ПЕРСПЕКТИВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В XXI ВЕКЕ

Н.П. Запивалов
Новосибирский центр Российской Академии естественных наук, г. Новосибирск

Светлой памяти
Михаила Калинковича Коровина
и 60-летию Института горного дела СО РАН
посвящается

М.К. Коровин обосновал перспективность огромной территории, предложил бурение опорных скважин в Западной Сибири и заслуженно был в числе первых лауреатов Ленинской премии 1964 г. (посмертно) за нефть и газ Западной Сибири.

Западносибирский нефтегазовый феномен, созданный во второй половине XX столетия, остается таковым и в XXI веке. Устойчивое перспективное развитие нефтегазового комплекса могут обеспечить новые крупные геологические открытия и новые запасы. Пока расширенного воспроизводства запасов нет. Альтернативой является эффективное освоение имеющихся месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Необходима разработка научных концепций и новых технологий освоения таких запасов. Остаточная нефть содержится в целиках различных размеров. Активная фильтрация нефти из целиков является следствием преодоления геолого-технологического порога – изменения флюидодинамического равновесия между капиллярными эффектами и гидродинамическими силами. Автор предпочитает реабилитационные циклы с перспективой постоянного поддержания промысловых параметров и увеличения конечного коэффициента извлечения нефти.

Человечеству нужно много нефти и газа. В мире ежегодно добывается и потребляется более 3 млрд т нефти. Через 10-15 лет общемировая добыча составит 6 млрд т в год. С 2000 по 2004 гг. добыча нефти в мире увеличилась на 7.1 %, а потребление возросло на 7.5 %. Нефть по-прежнему остается стержнем экономики, политики и бескомпромиссных столкновений. Вряд ли нефть и газ будут иссякать и исчезать из набора насущных потребностей человечества, равно как и воздух, вода, рис, хлеб и т.д. [1]. Предполагаемые ресурсы и разведанные запасы нефти и газа в мире все время увеличиваются. Сейчас они составляют 150 млрд т нефти и 150 триллионов м^3 газа.

Темпы и объемы добычи нефти в мире, в СССР и России показаны в таблице 1.

Эта динамика показывает, что в девяностые годы (после распада СССР) резко упала добыча нефти во всех регионах России и, особенно, в Западной Сибири. Однако уже в начале XXI века обозначился необычайный подъем (по объему и темпам) добычи нефти со всеми вытекающими последствиями в экономике и стратегическом развитии [2]. Например, рост добычи нефти в 2004 г. по сравнению с 2003 г. составил 39 млн т и достиг уровня 460 млн т, из них в Западной Сибири – 330 млн т.

1. Темпы и объемы добычи нефти в мире, в СССР и России

Год	Мир в целом, млн т	СССР		Россия	
		млн т	доля в мире, %	млн т	доля в мире, %
1970	2355.2	353.0	15.0	285	12.1
1980	3087.9	603.2	19.5	547	17.7
1985	2791.7	608.1	21.8	542	19.4
1990	3167.9	570.0	18.0	516	16.3
1995	3277.5	-	-	307	9.4
2000	3601.3	-	-	323	9.0
2001	3580.6	-	-	349	9.7
2002	3556.8	-	-	380	10.7
2003	3663.5	-	-	421	11.5
2004	3800.0	-	-	460	12.1

С 2000 по 2004 гг. Россия обеспечила самый высокий прирост добычи нефти в мире, в 3 раза выше, чем у ОПЕК. В настоящее время российская нефть является одним из главных факторов стабилизации мирового рынка нефти.

Западная Сибирь – нефтегазовая житница, и не только для России. Западносибирский нефтегазовый феномен, созданный во второй половине XX столетия, остается таковым и в XXI веке (табл. 2) [2, 3].

2. Темпы и объемы добычи нефти в Западной Сибири

Год	Западная Сибирь	
	млн т	доля в России, %
1970	31.0	10.9
1980	310.5	56.8
1985	382.0	70.5
1990	375.7	72.8
1995	208.3	67.9
2000	219.8	68.0
2001	236.7	67.8
2002	264.0	69.5
2003	298.0	70.8
2004	330.0	71.8

Нефтяные месторождения Западной Сибири разрабатываются 40 лет. За это время добыто 9 млрд. т нефти, из них 8 млрд. т – в Ханты-Мансийском округе. Газа в Западной Сибири уже получено 12 трил м^3. Ясно, что Западная Сибирь является главной опорой всего нефтегазового комплекса России (рис. 1).

