

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ ЗАПАДНОГО ТЕХАСА*



АЛЕКС БАРАК¹ –
президент



АНАТОЛИЙ БАЖАЛ – академик
Украинской нефтегазовой академии,
главный научный консультант.

GALEX Energy Corporation
3033 Chimney Rock Road, suite 605
Houston, TX 77056

Крупнейшие нефтяные бассейны Западного Техаса, относящиеся к геологическим провинциям Мексиканского залива и Пермского бассейна, такие, как Делавэр, Мидлэнд, Вал Верде, Керр, широко известны.

Поднятия Ллано, Централ, Педернал и другие, относящиеся к Пермскому бассейну, одному из старейших в США с точки зрения разработки, недавно получили новый импульс развития в связи с подтвержденными гигантскими запасами сланцевой нефти (*рисунок 1*).

Относительно новые бассейны провинции Игл Форд получили известность в связи с широким применением технологии мультиступенчатого гидроразрыва для добычи газа и нефти из сланцевых коллекторов.

Приурочена к этим бассейнам и аккумуляция нефти в вышележащих отложениях преимущественно мелового возраста, расположенных на малых глубинах. Эти скопления нефти образовались в результате как природной, так и техногенной миграции нефти из более глубоко залегающих нефтематеринских пород палеозойского возраста.

*По просьбе редакции журнала авторы данной статьи делятся новым опытом научно-технологического решения разработки неглубокозалегающих пластов природных битумов и высоковязких нефтей. Актуальность этой публикации очевидна, так как подобных месторождений в мире предостаточно, в том числе и в Республике Казахстан. (Прим. гл. ред.)

Суммарные геологические запасы таких залежей могут достигать гигантских размеров, измеряемых сотнями миллионов, миллиардами и даже десятками миллиардов баррелей. Аккумуляция нефти, как правило, происходит в зонах повышенной пористости, например в руслах и дельтах палеорек, в локальных поднятиях, раздробленных карбонатных образованиях мелких водоемов мелового возраста, солянокупольных структурах, зонах микровулканической активности и др.

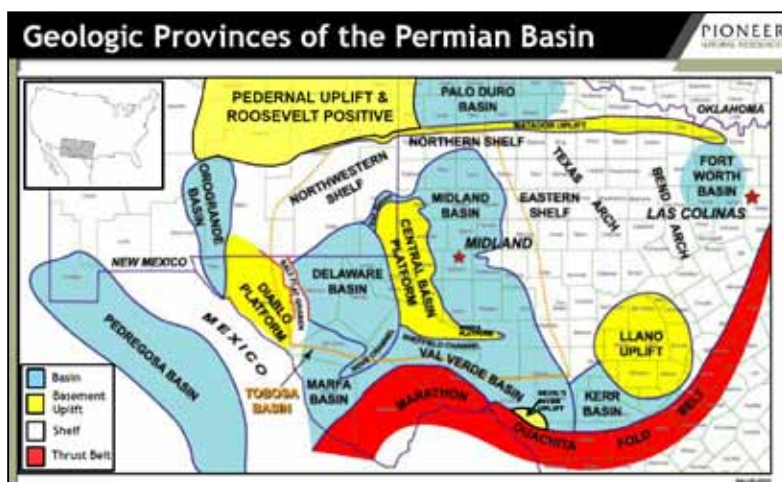


Рисунок 1 – Нефтяные районы Пермского бассейна

О наличии таких залежей известно с начала прошлого века. Промышленная разработка их велась только в зонах выхода нефти на дневную поверхность в виде битума.

Многочисленные попытки скважинной разработки залежей успеха, как правило, не имели и к широкому развитию не привели.

Проблемы нефтеизвлечения, подготовки и транспортировки имеют исключительно геолого-технологическую природу. Нефть малых глубин, часто не имеющая надежного экрана, является деградировавшей, высокоокисленной, тяжелой, высоковязкой и высокосернистой, залегает в низкотемпературных условиях, обладает дефицитом пластовой энергии. Все перечисленное обуславливает проблемы ее дренирования в пластовых условиях и сложность извлечения общепринятыми в индустрии технологиями.

Термические методы извлечения, разработанные для Канадских нефтяных песков, объективно затратны и зачастую неприменимы для рассматриваемых условий. Кроме того, высоковязкая нефть, добытая тепловыми методами, требует дополнительных усилий и затрат по поддержанию температуры при ее подготовке, очистке и транспортировке, что накладывает дополнительные требования к инфраструктуре и существенно удорожает процесс.

