуано, так и при обычной карбонатной агрессии атмосферных осадков. Некоторую роль играют и брызги морской воды, приносимой ветром.

В Красном море и Персидском заливе закарстованы известняки коралловых островов.

В Индийском океане залежи фосфоритов известны на закарстованных карбонатных отложениях островов Рождества, а также Жуан-де-Нова (около Мадагаскара).

Фосфориты в подобных же условиях имеются в Карибском море на коралловых островах из группы Малых и Больших Антильских. Это — Кюрасо, Бонайре, Аруба, Авес, Барбуда, Кайман-Брак, Сан-Мартин, Сомбреро, Навасса. Карст коралловых известняков известен и там, где нет залежей гуано и фосфоритов.

По Косаку (Kosack, 1952), на Бермудских островах известны карры, а на Багамских, где известняки приподняты,— карстовые воронки и пещеры.

Своеобразен карст Бермудских островов, расположенных на юго-восточной окраине подводной платформы, представляющей собой срезанную вершину сложенного базальтами конуса вулкана, которая перекрыта толщей морских известняков мощностью до 120 *м* и ракушечных песков эолового происхождения. Ракушечные пески отлагались в четвертичное время. Верхние их горизонты, относящиеся ко времени последнего оледенения, образуют хорошо сохранившиеся и четко выраженные в рельефе дюны.

Карстовый рельеф островов представлен воронками и польями, которые на побережье затоплены и образуют бухты (Каал-Харбор, Брейт-Саун и др.). Наземные водотоки на островах отсутствуют. Берега островов абразионные. На уровне приливов, достигающих 2 *м*, развиты волноприбойные ниши. Выше располагаются пляжи монастырского времени, поднимающиеся на высоту 1,5—2 *м* над уровнем современных волноприбойных ниш. На высоте 2,5—5 *м* развиты ниши и гроты также монастырского времени, а еще выше — на 7,5 *м* — ниши и гроты более древнего возраста.

Ниже уровня современных волноприбойных ниш, на высотах до 2—3 *м* над ур. м. при отливах, располагается площадка с морскими каррами и ямами, заполненными ракушечным песком.

На глубине 9—18 *м* ниже ур. м. встречаются уплотненные отложения пляжа и зона гротов и ниш, образовавшихся при более низком уровне моря во время висконсинского оледенения (Bretz, 1959; Taillefer, 1957).

Современные рифы представляют собой однородную пещеристую массу известняка, пронизанную различными карстовыми ходами и пустотами. В дальнейшем эти полости могут быть заполнены обломками известняка, известковистым песком и илом. Поверхность атоллов плоская и покрыта бесчисленными мелкими карстовыми впадинами, воронками, выступами. У приподнятых над уровнем моря рифов наблюдается типичная поверхность гористой карстовой области, сложенной толщами известняков, с крутыми обрывами и скалами.

Затопленные атоллы, судя по плато Пурталес, расположенному вдоль восточного берега Флориды на глубинах до 120—150 *м*, также имеют поверхность, осложненную впадинами, ямами, желобами, заполненными

песком и мелкими обломками. Этот карстовый рельеф Д. В. Наливкин (1955) объясняет выщелачиванием морскими водами под водой без участия поверхностного выщелачивания. На самом же деле, поскольку атоллы ранее возвышались над уровнем моря, а затем были затоплены, подводным выщелачиванием, расширялись формы, которые образовались во время субаэрального состояния.

В поднятых над уровнем моря коралловых островах поглощаемые понижениями на поверхности атмосферные осадки проникают вглубь и образуют зону вертикальной нисходящей циркуляции карстовых вод. Известняковый массив закарстовывается на значительную глубину. Образуются подземные полости различной формы и размеров. Они возникают за счет имевшихся ранее пустот. В результате коралловые острова на значительную глубину пронизаны разнообразными полостями и являются хорошими коллекторами нефти и газа. Это подтверждается данными бурения. По Д. В. Наливкину (1955), буровые скважины на рифах Тихого океана показали наличие кавернозности и полостей до весьма значительных глубин. Так, на атолле Бикини, по данным пяти скважин, до глубины 20—25 *м* залегает современный пористый риф, местами — плотные кавернозные известняки. Ниже, от 25 до 180 *м*, залегают белые и кремовые пористые рыхлые известняки с водорослями и другими организмами.