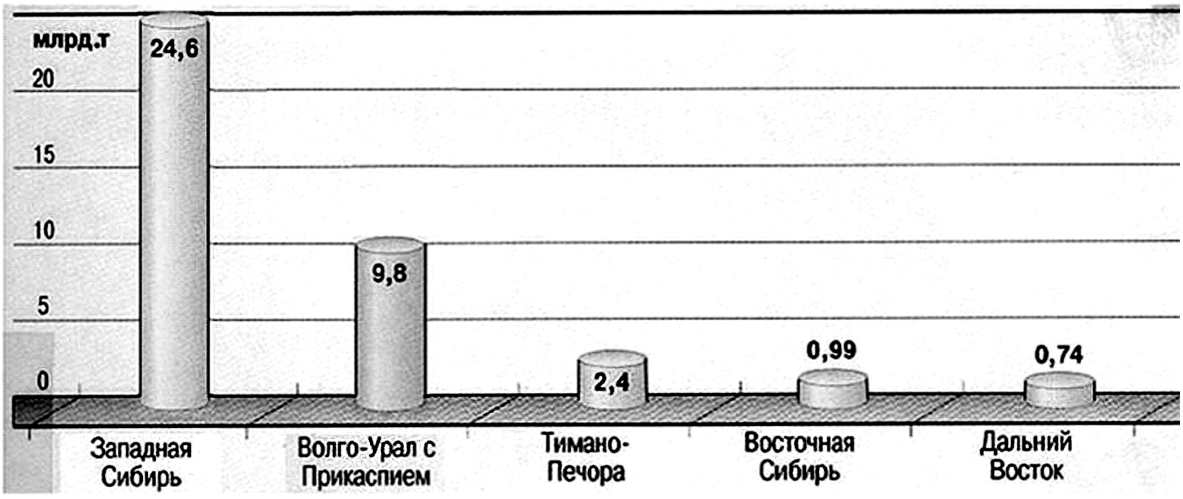


Рис. 1. Кумулятивный ресурсный потенциал нефтегазоносных провинций России (накопленная добыча + запасы $A+B+C_1+C_2$).

Более половины западносибирской нефти экспортируется в разные страны Европы, Азии и даже в США. Этот огромный регион, производящий углеводородное сырье, нужен на перспективу всему цивилизованному миру. В условиях глобализации это чрезвычайно важные политический, экономический и социальный аспекты.

Нефтяной бум в начале XXI века. В конце прошлого столетия казалось, что нефтяная песня России закончилась. В 1998 г. добыча упала до 300 млн. т в России и до 200 млн. т в Западной Сибири. Но, начиная с 2000 г., добыча нефти стала расти (табл. 3). Многие экономисты объясняют этот феномен увеличением международной цены на нефть. Я бы добавил еще три объяснения. Первое – большой объем разведанных запасов, сконцентрированных в крупных месторождениях и залежах. Этот задел был создан в прошлом веке. Второе – благоприятный природный геодинамический цикл во многих районах Западной Сибири, где современные относительные перемещения литосферных блоков на уровне земной поверхности составляют 25-40 мм в год. Эти процессы стимулируют активизацию фильтрационных потоков в нефтенасыщенных пластах и возможности образования новых объемов углеводородных масс [4]. Третье – внедрение эффективных технологий (в первую очередь глубокий гидроразрыв пласта).

3. Темпы и объемы добычи нефти в России и Западной Сибири

Год	Россия	Западная Сибирь	Год	Россия	Западная Сибирь
1987	564	407	1996	301	203.2
1988	569	412.4	1997	305.6	206.6
1989	552	402.5	1998	303	205
1990	516	375.7	1999	305.3	206.6
1991	462	329.7	2000	323.3	2219.8
1992	399	279.1	2001	349	236.7
1993	354	244.5	2002	380	264
1994	318	220.2	2003	421	298
1995	307	208.3	2004	460	330

Сегодняшние темпы и объемы нефтедобычи можно выразить такой зависимостью:

$$V_н = F\ [Q_{запасы};\ (Цена + Геод. + Тех.)]$$

Разумеется, главной составляющей являются запасы. Пожалуй, можно процитировать Генриха Гейне: «Сам бог не сумел бы создать ничего, не будь у него материальца». Из 3-х параметров в круглых скобках первый является непредсказуемым, второй временным, т.к. активный геодинамический цикл может быстро стать пассивным. Третий параметр состоит пока из набора насильственных технологий, в короткие сроки истощающих потенциал продуктивных пластов. Можно констатировать, что все перечисленные параметры являются набором геологических, технологических и финансовых рисков. Уменьшение рисков связано с непрерывным инвестированием в науку, разведку и разработку новых технологий. Безусловно, большую роль играют умные менеджеры и профессиональные кадры.