¹Автор для переписки. E-mail: alex.barak5@gmail.com

Обилие легкодоступной нефти и традиционно высокие прибыли нефтедобычи на протяжении длительного времени никак не стимулировали развитие эффективных технологий добычи тяжелой и высоковязкой нефти в Западном Техасе. Только в последнее время из-за резкого падения мировых цен на сырую нефть и возникших в связи с этим перспектив резкого сокращения добычи за счет остановки дорогостоящих проектов возникла потребность в низкзатратных технологиях эффективной добычи нефти взамен дорогостоящей сланцевой.

Месторождение Вордлоу расположено в центральной части достаточно крупного геологического бассейна Вал Верде, для которого характерны аналогичные условия приповерхностной аккумуляции нефти. Бассейн Вал Верде занимает территорию порядка 1000 квадратных миль и покрывает значительные части кантонов Эдвардс, Вал-Верде, Саттон и Крокетт. О наличии нефти в пластах мелового возраста в этом районе известно очень давно, но ввиду отсутствия коммерческого интереса, связанного с проблемами нефтеизвлечения, поиски нефти здесь велись бессистемно.

На *рисунке 2* отображены примерные границы аккумуляции нефти Вал Верде Шаллоу Ойл.



Рисунок 2 – Распространение аккумуляции приповерхностной нефти Вал Верде Шаллоу Ойл в поднятой части бассейна Вал Верде

Очевидно, что аккумуляция нефти в рассматриваемом районе имеет непосредственное отношение к Пермскому нефтяному бассейну, занимающему территорию значительной части штатов Техас и Нью Мексико.

На территории Пермского бассейна имеется еще несколько подобных аккумуляций как природной, так и техногенной миграции. Нефть аккумулирована в пластах меловой группы вплоть до карбонатных отложений Глен Роуз. Эти отложения имеют сплошное и обширное простираение и, поскольку известняки и доломиты

Глен Роуз являются гидрофильными, есть предположение, что они послужили барьером, ограничившим миграцию нефти к поверхности.

Глен Роуз в основном известен как горизонт, содержащий пресную воду, и является зачастую единственным источником пресной воды для множественных охотничьих и животноводческих ранчо этой части Техаса.

Вода имеется далеко не везде, и поисками ее местное население занимается с очень давних времен. Собственно, эти поиски и привели к открытию нефтяных отложений, расположенных в нижележащих горизонтах.

В регионе бытует распространенное мнение о том, что в отличие от воды нефть вскрывается практически всеми скважинами, пробуренными ниже водоносного пласта карбонатных отложений Глен Роуз. Однако, поскольку системные исследования в этом направлении не проводились, это мнение требует подтверждения. В случае его подтверждения перспективные геологические ресурсы бассейна Вал Верде могут быть оценены в магнитуде 8–12 млрд баррелей нефти. На *рисунке 3* отображены корреляции двух скважин по профилю север – юг и четырех скважин по профилю восток – запад.

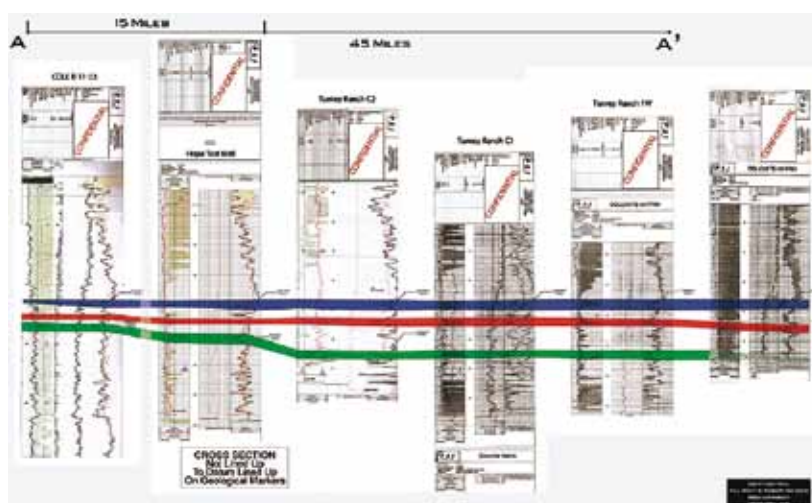


Рисунок 3 – Корреляция нефтяных пластов, в скрытых скважинами на двух профилях

Имеется ряд характерных особенностей залегания нефти, обуславливающих проблемы ее эффективной добычи. В первую очередь это колоссальный дефицит пластовой энергии. За исключением отдельных скважин, в подавляющем большинстве случаев статический уровень нефти в свободном состоянии не поднимается выше 200 футов от поверхности при глубине кровли вскрытия порядка 260 футов (80 м).

