

## НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ — РЕЗЕРВ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ СТАРЫХ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ

Республика Татарстан является наиболее богатым районом Волго-Уральской нефтегазоносной провинции страны, занимающей обширное пространство между Уралом и Волгой. Здесь доказана промышленная нефтегазоносность 26 и перспективная нефтегазоносность 6 стратиграфических горизонтов, открыто 96 нефтяных месторождений, объединяющих более 2800 залежей, выявлено около 150 месторождений природных битумов. Выявлены основные закономерности размещения и формирования залежей нефти, изучены особенности геологического строения недр, оценены перспективы различных комплексов пород в отдельных районах республики, определены прогнозные и перспективные запасы нефти и битумов.

Татарстан имеет также месторождения битума, угля, бентонита, ангидрита, гипса, гравия, торфа, фосфорита, минеральных вод и грязей.

За многолетнюю историю нефтепоисковых работ на территории Татарстана пробурено около 8 млн. м глубокого разведочного и 8,17 млн. м мелкого структурно-картировочного бурения. Отработано около 85 тыс. км сейсмопрофилей. Выполнен большой объем работ легкими методами полевой геофизики.

Все это позволило создать мощную сырьевую базу в республике и обеспечить высокие темпы развития нефтяной промышленности.

Исследованиями доказано, что для достижения проектной нефтеотдачи необходимо внедрение отработанных систем контроля и регулирования процессов разработки, доведения удельной плотности сетки (УПС) до 17,6 га/скв., обеспечить широкое внедрение гидродинамических методов увеличения нефтеотдачи (МУН), автоматизация системы контроля и регулирования.

Для повышения нефтеотдачи сверх проектного уровня необходимо поднять коэффициент охвата заводнением, что можно сделать за счет широкого применения освоенных гидродинамических и третичных МУН и дальнейшего их совершенствования. Для этого необходимо дальнейшее совершенствование современных МУН, широкое внедрение

автоматизированных систем контроля и управления выработкой пластов, разработать эффективные методы первичного вскрытия пластов, довести УПС до 15 га/скв., обеспечить широкое внедрение отработанных третичных МУН, как для вытеснения нефти из частично заводненных пластов, так и для доотмыва из заводненных пластов. При этом нефтеотдача может возрасти до 60%.

О возможности увеличения добычи нефти сверх проектного уровня говорят многочисленные факты бурения и эксплуатации скважин в заводненных зонах с применением современных методов контроля и регулирования процессов разработки. Примером является участок Центрально-Азнакаевской площади, представленный высокопродуктивными пластами а, б<sub>1+2</sub> с проницаемостью 0,9 мкм<sup>2</sup>, начальными балансовыми запасами (НБЗ) 13870 тыс. тонн. В 1983 г. на части этого участка проводились опытно-промышленные работы (ОПР) по мицеллярно-полимерному заводнению, за счет которого дополнительно было добыто всего 13,5 тыс. т нефти. Затем после извлечения 57,8% НБЗ были пробурены восемь скважин для определения возможности добычи нефти из заводненных зон методами регулирования. Всего за 12 лет здесь по восьми скважинам дополнительно добыто 211 тыс. тонн нефти (26,7 тыс. т/скв.), а с учетом четырех скважин участка мицеллярно-полимерного заводнения дополнительная добыча достигла 347,3 тыс. тонн (26,7 тыс. т/скв.), нефтеотдача составила 61,7%. Всего за весь срок разработки участка за счет бурения уплотняющих скважин дополнительно добыто 360 тыс. т нефти (15 тыс. т/скв.). В настоящее время здесь работает 7 скважин с общей добычей 70,8 т/сут нефти при обводненности 94,7%.

Однако в силу объективных закономерностей, вследствие истощения запасов высокпродуктивных месторождений, добыча нефти в республике в течение 19 лет упала от уровня 100 млн. до 25 млн. тонн в год, и в течение более 5 лет была стабилизирована на уровне 25-26 млн. тонн в год.

Стабилизация и даже некоторый рост добычи нефти на поздней стадии разработки основных месторождений региона была достигнута за счет ввода в разработку дополнительных ресурсов нефти.