Устойчивость феномена. Устойчивое перспективное развитие нефтегазового комплекса могли бы обеспечить новые крупные геологические открытия и новые запасы. Но таковых нет, и существующая в России система пока не обеспечивает расширенное воспроизводство запасов. Фактически ни одна нефтяная компания не компенсирует объемы своей добычи. А за счет государственного бюджетного финансирования, например, в 2003 г. выполнено по всей России опорных геофизических профилей всего лишь 771 пог. км, параметрического бурения – 249 пог. м. Практически мы проедаем социалистические запасы. В связи с этим возникает неувязка между ресурсами нефти и активными коммерческими запасами. К сожалению, поправить это в ближайшие 20-25 лет очень трудно и возможно лишь при условии больших капиталовложений в разведку и новые технологии поисков, хотя в Западной Сибири есть огромный ресурсный потенциал и возможности для открытия и разведки новых крупных и гигантских месторождений нефти и газа. Одно из перспективных направлений – поиски большой нефти в палеозойском фундаменте. Это надо делать несмотря на геологические риски. Заметим, что нефтяное (горное) дело всегда связано с рисками [5].

Вторая составляющая устойчивого развития западносибирского нефтегазового комплекса и стабилизации уровней добычи нефти и газа на ближайшие 20-30 лет заключается в наличии огромных объемов трудноизвлекаемых запасов нефти, что объясняется горно-геологическими условиями размещения залежей нефти и технологическими особенностями их освоения. Пока задача извлечения нефти из сложных продуктивных пластов решается успешно, в основном за счет гидроразрыва пластов и бурения горизонтальных скважин. Но завтра этих технологий уже будет недостаточно. Устойчивость феномена надо поддерживать, так как Западная Сибирь остается и на перспективу базовым центром нефтегазодобычи в мире [6].

Что надо делать науке и практике. Важной представляется разработка новых научных концепций в нефтяной геологии и постоянное совершенствование технологий, в том числе для извлечения остаточной нефти (трудноизвлекаемых запасов). Кстати, эта проблема существует во многих нефтедобывающих регионах и странах. Здесь необходим непрерывный флюидодинамический мониторинг разрабатываемой залежи и адаптированные интеллектуальные технологии управления природно-техногенной системой пласт-скважина, так как эта система в период активной разработки нефтегазовых месторождений претерпевает большие изменения [4, 7].

Остаточная нефть содержится в целиках различных размеров. Это подтверждено экспериментами и наблюдениями в процессе разработки месторождений. Считаю возможным изложить эти данные.

а) *Физический эксперимент и математическая модель (Институт гидродинамики СО РАН).*

Лабораторная модель состояла из стеклянных пластин (40x20 см), щелевое пространство между которыми размером 1,7 мм было заполнено стеклянной крошкой с пористостью $m = 0.47$ и коэффициентом фильтрации по воде k_1 = 127 м/сут. Вязкость вытесняемой нефти в 15 раз превосходила вязкость вытесняющей воды. Добывающая и нагнетательная скважины имитировались специальными иглами. Фиксировались объемы воды, поступавшие в модель при заданном постоянном перепаде давления жидкостей в нагнетательной и добывающей скважинах. При закачке воды в пласт для поддержания пластового давления наблюдается процесс языкообразования. Обтекаемые водой нефтенасыщенные участки в виде целиков, содержащих большие объемы остаточной пластовой нефти, могут долго оставаться в неподвижном капиллярно-запертом состоянии и не работают. В то же время обводненность добывающих скважин растет, дебиты падают, а текущий коэффициент извлечения нефти остается низким (рис. 2).