Естественно, что общепринятыми в индустрии методами создания депрессии путем снижения уровня жидкости в затрубье никаких значимых условий для отбора нефти из прискважинной зоны пласта создать невозможно. Для этой

цели необходимо предусматривать искусственные механизмы создания глубокой депрессии на пласт, вплоть до значительных отрицательных величин.

Понятно, что даже тщательно спланированный и профессионально реализованный этот механизм способен лишь решить задачу отбора нефти непосредственно из скважины и из прискважинной зоны – так называемой «зоны накопления». Задачу же создания пластовой энергии, обеспечивающей дренирование нефти внутри массива, этот механизм решить не в состоянии.

Проблема усугубляется литологическими, петрофизическими и минералогическими особенностями вмещающих и облегающих пород, а также физико-химическими свойствами нефти, о чем упоминалось выше.

На протяжении более семидесяти лет и по настоящее время предпринимались многочисленные попытки нахождения эффективных решений добычи нефти из залегающих на малых глубинах меловых отложений (доломиты и песчаники) бассейна Вал Верде. Практически все известные и подтвержденные в мире технологии добычи нефти, залегающей на малой глубине, в том числе технологии добычи тяжелой и высоковязкой нефти, работающие в Калифорнии, Канаде, Венесуэле и России, были опробованы в этом регионе, но успехов не имели.

Следовательно, ключ к решению проблемы разработки нефтяных залежей бассейна лежит в создании принципиально новых подходов и технологических решений.

Компания ACCORD GR Energy, Inc. была образована в сентябре 2015 г. как нефтесылающая компания США в целях коммерческой реализации технологий GALEX Energy Corporation. (www.galexenergy.com).

В июле-августе 2016 г. произошло слияние компании ACCORD GR Energy и Канадской публичной компании MCW Energy Group (www.mcwenergygroup.com), торгующейся на биржах TSX, Toronto и OTC, New York. В результате слияния MCW стала владельцем более 50% акций компании ACCORD.

В ноябре 2015 г. компания ACCORD подписала контракт на приобретение месторождения нефти Вордлоу и прилегающего блока в кантоне Эдвардс размером 7 тыс. акров с перспективными геологическими ресурсами, по подсчетам независимой консалтинговой компании J.R. Butler & Company, 168,7 млн баррелей нефти. Нефть месторождения тяжелая, безводная, с удельным весом +/-0,95 и вязкая, с глубиной залегания 75–80 м.

Нефтенасыщенная порода подсчетного горизонта – брекчиевидный доломит, мелкодисперсный песчаник. Пластовое давление порядка 3 кг/см², что обуславливает дефицит пластового давления 60% к нормальному.

Ниже, примерно до глубины 270 м, отмечается чередование глин, нефтенасыщенных песчаников и сланцев, однако ресурсы нефти в них не подсчитаны.

О наличии нефти в горизонте было известно с начала XX в., промышленное же освоение месторождения началось в 1947 г. К 1989 г. было пробурено порядка 200 скважин сеткой 30×100 м. Средний входной дебит на скважину составлял 3-10 барр./сут., а по отдельным скважинам до 100 барр./сут.

В течение 6–10 недель дебиты интенсивно снижались до 0,1–3,0 барр./сут. Далее снижение продолжалось более плавно, вплоть до перехода в накопительный режим. За все годы эксплуатации было добыто суммарно порядка 100 000 барр. нефти. Максимальный КИН по отдельным участкам достигнут, по нашим оценкам, на уровне 6–8%. При этом скважины были выработаны до полного истощения. На момент приобретения месторождения оно было остановлено и не эксплуатировалось по причине убыточности.

В процессе принятия решения о приобретении актива было сделано предположение о том, что добытая за годы эксплуатации нефть являлась трещинной, т.е. изначально содержащейся в трещинах между отдельностями брекчиевидного доломита и песчаника. Такая нефть может быть легко извлечена вытеснением закачиваемыми агентами, например, газом, водой, воздухом и т.д. При этом нефть, содержащаяся в порах матрицы массива, при продвижении агента по трещинам остается неподвижной из-за дефицита порового давления.