Для этого применялись как традиционные, так и нетрадиционные подходы, рис. 1.

Во-первых, путем использования традиционных подходов, поисков новых и в основном доразведки действующих нефтяных месторождений. Причем в последние годы роль доразведки эксплуатируемых месторождений существенно возросла и обеспечила основной прирост запасов нефти.

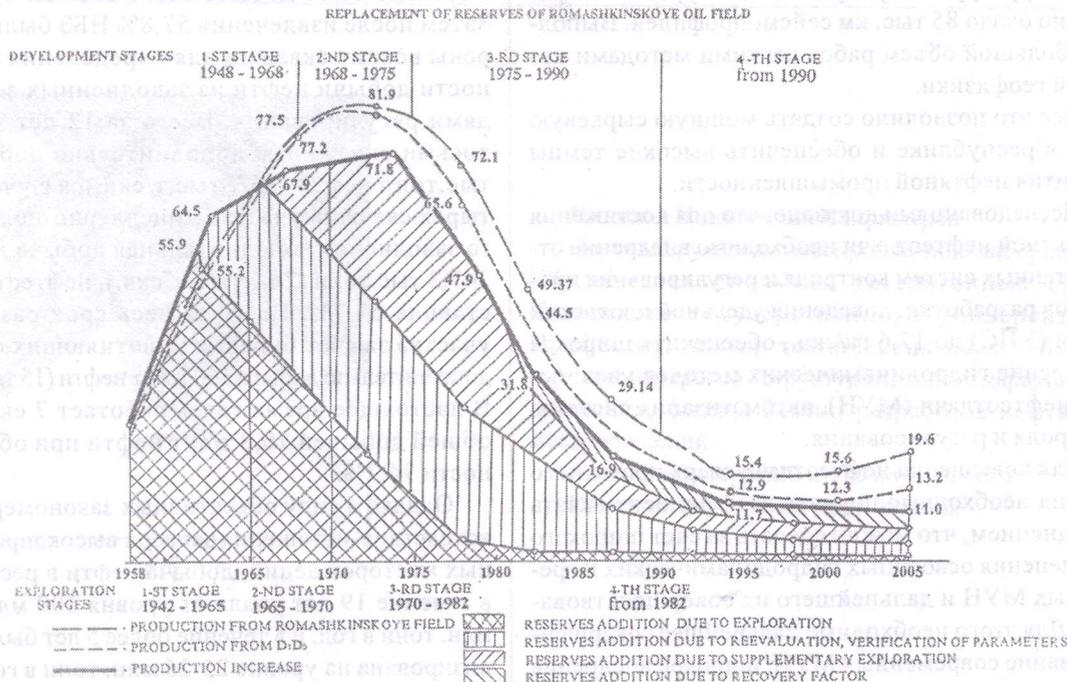
Во-вторых, за счет ввода в активную разработку так называемых трудноизвлекаемых запасов, которые при традиционных технологиях либо не вырабатывались, либо эксплуатировались крайне низкими темпами. Для этого в Татарстане была внедрена новая комплексная система разработки залежей с трудноизвлекаемыми запасами. Суть ее в следующем. Применение научно обоснованного выделения эксплуатационных объектов, способов определения систем размещения и плотности сетки скважин, различных систем нестационарного (циклического) заводнения с изменением направления фильтрационных потоков жидкости в пласте в сочетании со специальными избирательными, замкнутыми, приконтурными, межконтур-

ными системами вытеснения обработанной химреагентами или высокоминерализованной (пластовой или сточной водой), внедрение более эффективных методов первичного и бесперфораторного вторичного вскрытия пластов, оптимизация забойных и пластовых давлений. Применение арсенала методов стимуляции скважин (каверн-накопителей нефти, направленных соляно-кислотных обработок и др.), физических (депресссионные, вибрационно-волновые, перфорационные и гидроразрыв пласта), тепловых и термохимических (термогазохимические - ТХО, стационарный электропрогрев призабойной зоны), широкое внедрение систем разработки с горизонтальными скважинами.