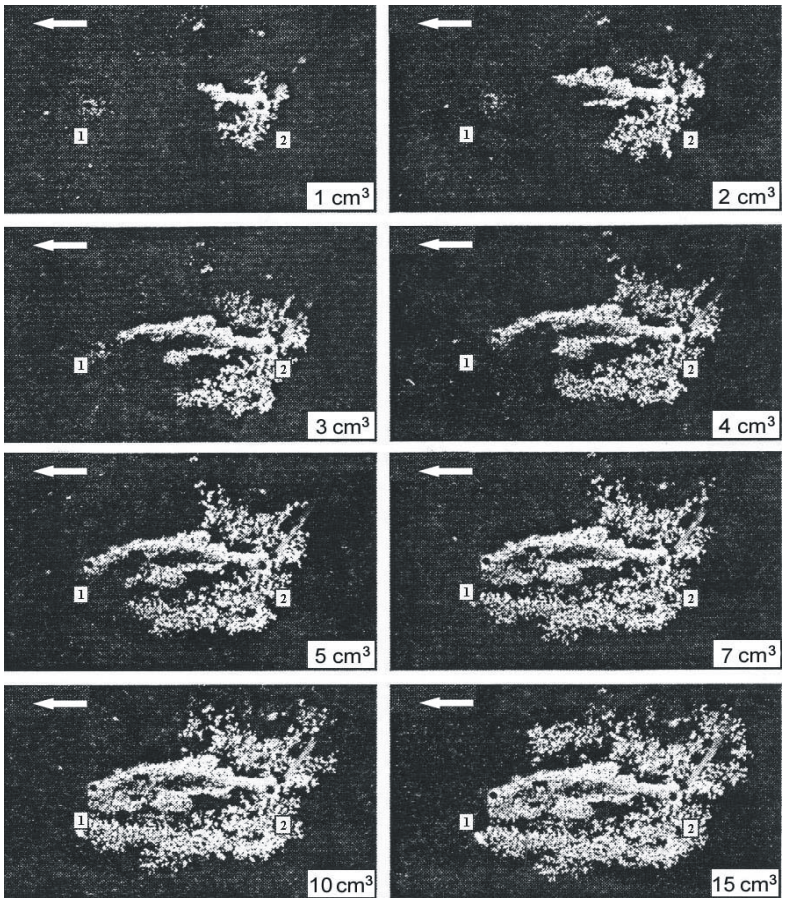


Рис. 2. Замещение нефти водой в системе продуктивной (1) и нагнетательной (2) скважин.
В правом нижнем углу каждого снимка указано количество воды, нагнетаемой в модель при постоянном перепаде давлений между скважинами; стрелкой указано направление потока воды; изображения на снимках напоминают вязкие фрактальные пальцы.

Физическое и математическое моделирование показало, что необходимо нарушить динамическое равновесие между зажатым целиком и окружающим потоком. Состояние системы можно выразить обобщающей формулой:

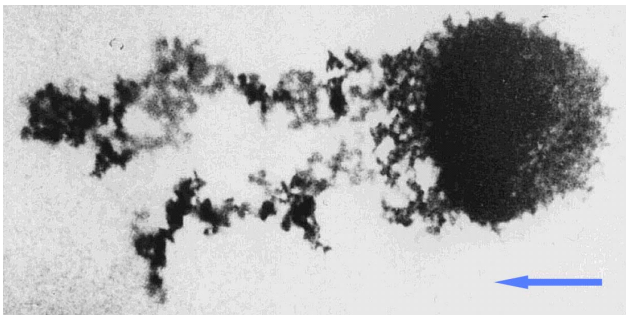
$$\lambda = di_0 / p_k^0$$

где l - безразмерный критерий равновесия; d – радиус целика; i_0 – гидравлический уклон (скорость набегающего потока); p_k^0 – характерное капиллярное давление, которое зависит от физических свойств породы и флюидов. Эксперименты показывают, что нарушения равновесия можно достичь путем увеличения размера целика (радиуса d), увеличения скорости набегающего потока (i_0), либо уменьшения действия капиллярных сил (p_k^0). Это приводит к разрушению целика и вовлечению в общий фильтрационный поток содержавшейся в нем нефти [8, 9].

Активная миграция нефти из целиков является следствием преодоления некоторого порога – нарушения флюидодинамического равновесия между удерживающими капиллярными эффектами и гидродинамическими силами. В технологическом плане это решается разными методами (рис. 3).

б) *Технологические варианты.*

В настоящее время в Западной Сибири применяется интенсивный глубокий гидроразрыв пластов, что оказалось весьма эффективным на многих месторождениях. Эта насильственная технология способствует разрушению крупных остаточных нефтяных целиков, но мелкие остаются. Эффект временный, технологические операции необходимо повторять. Однако мы предпочитаем другой путь – реабилитационные циклы с перспективой постоянного поддержания промысловых параметров и увеличения конечного коэффициента извлечения нефти. Такие циклы предусматривают «отдых» месторождения с тем, чтобы дать возможность выровнять нефтенасыщение на границах соприкосновения трещин и блоковой матрицы. Это позволяет разубоживать целики, но с замедленным эффектом. Фактически мы меняем вектор флюидодинамического равновесия. В этом случае активные извлекаемые запасы в течение определенного времени могут быть значительно увеличены и конечный коэффициент нефтеотдачи может приближаться даже к 100 % [10-12]. В качестве активирующих реабилитационных технологий можно использовать вибросейсмическое воздействие на собственной частоте продуктивного пласта волновыми цугами, объединенными в циклы. Эти методы успешно разрабатываются в Институте горного дела СО РАН.