Анализ керна, представленный в отчетах, подтвердил факт нефтенасыщенности матрицы массива на уровне +/-55% и пористости в диапазоне 12–29% при проницаемости на уровне долей или единиц мДа. Таким образом, были получены свидетельства того, что при высокой пористости межпоровые трещины в матрице отсутствуют либо являются «залеченными» известняком или глиной.

В комплексную задачу команды GALEX и ACCORD входило:

- а) подтвердить наличие нефти в выработанном участке месторождения;
- б) создать объемную проницаемость в матрице массива;
- в) оценить добычные возможности скважин в условиях новой проницаемости;
- г) разработать механизм перемещения нефти из пор матрицы в каналы и трещины массива и дальнейшего ее извлечения;
- д) создать механизм интенсивного дренирования нефти в межскважинном пространстве и массиве в целом;
- е) оценить технико-экономические параметры добычи для заложения в модель разработки месторождения;
- ж) осуществить двух-трехмесячную эксплуатацию опытного участка с установившимся дебитом.

Для решения поставленной задачи был выбран наиболее истощенный опытный участок, разработан двухэтапный процесс технологического воздействия на пласт и изготовлено опытное оборудование, адаптированное к техническим условиям проекта.

На первом этапе требовалось создать новую проницаемость матрицы пилотного участка массива посредством ее дилатантного разуплотнения и образования объемной сетки микротрещин на участке воздействия. Для этой цели была использована технология волнового воздействия SWEPT.

До начала волнового воздействия из скважин была откачана вся накопившаяся за период длительной остановки нефть. Для этой цели была применена технология *huff-and-puff*, состоящая из циклической закачки воздуха в пласт

с набором давления и после непродолжительной паузы под давлением быстрый сброс давления и откачка нефти при помощи аэролифта или штангового насоса.

После откачки накопленной нефти и замеров предварительных суточных дебитов скважин специалисты перешли непосредственно к волновым обработкам в течение двух недель. После двухнедельного периодического воздействия была проведена оценка полученных результатов. На *рисунке 4* отображен весь цикл описанного процесса.

Для чистоты эксперимента и получения достоверных сравнительных результатов для добычи была применена та же технология, что и при подготовке к воздействию.