Сейсмоакустическое воздействие. Оно основано на использовании упругих волн. При воздействии возникает сейсмоакустическая эмиссия, сопровождаемая возникновением трещин, подвижек и изменением напряженного состояния пород.

В зависимости от интенсивности воздействия упругих колебаний на пласт, состояния напряженности пород пластов в районе скважин участка воздействия происходит разуплотнение или уплотнение отдельных маленьких участков. Соответственно наблюдается увеличение или уменьшение дебитов отдельных скважин. Возникновение новых

Рис. 1 Воспроизводство запасов Ромашкинского месторождения



трещин на участках, не вовлеченных в эксплуатацию или менее выработанных, чем окружающие пласты-коллекторы, приводит к снижению обводненности, увеличению охвата выработкой и, соответственно, к увеличению коэффициента извлечения нефти.

Этот метод в АО "Татнефть" применяется с 1995 года, проведено 67 обработок, получено 450 тыс. тонн дополнительной нефти. Удельная эффективность 6,7 тыс. тонн на одну обработку.

Краткая характеристика участка сейсмоакустического воздействия на скв. № 7696 Ташлиярской площади. Дата проведения мероприятия - июль 1995г.

Участок представлен зоной частично заводненных песчаников. Средняя обводненность участка на момент воздействия была 91,7%. Средняя нефтенасыщенная мощность - 4,7 м, пористость - 20,4%, абсолютная проницаемость - 570 мд. Начальные балансовые запасы участка составляют 3890 тыс. тонн нефти. Отобрано от НИЗ на 1.07.95г. - 94,2%, текущий КИН - 0,572.

Количество окружающих реагирующих скважин 15. Из них сразу после проведения воздействия эффект был обнаружен на 7 скважинах, на остальных чуть позднее, но прореагировали все скважины. Средняя обводненность участка в августе 1995 года была 86,8%, т.е. снизилась на 4,9%. Наибольший эффект был получен на самой скважине 7696 - по ней на 1.08.97 г. дополнительно добыто 12247 тонн нефти. Из окружающих скважин больший эффект получен на скважинах с абсолютной проницаемостью более 570 мд и обводненностью менее 90%.

В целом по участку за весь период (с июля 1995 г. по июль 1997 г.) дополнительно добыто 47497 тонн нефти, что составляет 53% от общей добычи по участку. По состоянию на 1.08.97 г. на всех реагирующих скважинах обводненность продукции незначительно снизилась или осталась на прежнем уровне. Средняя обводненность составила 85,3%. Отобрано от НИЗ - 97,5%, текущий КИН равен 0,593. На 1.08.97 г. на участке осталось 11 скважин, на которых продолжается действие сейсмоакустики, 4 скважины (№№ 7740, 7741, 7742, 14600) в связи с пуском под закачку скважину № 14371 исключены из участка, рис. 2.

Применение новой комплексной системы позволяет обеспечить ввод в разработку практически всех открытых в республике месторождений, эк-

сплуатация которых при обычных методах разработки нерентабельна.

Полимерное заводнение - это технологически простой и высокоэффективный метод повышения нефтеотдачи пластов, основанный на добавке к воде небольшого количества водорастворимых полимеров при обычном заводнении нефтяных пластов.

Сущность метода заключается в изменении соотношения подвижностей вытесняющей жидкости и пластовой нефти вследствие увеличения вязкости закачиваемой воды за счет содержания в ней высокомолекулярных полимеров. Увеличение вязкости и снижение подвижности воды способствует выравниванию фронта вытеснения, замедляя ее продвижение в высокопроницаемых зонах, уменьшая вязкостное языкообразование. Эти факторы вызывают повышение коэффициента охвата и вытеснения при заводнении. Размер отсрочки полимерного раствора составляет 10-30% от количества первоначально содержащейся нефти в пласте. Отсрочку раствора полимера можно закачивать на любой стадии разработки, но наибольший эффект получается при применении на начальной стадии.