На о. Эниветок, расположенном западнее атолла Бикини, пробурено три скважины. Было установлено, что в одной скважине мягкие породы с полостями занимают 70% всего разреза. Полости занимают 36 *м* и развиты до глубины 900 *м*. Диаметр одной из них 15 *м*. В другой скважине 55% разреза было сложено мягкими породами с полостями до 2,5 *м* в поперечнике. Эти полости вызывали полную потерю циркуляции бурового раствора. Наиболее глубокая из них находилась на глубине 940 *м*.

На о. Фунафути скважина от 0 до 190 *м* проходила пористый рыхлый известняк с кораллами, известковыми водорослями, моллюсками и фораминиферами.

Скважина на о. Кита-Дайто-Дзима, находящемся к югу от Японии, на глубине от 0 до 103,5 *м* вскрыла пористый, кавернозный доломитизированный известняк с рифообразующими кораллами, известковыми водорослями и фораминиферами.

На Большом Барьерном рифе пробурено две скважины. Северная на о. Майкелмас прошла 113,5 *м* кораллового рыхлого известняка, который подстилается кварцево-фораминиферовым песком. Южная скважина на о. Герон до 151,8 *м* проходила коралловый рыхлый материал, который подстилается песком.

На шельфе о. Борнео на атолле Маратуя пробурены две скважины. В более глубокой скважине вскрыт коралловый известняк (от 0 до 189 *м*).

Выше мы приводили мощности только верхней рыхлой части коралловых островов, составляющей их центральную часть. Общая же мощность рифовых известняков на о. Эниветок 1266 и 1389 *м*, причем с 180—200 *м* начался миоцен, а с 800—900 *м* — эоцен, продолжавшийся до основания. Олигоценовая фауна не найдена.

На атолле Бикини сейсмометрические наблюдения показали, что основание известковой толщи расположено на глубине 1800—3900 *м*. Наиболее глубокая скважина пробурена до 779 *м*. Третичные отложения начались со 130 *м*, но палеонтологически охарактеризованные плиоценовые отложения встречены на глубине 277,5—281,5 *м*. Начиная с глубины 537 *м*, пройдены породы нижнего миоцена.

Мощность рифовых известняков Тихого океана, превышающая на упомянутых островах 1000 *м*, не характерна для рифовых известняков прошлого, где она в большинстве случаев достигает нескольких сотен метров и обычно не свыше 600—800 *м*.

Комплекс отложений коралловых известняков состоит из собственно рифа, брекчиевидных и конгломератовидных отложений зоны прибоя, зернистых известняков мелководных отложений морского склона рифа и отложений лагун, залегающих среди рифа.

РИФОВЫЕ ПАЛЕОКАРСТОВЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ И ЗАЛЕЖИ НЕФТИ

Рифовые известняки, рассмотренные нами на примере современных, четвертичных и третичных коралловых островов, образовывались и в прежние геологические эпохи. Они известны, начиная с нижнего палеозоя. Во многих районах СССР и зарубежных стран установлена промышленная нефтеносность рифовых известняков. Мы не ставим перед собой задачи перечислять их. Укажем для примера только некоторые. Таков рифовый массив первенца Волго-Уральской нефтегазоносной области — Верхне-Чусовские городки (Максимович, 1935), где пористость карбонатных отложений изменяется от 0,35 до 13,85%, а размер каверн достигает 2 *см*.

Значительно лучше изучены рифовые палеокарстовые коллекторы Ишимбая в Башкирии. В. П. Маслов (1945) различает четыре фазы образования рифовых пород, характеризующихся битуминозностью и наличием окружающей гипсоносной толщи (кунгурского яруса перми).