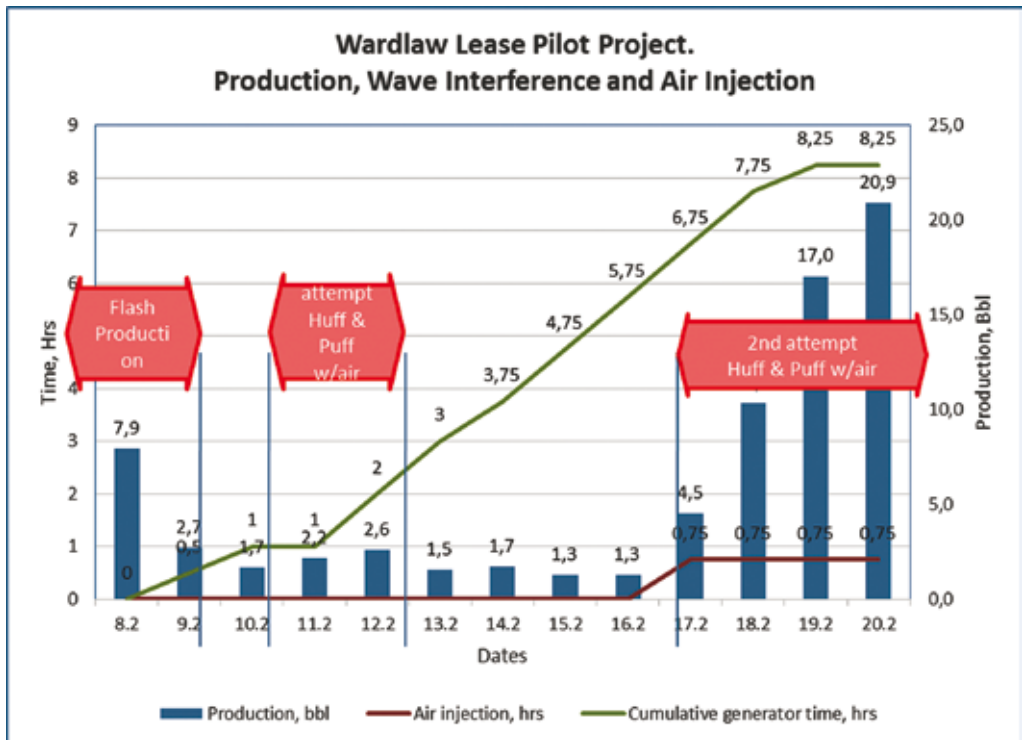


Рисунок 4 – Показатели работы скважин до и после воздействия SWEPT

Скважины пилотного участка, полностью истощенные многолетней эксплуатацией и находящиеся в непосредственной близости к скважинам волнового воздействия, продемонстрировали значительные добычные возможности и тем самым подтвердили наличие в матрице массива нефти и возможности ее извлечения. Было достигнуто дилатантное разуплотнение матрицы за счет создания микротрещинной сетки, и нефть изолированных пор матрицы была вовлечена в общую систему нефтеотдачи. Добычные возможности скважин при этом были подтверждены на уровне 10–25 барр./сут. при наличии пластовой энергии (*рисунке 5*).



Рисунок 5 – Кривая зависимости дебита скважины от давления нагнетания



Рисунок 6 – Генератор SWEPT на скважине Вордлоу

Таким образом, задача первого этапа проекта, состоявшая в создании матричной проницаемости, была успешно решена. Нефтяной горизонт пилотного участка массива приобрел новую проницаемость, следовательно, подтвердились возможности нефтеизвлечения. Были получены все основания для вывода, что результаты успешного завершения второго этапа пилотного проекта, а именно добычные возможности скважин, КИН, экономические параметры разработки залежи, подтвердят высокую эффективность разработки месторождения при любых рыночных ценах на нефть.

На *рисунке 6* представлена фотография волнового генератора SWEPT, установленного на одной из скважин воздействия. Волновое воздей-

ствие осуществлялось инкрементно с вариацией режимов для подбора волнового согласования на всех границах перехода сред.

Задача второго этапа пилотного проекта – создание избыточной пластовой энергии на пилотном участке массива, компенсация дефицита порового давления и образование условий для интенсивного дренажа нефти в направлениях пора-канал – скважина – устье скважины. Эта задача решается при помощи комплекса технологий, в основе которых лежат технологии SWEPT и S-BRPT

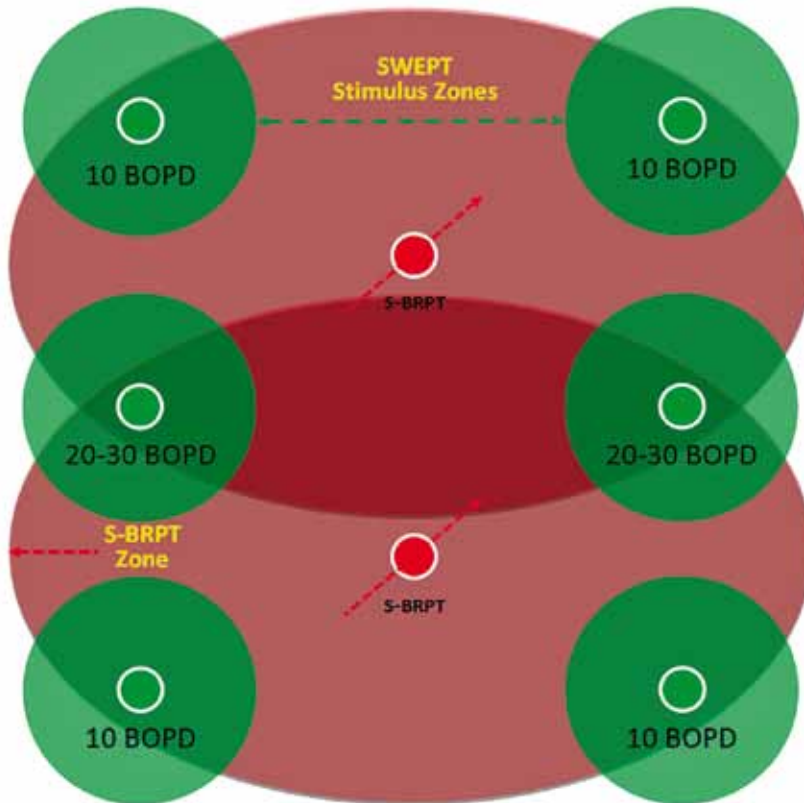


Рисунок 7 – Сдвоенная 5-точечная схема расположения скважин 2-го этапа пилотного проекта

На рисунке 7 отображена принципиальная схема комплексного воздействия и отработки при сдвоенной 5-точечной ячейке скважин. Зеленым цветом обозначены откачные скважины, в которых одновременно с отработкой проводится волновое воздействие с постепенным расширением и с одновременным увеличением степени трещинности зон дилатантного разуплотнения матрицы массива и вовлечение ранее изолированных пор в процесс нефтеотдачи.