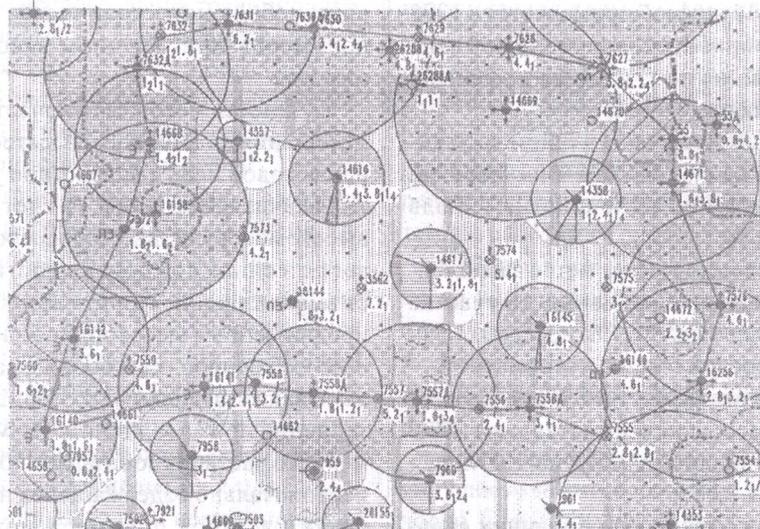
В осложненных геолого-физических условиях залежей (резкая неоднородность пласта по проницаемости, наличие высокопроницаемых зон, трещин, повышенная вязкость нефти и, как следствие, ранняя обводненность скважин) применяется воздействие на пласт сшитыми полимерными системами (СПС).

Сущность метода с применением СПС заключается в добавке к раствору полиакриламида небольшого количества (сотые доли процента) сшивающего агента, под действием которого происходит структурирование ("сшивка") макромолекул полимера в пористой среде с образованием геля в зонах высокой проницаемости пласта или в трещинах, куда, в основном, проникает СПС при закачке в скважину.

С 1993 года метод СПС применен на 34 нагнетательных скважинах (7 участков). На 1 т закачанного раствора получено от 250 до 10500 тонн нефти.

Комплексная система уже внедрена на многих месторождениях, она дала крупный экономический эффект. Эта технология позволяет повысить темпы разработки трудноизвлекаемых запасов до 3-5% в год от начальных извлекаемых запасов (НИЗ) при высоком КИН - коэффициент нефтеизв-

Рис. 2 Тавлиярская площадь  
участок I по выработке остаточных запасов нефти из заводненной зоны



-  - высокопродуктивный коллектор
-  - высокопродуктивный коллектор с глинистостью > 2%
-  - слабопроницаемый коллектор
-  - частично заводненная зона
-  - заводненная зона
-  - вода добывающая скважина
-  - нефть
-  - нагнетательная скважина

лечения до 30-40%. За счет ее внедрения дополнительно добыто 355 млн. тонн нефти. Работа была удостоена Государственной премии Республики Татарстан.

Одновременно с этими, ставшими уже традиционными, были использованы и нетрадиционные подходы увеличения ресурсной базы развития регионов, особенно с длительной историей разработки месторождений. Для этого специально созданным в г.Казани научно-исследовательским центром трудноизвлекаемых нефтей и природных битумов было изучено состояние остаточных нефтей длительно разрабатываемых месторождений. На основании этого на месторождениях Татарстана широко применяются прогрессивные МУН. Они

включают две группы методов: вторичные (гидродинамические) и третичные.

К первой группе относятся: нестационарное заводнение с изменением фильтрационных потоков жидкости в пласте, форсированный отбор жидкости, ввод недренируемых запасов и геолого-физические методы увеличения нефтеотдачи (комплекс вторичных МУН, где эти методы по различным причинам ранее не применялись - заводнение в карбонатных коллекторах, залежах высоковязкой нефти, слабопроницаемых пластах). Этими методами в республике добыто более 400 млн. тонн нефти и ежегодно добывается более 6 млн. т нефти.

Третичными МУН охвачено более 400 млн. тонн запасов, извлекаемые запасы увеличены на 30 млн.

тонн, добыто около 35 млн. тонн нефти.