Первая фаза — рост рифа — это образование скелета биогерма. Она заканчивается в Ишимбае заполнением внутренних пустот афанитово-шламмовым цементом. Цемент наблюдается как вокруг скелета мшанок, так и в карманах, пустотах.

Вторая фаза — поднятие рифа на поверхность и закарстовывание. Поднятый движениями земной коры над уровнем моря, риф подвергается воздействию атмосферных осадков и выветриванию. Выветривание расширяет трещины, а осадки стекают по поверхности и проникают в трещины. В результате растворения биогерма и детритусовых известняков на поверхности возникают карры, карстовые воронки и другие формы. В самом рифовом массиве образуются различные карстовые полости, характеристика которых будет дана ниже. Помимо процессов подземного растворения, происходят выпадение карбоната кальция из раствора в виде кальцитовых корочек на скелете рифообразующих организмов и инкрустация вокруг твердых частей. Это обусловливает частичное заполнение полостей.

Третья фаза — растрескивание карбонатных отложений рифа и последующее погружение его под уровень моря. Оно сопровождается частичным разрушением морскими волнами возникших во вторую фазу поверхностных карстовых форм — карр, воронок и др. По В. П. Маслову, это фаза вмывания по трещинам в оставшиеся полости битуминозных и карбонатных пород.

Так, к примеру, проникали по трещинам битуминозные растворы и карбонатные илы в рифе Ишимбая. В результате оставшиеся полости заполнялись битуминозным карбонатом с обломками корочек и организмов. В. П. Маслов считает проникновение обломков результатом дробления тектоническими движениями, а также внедрения морской воды под давлением волн (?) в краевые участки массива.

Четвертая фаза — отложение ангидрита и гипса из растворов лагуны, окружающей риф. Эта фаза характерна только для рифов, находящихся среди лагунных отложений. Погружение рифа Ишимбая под уровень кунгурской лагуны и последующее захоронение под осадками гипсоносных кунгурских отложений сопровождались, по В. П. Маслову, проникновением растворов лагуны по трещинам в более глубокие части массива, где нет битуминозных пород и растворов сульфатов. Ангидрит и гипс, выкристаллизовавшиеся в оставшихся ранее незаполненными пустотах и кавернах известняка, представляют в основном результат выпадения из этих растворов.

Часть гипса и ангидрита, по В. П. Маслову, образовалась, возможно, и другим путем. В некоторых шлифах карбонатных пород погребенных массивов наблюдаются как бы вкрапленные в породу, обычно хорошо ограненные кристаллы гипса. Этот гипс находится в обломках организмов и замещает их участки или же в организмах и цементе образует равномерно рассеянные вкрапления по всей породе.

В одном из шлифов керна с глубины 890,6—892,6 *м* кристаллы гипса внедрились в мелкие обломки кораллов, переполняющих породу, а также находятся в цементе. Обломки кораллов иногда рассекаются кристаллом гипса пополам, а иногда гипс ложится длинной осью вдоль обломка и рядом с ним.

В. П. Маслов дает два объяснения образованию выделений сульфата. Сингенетическое образование гипса на дне и в иле он считает маловероятным и склоняется к гипотезе вторичного его возникновения путем выпадения из растворов, эпигенетически заместивших карбонат в твердой породе.

Карстовые явления в рифовых массивах Башкирии, по В. П. Маслову, сильно замаскированы сложностью структуры. Результаты выщелачивания более наглядны в детритусовых известняках. В обнажениях горы Тратау встречаются карстовые пещерки и каверны поперечником 5 *см* и более, частично или целиком заполненные афанитовым и детритусовым известняками с горизонтальной слоистостью. Они были заполнены под водой. В керне скважин неоднократно встречались пещерки, целиком или частично заполненные битуминозным афанитовым известняком.