Волны конфигурируются таким образом, чтобы вектор потока был направлен в сторону откачной скважины. Управление потоком дренирования жидкости по пласту, как было отмечено выше, является одной из важных составляющих комплексной технологии.

Красным и розовым цветами изображены соответственно скважины и зоны воздействия технологии S-BRPT. Эти скважины решают задачу создания пластовой энергии для вытеснения нефти из зон как трещинной, так и кавернозной пористости и достижения максимального КИН.

В дальнейшем методика разработки месторождения может совершенствоваться с применением технологий совместно-раздельной эксплуатации пластов, горизонтального мультилатерального бурения и других прогрессивных технологий и достижений последнего времени.

Второй этап подтверждения эффективности технологии является скорее инженерно-технической, нежели научной задачей. В регионе работ, как отмечалось выше, накоплен богатый опыт опробования различных технологий воздействия на пласт, связанных с вытеснением пластового флюида. Были получены обнадеживающие результаты по многократному увеличению дебитов скважин.

Эффект, как уже упоминалось, носил непродолжительный характер в связи с тем, что извлекалась только трещинная нефть, поскольку предварительно не была решена проблема создания объемной проницаемости матрицы массива.

Доля трещинной нефти в общем балансе запасов составляет 5-15%, поэтому ресурс конкретной скважины быстро иссякал и она ликвидировалась. Тем не менее все необходимые геолого-технические параметры, вся прочая информация, требуемая для расчетов воздействия, была собрана, систематизирована и интерпретирована.

Таким образом, задача второго этапа сводится к инженерному планированию и профессиональной реализации плана.

Ключевым достижением команды GALEX/ACCORD является именно решение проблемы создания проницаемости матрицы массива. Решив проблему вытеснения нефти из порового пространства матрицы, ACCORD рассчитывает достичь КИН залежи на уровне 60% и выше.

Экономика разработки месторождения Вордлоу и аналогичных месторождений в бассейне Вал Верде Шаллоу Ойл выглядит многообещающе. Малая глубина залегания обеспечивает низкие капитальные затраты на бурение и обустройство даже при густой сетке скважин. По оценкам компании, себестоимость нефти с учетом всех затрат не превысит 10 долл. за баррель, что делает проект исключительно конкурентоспособным.

В ближайшие планы компании ACCORD помимо интенсивной разработки месторождения Вордлоу входит расширение ресурсной базы за счет приобретения прав недропользования в бассейнах Вал Верде Шаллоу Ойл, Маверик Хэви Ойл, Асфалт Ридж и других в штатах Техас и Юта. Для этой цели планируется инвестировать более 200 млн долл.

В лаборатории GALEX наряду с технологиями SWEPT и S-BRPT для добычи высоковязких нефтей и природных битумов, в том числе залегающих на малых глубинах, на стадии готовности к полевым испытаниям находится следующие технологии:

- S-SHOT, позволяющая без гидроразрывов осваивать залежи сланцевых углеводородов;
- SWIT, позволяющая кардинально снизить водоприток при добыче высоковязких нефтей; технология впервые успешно опробована в Казахстане на месторождении Кенбай, участок Молдабек Восточный, и с тех пор была значительно усовершенствована;
- SISG, позволяющая синтезировать на месте залегания с последующей их добычей жидкие и газообразные углеводороды из углей;
- ряд других технологий как из нефтегазовой отрасли, так и из других областей, в том числе и из области производства возобновляемых источников энергии (SWEM).

Дополнительную информацию по вопросам деятельности компаний ACCORD GR Energy, Inc. и GALEX Energy Corporation, а также по вопросам инвестиций можно получить на сайте www.galexenergy.com, а также по адресам: info@galexenergy.com; ambarak@accord.energy; alex.barak5@gmail.com