Внедряются или испытываются практически все известные (вплоть до микробиологических) из отечественной или зарубежной практики МУН - более 30 технологий. Наиболее широко применяются физико-химические методы.

Доказано, что для наших условий наиболее эффективны и экологически безопасны следующие МУН: полимерное заводнение, закачка эфиров целлюлозы, полимерно-дисперсных систем, чередующаяся закачка нефти и воды.

Тепловые методы для залежей высоковязких нефтей перспективны при условии решения ряда технических и экологических проблем, но еще более эти МУН перспективны для залежей природных битумов.

Применение эфиров целлюлозы основано на добавке к закачиваемой воде простых эфиров целлюлозы, в частности оксиэтилцеллюлозы. Достоинством метода является возможность применения в поздней стадии разработки, а также простота исполнения и достаточно высокая эффективность.

Водные растворы эфиров целлюлозы обладают связывающей, эмульгирующей, смачивающей и адгезионной способностями и имеют вязкость от 4 до 300 мПа·с. В скважину эфиры целлюлозы закачиваются в виде эмульсии.

При применении эфиров целлюлозы без сшивателя на относительно ранней стадии заводнения происходит загущение закачиваемой воды без образования гидрогеля. На этой стадии в результате снижения подвижности закачиваемого агента имеет место общее выравнивание фронта вытеснения нефти без языкообразного прорыва воды. Тем самым предотвращается образование весьма узких протяженных хорошо промытых зон с высокой проницаемостью. В результате повышается степень охвата пласта заводнением.

На поздней стадии разработки при высокой степени обводненности под воздействием ионов металла, содержащихся в пластовой воде, происходит образование гидрогеля. Подвижность геля снижается особенно на участках, где закачивается пластовая (сточная) вода, а также при приготовлении раствора эфиров целлюлозы на минерализованной воде. Для образования более стойких (неподвижных) гидрогелей могут применяться сшиватели.

В результате образования малоподвижных и неподвижных гелей происходит блокирование поступления воды в промытые зоны пласта и направ-

ление рабочего агента в зоны, практически не охваченные воздействием. Благодаря закачке достаточно больших объемов раствора целлюлозы (2000 м<sup>3</sup> и более) перераспределение фильтрационных потоков происходит не только в призабойной зоне скважины, но и на достаточно большом удалении от скважины.

Закачка ЭЦ на промыслах республики началась в 1979 г. Были испытаны метилметилцеллюлозы, гидроксицеллюлозы, карбоксилметилцеллюлозы. Наиболее эффективными оказались оксиэтилцеллюлозы (ОЭЦ), широкое применение которых началось с 1992 г. На 1.07.1997 г. в 220 скважинах закачено около 4140 т ОЭЦ и добыто 1225 тыс. т дополнительной нефти.

Проведенными работами показано, что извлечение части остаточных запасов (названных слабоизмененными) позволяет обеспечить существенное увеличение нефтеотдачи по сравнению с проектной.

Достижение нефтеотдачи 0,6-0,7 возможно при применении прежде всего гидродинамических МУН в сочетании с автоматизированной системой контроля и управления выработкой запасов (АСКУ ВП), разработанной в Казанском государственном университете под руководством профессора Неприимерова Н.Н., а также новых физико-химических МУН и новых методов стимуляции скважин.

Наиболее эффективна закачка пластовой воды, обеспечивающая приемистость скважин при давлениях 100-150 атм.

Интересные данные получены по Абдрахмановской площади: алевролиты толщиной 0,6-0,8 м стабильно принимают пластовую воду (30-40 м<sup>3</sup>/сут при P<sub>y</sub> - 160 атм.), дебит жидкости добывающих скважин до 5 м<sup>3</sup>/сут.

Для изучения влияния вытесняющего агента - воды различного химического состава - на вовлечение в разработку коллекторов с различным содержанием мелкопелитовой фракции (глинистые коллектора) выбраны опытные участки. Минерализация закачиваемой воды на этих участках изменяется от пресной до пластовой. На Абдрахмановской площади - закачка пластовой воды, на Западно-Ленинградской - пресной, на Азнакаевской - сточной, на Восточно-Ленинградской - пластовой воды методом скважинного перепуска (МСП).