Карстообразование В. П. Маслов считает доверхнеартинским. Карстовые ходы документируются и уходом бурового раствора. В заполненных карстовых полостях наблюдаются крустификационный вторичный карбонат, дитритусовый известняк неизвестного возраста и темные битуминоглинисто-карбонатные афанитовые породы предположительно верхнеартинского возраста.

В Южной Франции, в Малых Пиренеях, развиты юрские доломиты различной мощности. В отдельных зонах они пористые, рыхлые, трещиноватые. Пористость обычно — около 10%, но нередко достигает 18%. В структуре Сан-Марсе 10 скважин давали по 22 тыс. $м^3$ газа в сутки. Добыча нефти составляла 172 тыс. галлонов[1] в сутки.

В Канаде верхнедевонский риф месторождения Ледюк в штате Альберта имеет форму банки, возвышающейся над дном моря не менее чем на 60 *м*. Длина его — около 20 *км*, ширина — около 8 *км*. Риф сложен серыми и желтоватыми пористыми доломитами и доломитизированными известняками, наибольшая мощность его — около 235 *м*. Мощность нефтеносного горизонта 10 *м*. Другое месторождение Норман-Уэлс, также приуроченное к рифовым известнякам верхнего девона, но в 1500 *км* севернее, характеризуется нефтеносностью рифа (Максимович, 1960б; Наливкин, 1955).

В Пермском бассейне США, в штатах Техас и Нью-Мексико, в Делаварской впадине, имеющей длину около 230 и ширину 160 *км*, развиты пермские отложения. Окаймляющий барьерный риф Кэпитен, сложенный пермскими отложениями, имеет мощность рифогенных известняков до 600 *м*. Он прослеживается на расстоянии 550 *км* при ширине его местами около 25 *км*. Риф имеет почти кольцевое строение. Известняки его отличаются высокой пористостью и кавернозностью. В наиболее богатых коллекторах вследствие сильной закарстованности совсем не удается получить керн (месторождение Хоббз и др.).

На склонах рифовых массивов или известняковых останцовых поднятий наблюдаются кластические отложения, содержащие много обломков известняка и песчаного материала. Иногда они содержат нефть, хотя и в меньшем количестве, чем известняки, слагающие рифы и останцы.

---

[1] 1 галлон равен 4,546 *л*.

Мощность продуктивных зон колеблется от 3 до 30 *м*, но изредка доходит до 50 *м*. Пористость в известняках и доломитах очень неравномерна и варьирует от 0 до 30%. Отдельные пустоты достигают величины грецкого ореха. Встречаются пещеры длиной от 3—5 до 10 *м* (Ейтс, Хоббз), в которые при бурении проваливается инструмент. Образование каверн и пещер в рифовых известняках Кэпитен, погребенных на западном борту Центральной платформы, обусловлено палеокарстовыми процессами. Это подтверждается имевшимся случаем выброса сталактита одной из фонтанирующих скважин в месторождении Хоббз.

Как правило, все пористые известняки отличаются высокой проницаемостью. Уменьшение ее обусловлено отложениями кальцита в порах. Пористые зоны или линзовидны (Хоббз и др.) или следуют напластованию известняка. Между пористыми зонами нередки прослои плотных непроницаемых известняков или песчаных сланцев, изгибающихся в соответствии со структурой и обусловливающих разделение коллектора на отдельные горизонты.

Продуктивные пористые зоны залегают на разных уровнях от кровли пермских известняков и обычно располагаются вблизи нее, часто на расстоянии всего нескольких метров. Иногда же коллекторы находятся на глубине нескольких десятков метров от кровли известняков. Обычно верхняя часть известняков представлена плотной твердой породой, образующей кепрок для нижележащих пористых продуктивных зон.

В месторождении Хоббз первая продуктивная зона находится в 8—9 *м* ниже кровли известняков и имеет мощность около 25 *м*. Она представлена очень пористым и кавернозным известняком и наиболее продуктивна. Вместе с нефтью она содержит много газа. Зона перекрыта кепроком из плотного доломита.