Ðèñ. 3. Ïåðêîëÿöèîííîå ðàçðóøåíèå êàïèëëÿðíî-çàïåðòîãî öåëèêà íåôòè

Выводы. Необходимо ускоренно создавать научную геофлюидодинамическую основу и перспективные технологии во избежание экономических кризисов и энергетического коллапса, что может случиться уже в 20-30 годы XXI века. Нефть и газ Сибири нужны не только России. Это углеводородное сырье рассчитывают получать стабильно, много и долго многие страны Европы и Азии [13, 14].

Литература

1. Zapivalov N.P. New Frontiers in Oil and Gas //Proceedings of PETROTECH-2003 6th International Conference and Exhibition, January 16-19, 2005, New Delhi, India (CD-ROM).
2. Zapivalov N.P. Russian Oil and Gas Phenomenon in the beginning of the 21st Century // Proceedings of PETROTECH-2003 6th International Conference and Exhibition, January 16-19, 2005, New Delhi, India (CD-ROM).
3. Запивалов Н. П. Проблемы нефтегазового комплекса России //Бурение и нефть, февраль 2003, с. 8-12.
4. Запивалов Н.П., Попов И.П. Флюидодинамические модели залежей нефти и газа. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео». 198 с.
5. Запивалов Н.П. Нефтегазовый потенциал палеозойского фундамента Западной Сибири (прогнозы и реальность) // Нефтяное хозяйство. 2004. – № 7. с. 76-80.
6. Запивалов Н.П. Технологические факторы устойчивого развития российского нефтегазового комплекса. Препринт 1-03. Сургут: Изд-во СурГУ, 2003. 16 с.
7. Запивалов Н. П., Попов И.П. Научные основы реабилитации «истощенных» месторождений Западной Сибири / /«Нефтегазоносность и оптимальные методологические решения поиска, разведки и разработки месторождений углеводородов в пределах Западно-Сибирской плиты»: Мат-лы науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2003. с. 172-177.
8. Запивалов Н.П., Пеньковский В.И. Геофлюидодинамические основы реабилитации «истощенных» месторождений и возможности увеличения активных извлекаемых запасов // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса и производительных сил Томской области: Материалы научно-праткической конференции. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004.с. 123-125.
9. Пеньковский В.И. О влиянии капиллярных сил на нефтеотдачу месторождений при внутриконтурном заводнении // Математические модели фильтрации и их приложения: Сб. науч. тр. Новосибирск: Ин-т гидродинамики им. М.А. Лаврентьева, 1999. с. 124-133.
10. Запивалов Н.П., Лобов А.И. Геофлюидодинамические методы управления напряженно-деформированным состоянием нефтенасыщенных резервуаров и продуктивностью скважин // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Труды международной конференции. Новосибирск: Изд. Института горного дела СО РАН, 2004. с. 447-454.
11. Запивалов Н.П. Геофлюидодинамические основы реабилитации (ревитализации) истощенных месторождений / / Повышение нефтеотдачи пластов. Освоение трудноизвлекаемых запасов нефти. Труды 12-го Европейского симпозиума «Повышение нефтеотдачи пластов» (Казань, 8-10 сентября 2003 года). - Казань, 2003.с. 566-571.
12. Запивалов Н. П. Реабилитационные циклы – основа восполнения активных запасов на разрабатываемых месторождениях. Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. Материалы Международной конференции памяти академика П. Н. Кропоткина, 20-24 мая 2002 года, г. Москва. М.: ГЕОС, 2002. с. 330-332.
13. Запивалов Н. П. Нефтегазовый комплекс России: состояние и перспективы на XXI век // Георесурсы (Казань). № 1 (9). 2002. с. 32-35.
14. Запивалов Н.П. Нефтегазовый комплекс России: состояние и перспективы на XXI век // Альманах-2001. М.: Международная академия авторов научных открытий и изобретений, 2001.с.5-16.