Проведенные промысловые эксперименты убеждают в том, что для заводнения малопродуктивных и продуктивных коллекторов с глинистос-

тью более 2% следует рекомендовать пластовую или сточную воду, лучше пластовую. В соответствии с полученными результатами необходимо в корне изменить технологию разработки малопродуктивных и высокопродуктивных глинистых коллекторов. Закачка пластовой воды требует создания новой концепции обустройства залежей с бурением специальных скважин для забора пластовой воды.

Принципиально новым может стать технология разработки нефтяных месторождений горизонтальными скважинами. В Татарстане пробурено около 150 горизонтальных скважин. Их дебиты в среднем в 2,4 раза выше, чем вертикальных (а по ряду скважин в 5-6 раз). Составлено более 50 проектов разработки с применением горизонтальных скважин (проектный фонд более 1000 скважин - 40% общего числа проектных скважин). Именно применение систем разработки с горизонтальными скважинами позволяет существенно повысить технико-экономические показатели разработки, добычи нефти и нефтеотдачу. Основная проблема - правильное размещение добывающих и нагнетательных скважин в соответствии с особенностями геологического строения залежей. Здесь нужны новые методы исследований.

Несмотря на потенциальные возможности увеличения извлечения остаточных запасов нефтяных

месторождений, альтернативные источники углеводородного сырья приобретают особый интерес.

Одним из нетрадиционных источников углеводородного сырья являются природные битумы.

В РТ сосредоточены значительные запасы и ресурсы ПБ, разработка которых может внести существенный вклад в объем добычи нефти, в производство нефтепродуктов и расширение их ассортимента.

Природные битумы по своему составу и физико-химическим свойствам существенно отличаются от обычных нефтей. Среди этих отличий необходимо отметить: повышенное содержание асфальтенов, смол, нефтяных кислот, сернистых соединений и металлов, высокие значения плотности и вязкости, низкое содержание парафина.

В Татарстане с 1978 г. ведутся опытно-промышленные работы по скважинным методам добычи природных битумов.

За период опытно-промышленной разработки месторождений ПБ разработаны и прошли апробацию пять технологий (внутрипластовое горение, тепловое воздействие закачкой пара, тепловое воздействие закачкой парогаса, низкотемпературное окисление, кратковременное внутрипластовое горение с последующей закачкой в нагнетательную скважину пара).