Вторая зона, по названию Кэппс, отделена от первой пятиметровой пачкой непроницаемого песчаного доломита. Эта зона, представленная менее пористым и проницаемым доломитом, содержит в основном нефть.

В месторождении Хендрик в рифовых кавернозных известняках Кэпитен, расслоенных линзовидными тонкозернистыми песчаниками и прослоями бентонита, выделяются две пористые зоны, залегающие на глубинах 50—80 и 113—145 *м* от их кровли. Пористые участки встречаются спорадически и обусловлены кавернами растворения и трещинами. Они имеют линзовидный характер. В месторождении Юнис промышленная нефтеносная зона располагается на 210 *м* ниже кровли известняков.

В месторождении Ейтс имеется, по-видимому, пять пористых линзовидных зон, представленных оолитовыми доломитами и расположенных ступенчато в интервале 70 *м* от кровли известняков Сан-Андрес.

Пермские известняки отличаются очень большой производительностью и высокими дебитами. Здесь было пробурено несколько скважин с начальными дебитами выше 25 тыс. *т/сутки*. Начальные же дебиты в 1—2 тыс. *т/сутки* обычны для Пермского бассейна. В самом богатом в бассейне месторождении Ейтс они превышали 14 тыс. *т/сутки* при неглубоком залегании продуктивных горизонтов. В месторождении Хендрик начальные дебиты доходили до 7—8 тыс. и даже до 13 тыс. *т/сутки*, а в месторождении Хоббз — до 3 тыс. *т/сутки*. В некоторых месторождениях вместе с нефтью получается большое количество газа.

Пермские известняки отличаются не только большим дебитом некоторых скважин, но и обусловили высокую производительность на единицу площади; в месторождении Биг-Лэйк, например, количество добытой нефти из пермских известняков выражается в 8250 *т/га*, в Ейтс — 13 250 *т/га*.

В большинстве месторождений разрабатывается одна основная нефтеносная зона в пористых известняках.

В 1940 г. была обнаружена промышленная нефть в криноидных известняках рифового происхождения, относящихся к свите отроун в месторож-

дении Тодд, находящемся в округе Крокетт, в южной части провинции, в бассейне Черных сланцев. Из этого горизонта с глубины около 1900 *м* было получено нефти 240 *т/сутки* (Успенская, 1950).

Весьма показательна высокая продуктивность рифовых известняков формации Эль-Абра в округе Золотой пояс в Мексике (Бенавидес, 1959). В 1908 г. скв. 3 Сан-Диего (Дос-Бокал) вошла в эксплуатацию. Она давала 33 тыс. $м^3$/*сутки*, а за короткий период с 4 июля по 30 августа было выброшено 1824 тыс. $м^3$ нефти. Скв. 4 Серро-Асуль в 1916 г. имела дебит, достигавший 41 тыс. $м^3$/*сутки*.

Рифовые среднемеловые известняки Эль-Абра имеют пористость за счет пустот в раковинном материале из остатков моллюсков, рудистов и сравнительно немногочисленных кораллов. Более значительна пористость раковинной брекчии. Первичная пористость рифовых известняков была уменьшена цементацией и перекристаллизацией кальцита. Предполагается наличие разломов с подвижками.

В конце верхнего мела в рифовых известняках Золотого пояса сформировался карстовый рельеф. В результате в массиве возникли значительные вторичные каверны и полости, которые благодаря высокой проницаемости и обусловили приведенные выше суточные и суммарные дебиты нефти. Играет роль и весьма большая мощность меловых рифов Эль-Абра. В скв. 35 Хардин она более 2537 *м*, в скв. 4 Арройо-Гранде — 1323 *м* и в скв. Аласак — 110—705 *м*. Именно эксплуатация закарстованных рифовых известняков позволила в свое время (в 1921 г.) Мексике выйти на второе место в мире по добыче нефти.