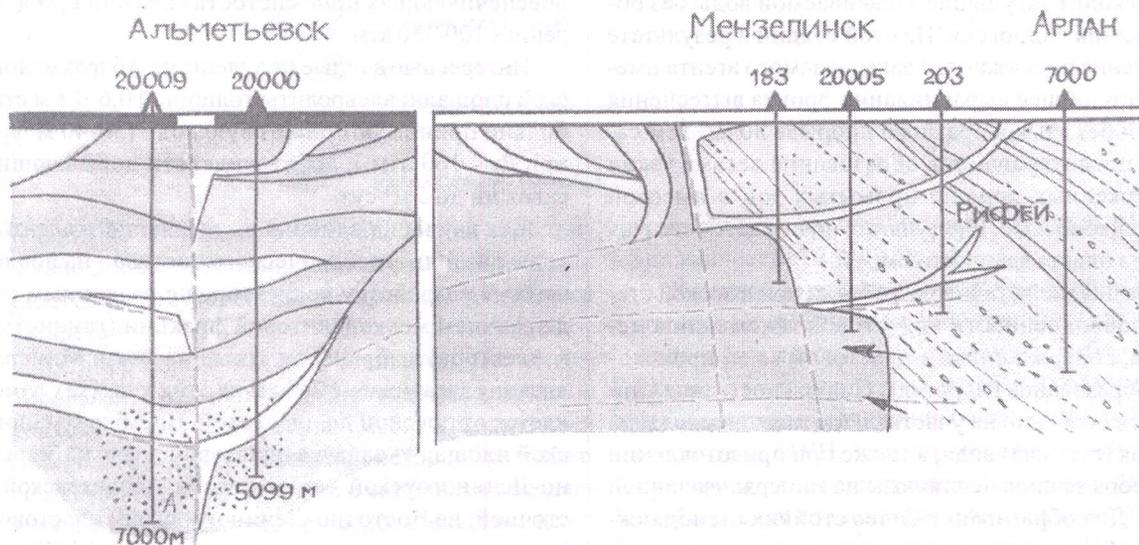


Рис. 3 Профильный разрез кристаллического фундамента Татарского свода (боковая миграция углеводородов.)

Наиболее отработанной технологией является метод внутрислоевого горения. Проектная битумоотдача за счет применения внутрислоевого горения - 0,34.

Следующим геологическим объектом изучения для восполнения ресурсов углеводородов могут служить породы кристаллического основания как молодых, так и древних платформенных областей.

На территории Татарстана проводится обширный комплекс научно-исследовательских и практических работ по изучению вещественного состава и строения фундамента. Исследования показывают, что имеется целый ряд благоприятных факторов, которые позволяют надеяться на успех поисковых работ нефти и газа в кристаллическом фундаменте, рис. 3.

Эти исследования с бурением двух сверхглубоких скважин со вскрытием пород кристаллического фундамента на большую глубину (до 3,5 км по породам фундамента) показывают наличие разуплотненных флюидоносных интервалов в докембрийском кристаллическом комплексе Татарстана на глубинах более 5 км. В выявленных разуплотненных зонах отмечено присутствие пластовых вод с растворенным газом.

Таким образом, есть основание полагать, что в толщах докембрийского кристаллического фундамента Татарстана могут быть выявлены промышленные скопления нефти и газа. Для этого необходимо продолжить поисковые работы, в первую очередь - разбуривание и изучение метода сейсмолокации бокового обзора СЛБО зон с максимальной трещиноватостью.

Следующим нетрадиционным направлением является поиск нефти и газа в реологических залежах. Реологические свойства нефти, газа и горных

пород обеспечивают образование особого типа покрышек - реологических барьеров, являющихся частным случаем физико-химических барьеров. Под этими барьерами возможно образование реологических залежей. В татарстане особый интерес в этом отношении представляют результаты исследований франско-фаменской зоны с аномально низким пластовым давлением (АНПД) на Ромашкинском месторождении.

К необходимости развивать нетрадиционные объекты нефтепоисковых работ пришли и американские геологи. Так, вице-президент "Мобил-ойл" Дж.Д.Муди считает, что "успешное открытие нефти в будущих десятилетиях будет зависеть от новых вдохновляющих идей", его соотечественник У.Э.Пратт утверждает, что "только благодаря новым идеям американские геологи достигли значительных успехов в поисках нефти и газа, в результате чего их страна длительное время занимала ведущее место в мире по добыче этих полезных ископаемых. Эти высокие результаты были достигнуты благодаря проверке идей многих геологов. Очень часто скважины бурились в местах, где по господствующим ранее представлениям, не должно было быть нефти, но разведчики находили ее".

Французский геолог А.Буйо по поводу поздней стадии ведения разведочных работ отмечал: "Раньше мы вели разведку на новых площадях, руководствуясь старыми идеями, а сейчас нужно находить нефть на старых площадях на основании новых идей".

Новые нетрадиционные подходы к восполнению ресурсов углеводородного сырья в старых нефтедобывающих районах успешно используются геологами и технологами Татарстана в современных условиях перехода к рыночным отношениям.



### Ренат Халиуллович Муслимов

Государственный советник при Президенте Республики Татарстан по вопросам недропользования нефти и газа. Профессор, доктор геолого-минералогических наук. Почетный член Хьюстонского геологического общества (США), академик РАЕН и других научных обществ.

Область научных интересов - поиски, разведка, разработка нефтяных и битумных месторождений, использование и освоение нетрадиционных источников углеводородного сырья, новые методы увеличения нефтеотдачи.

Имеет более 300 опубликованных работ и 91 изобретение.