В СССР в последнее время вновь усилился интерес к палеокарстовым рифовым коллекторам нефти и газа. В Башкирии с 1932 по 1959 г. было открыто 16 месторождений нефти, приуроченных к погребенным сакмароартинским рифам. Они располагаются к югу от Ишимбая вдоль восточного склона Русской платформы. Нефть этих месторождений более высокого качества. В ней много газа и светлых фракций и меньше обычного серы и сероводорода.

В 1959 г. в Ишимбаевском Приуралье в Башкирии было открыто три газоконденсатных месторождения: Канчуринское, Мусинское и Маячное, а в последующие годы Кунакбаевское и др. Они приурочены к сакмароартинским поровым и кавернозным рифам. Предварительные исследования позволили определить расчетный свободный дебит газа только одной скважины Канчуринского рифового массива — 1,43 млн. $м^3$/*сутки* (Левицкий, 1961; Ованесов, Пастухов, Билалов, 1960).

П. А. Софроницкий и И. Х. Абрикосов (1958) считают, что из-за небольших размеров артинских рифов Предуральский прогиб к северу и югу от Верхне-Чусовского месторождения не заслуживает разведки.

В Волгоградской области В. М. Леонтьев (1960) предполагает обнаружить девонские газонефтеносные рифы. Рифы имеются и в Бирской седловине (Мирчинк, Мкртчян, 1961).

Необходимо учитывать, что отпрепарированные эрозией рифы часто образуют палеокарстовые останцы. Это усложняет отделение рифовых коллекторов от останцовых (Максимович, Армишев, 1962).

Рифовые месторождения нефти и газа, по Н. А. Еременко (1961), приурочены к склонам платформ, наклоненным в сторону предгорных прогибов. Это внешние борта прогибов. В настоящее время установлены методы изучения пористости, разработки месторождений, подсчета запасов, поисков рифовых массивов (Белоусова, 1962; Даунинг, 1959; Копытов, 1961; Куликов, 1961; Мелик-Пашаев, 1961; Ованесов, 1956; Теодорович, 1943; Хатьянов, 1960; Шамов, 1959).

Приведенные данные о закарстованности погребенных рифов указывают на их значительную газонефтеносность. Поиски и изучение новых рифов позволят увеличить добычу нефти и газа.

OIL AND GAS OF PALEOKARST REEF CAVITIES

G. A. Maximovich

Summary

Oil from carbonate deposits has lately accounted for about 40—60% of the total world production. No less than 50% of this oil is obtained from karst caverns and cavities formed during earlier geological epochs. Half of the resources of gas of the largest oil fields of capitalistic countries too are confined to carbonate deposits. Among the several types of oil and gas pools only those confined to reefs are considered in this article. The distribution of karst of reef limestones (rocent, quaternary and tertiary) and its peculiarities are described from literary data. Reef limestones of former geological epochs are known from the Lower Paleozoic. To them are confined paleokarst oil and gas collectors. In many regions of the U. S. S. R. and foreign countries oil and gas resources of commercial importance have been discovered in reef limestones. The data given in this paper on karsted buried reefs indicate a considerable oil and gas content. The search and study of new reefs will allow to increase the production of oil and gas.

ЛИТЕРАТУРА

Бенавидес А. Округ Золотой пояс.— В кн. «XX Междунар. геол. конгресс. Материалы по геологии нефти», т. 3. Северная и Южная Америка. М., Гостоптехиздат, 1959.

Белоусова М. Г. О характере зависимости радиационного гамма-излучения от пористости для рифовых известняков Башкирского Приуралья.— Труды Всес. нефтегаз. науч.-исслед. ин-та, вып. 34, 1962.

Гвоздецкий Н. А. Карст. Вопросы общего и регионального карстоведения. Изд. 2. М., Географгиз, 1954.

Даунинг Дж. Рифовая зона Римбей-Сент-Альберт.— В кн. «XX Междунар. геол. конгресс. Материалы по геологии нефти», т. 3. Северная и Южная Америка. М., Гостоптехиздат, 1959.

Еременко Н. А. Классификация месторождений и залежей нефти и газа.— Геол. нефти и газа, 1961, № 3.

Копытов А. В. Особенности подсчета запасов нефти и газа объемным методом в рифовых массивных залежах.— Разведка и охрана недр, 1961, № 4.

Куликов Ф. С. Методика поисков месторождений нефти в Башкирии.— Геол. нефти и газа, 1961, № 9.

Лепицкий П. И. Итоги геологических работ на нефть и газ за 1960 г. по СССР и задачи на 1961 г.— Геол. нефти и газа, 1961, № 2.

Леонтьев В. М. Возможность обнаружения рифов в карбонатной толще франского яруса северной части Волгоградской области.— Геол. нефти и газа, 1960, № 10.

Максимович Г. А. Режим нефтяного месторождения Верхне-Чусовские городки.— Азерб. нефт. хоз-во, 1935, № 5.

Максимович Г. А. Химическая география вод суши. М., Географгиз, 1955.

Максимович Г. А. Генетические типы полезных ископаемых в карстовых пустотах.— В кн. «Тезисы докладов на совещании по изучению карста 30 января — 3 февраля 1956 г.», вып. 9. М., Изд-во АН СССР, 1956.

Максимович Г. А. Карстовый тип месторождений фосфоритов.— Уч. зап. Пермск. ун-та. Докл. геол. фак-та, т. 15, вып. 1, 1960а.

Максимович Г. А. Полезные ископаемые, связанные с карстом.— В кн. «Карст». М., Изд-во «Знание», 1960б.

Максимович Г. А., Армишев В. М. Палеокарстовые останцовые коллекторы нефти.— Тат. нефть, 1962, № 4.

Маслов В. П. К вопросу о фазах седиментации и карстообразования погребенных массивов Ишимбая.— Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 1.

Мелик-Пашаев В. С. Единая поверхность водонефтяного контакта — один из основных факторов выделения эксплуатационных объектов.— Геол. нефти и газа, 1961, № 5.

Мирчинк М. Ф., Мкртчян О. М. О рифогенных структурах Бирской седловины.— Докл. АН СССР, нов. серия, 1961, т. 138, № 6.

Наливкин Д. В. Учение о фациях, т. I. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1955.

Ованесов Г. П. К вопросу о разработке рифовых месторождений нефти.— Нефт. хоз-во, 1956, № 7.

Ованесов Г. П., Пастухов А. Г., Билалов Р. С. Газоконденсатные месторождения Ишимбайского Приуралья.— Геол. нефти и газа, 1960, № 10.
Орлова Е. В. Фосфоритоносные бассейны зарубежных стран.— В кн. «Минеральные ресурсы зарубежных стран», вып. 19. М., Госгеолиздат, 1951.
Софроницкий П. А., Абрикосов И. Х. Перспективы нефтеносности Пермской области.— Геол. нефти и газа, 1958, № 10.
Теодорович Г. И. О коллекторах нефти Ишимбаевско-Стерлитамакского района.— Изв. АН СССР, серия геол., 1943, № 2.
Успенская Н. Ю. Нефтеносность палеозоя Северо-Американской платформы. М.— Л., Гостоптехиздат, 1950.
Хатьянов Ф. И. Геологическое строение южной части Предуральской депрессии и поиски рифовых массивов.— Геол. нефти и газа, 1960, № 7.
Шамов Д. Ф. Условия формирования нефтяных месторождений Предуральской депрессии.— Геол. нефти и газа, 1959, № 8.
Щукин И. С. Общая морфология суши, т. II. М.— Л., ОНТИ, 1938.
Bretz J. H. Origin of Bermuda caves.— Bull. Geol. Soc. America, 1959, **70**, N 12, Part 2.
Kosack H. P. Die Verbreitung der Karst- und Pseudokarsterscheinungen über die Erde.— Peterm. Geogr. Mitt., 1952, **96**, N 1.
Taillefer F. Les rivages des Bermudes et les formes littorales de dissolution du calcaire.— Cahiers géogr., 1957, N 2, Quebec.