NP21_2_2010_SborkaCopy.qxd 08.04.2010 13:58 Page 54

УДК 622.276

© Г. И. Фенин, Ю. И. Зытнер, О. В. Чумакова, 2010

Анализ существующих представлений об условиях формирования **АНОМАЛЬНО ВЫСОКИХ ПЛАСТОВЫХ ДАВЛЕНИЙ** в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции

Г. И. Фенин,
научный сотрудник,
канд. геол.-минерал. наук

Ю. И. Зытнер,
старший научный сотрудник,
канд. геол.-минерал. наук

О. В. Чумакова,
старший научный сотрудник

ВНИГРИ

Одним из регионов наращивания и освоения сырьевой базы нефти и газа, обладающим существенным объемом не вовлеченных в освоение запасов нефти, является Северо-Западный (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция). Этот регион, несмотря на относительно небольшую удаленность как от основных потребителей энергетических ресурсов внутри Российской Федерации, так и за ее пределами, является самым малоосвоенным в европейской части России. Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция по запасам нефти занимает четвертое место в России и, несмотря на значительную разведанность недр (более 40 %), характеризуется хорошими перспективами дальнейшего развития. Максимальный уровень добычи нефти пришелся на начало 1980-х годов, после чего наметился долгий спад. Однако в 2004 г. добыча нефти превысила 20,5 млн т, достигнув в 2006 г. 24,1 млн т, в том числе на территории Ненецкого АО – 12,99 млн т. Поддержание добычи нефти на этом уровне и ее наращивание в соответствии с «Энергетической стратегией России до 2020 года» возможно при форсированной подготовке новых запасов.

Ключевые слова: Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция, скопления углеводородов, аномально высокое пластовое давление, механизмы образования, прогнозирование.

Одной из важнейших задач для наращивания добычи нефти в регионе является оценка возможности вовлечения в освоение залежей с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД).

При поисково-разведочных работах на нефть и газ во многих районах мира зафиксированы проявления в разрезе осадочного чехла аномально высоких пластовых давлений или сверхгидростатических пластовых давлений (СГПД). Проблема изучения АВПД очень важна и актуальна для освоения глубокозалегающих горизонтов осадочного чехла и поисков в них скоплений углеводородов. Сложные горно-геологические условия и наличие АВПД затрудняют не только сам процесс бурения скважин, но и разработку открытых залежей нефти и газа. Прогноз пластовых давлений как до начала бурения, так и в процессе него и их своевременное обнаружение дают возможность составить обоснованную программу бурения скважин, осуществлять проводку скважин в оптимальных условиях при минимальной репрессии (репрессия – превышение столба бурового раствора над пластовым давлением, измеряемое в МПа) на пласты и принять впоследствии правильное решение по эксплуатации залежей.

Значимость проблемы АВПД, выяснение механизма его проявления, природы, изучение закономерностей распространения как по площади, так и в разрезе имеют большое научное и практическое значение. Значительная часть публикаций по различным вопросам, связанным с АВПД, приходится на начало 70-х – середину 90-х годов прошлого столетия. В дальнейшем интерес к данной проблеме снизился, а число публикаций значительно сократилось.

В настоящее время существует множество гипотез, которые в той или иной мере объясняют происхождение АВПД. Механизмы образования АВПД могут существовать как отдельно друг от друга, так и совместно, превалируя друг над другом в той или иной степени, что, в свою очередь, указывает на полигенную природу АВПД. Однако, несмотря на многообразие существующих механизмов образования АВПД, в качестве универсальных могут рассматриваться лишь некоторые, имеющие наибольшее число сторонников [1]:

- выжимание (миграция) флюидов в коллектор под действием веса пород (уплотнение);
- образование АВПД при генерации углеводородов;
- вертикально-миграционные механизмы образования АВПД;
- тектоническое (неотектоническое) сжатие;
- образование АВПД под воздействием теплового фактора.

Изучением условий формирования АВПД в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПП) на протяжении ряда лет занимались многие крупные исследователи. Обобщению полученных результатов, в частности, посвящены работы Б. Л. Александрова [2, 3], в которых изложены взгляды на закономерности распределения, условия формирования и природу АВПД в ТПП. При рассмотрении Возейского и Усинского нефтяных месторождений

NP21_2_2010_SborkaCopy.qxd 08.04.2010 13:58 Page 55

выделены две региональные зоны АВПД: первая – в песчано-глинистых отложениях нижнего триаса – верхней перми и вторая – в карбонатных отложениях фаменского яруса и верхнефранского подъяруса верхнего девона. Мощности зон АВПД и величины градиентов давлений увеличиваются от сводовых частей структур к их крыльям и периклиналям. Давления в глинистых толщах и коллекторах никак между собой не связаны, поскольку первые – аномально высокие, а вторые – нормальные. На основании этого, а также с учетом низких электрических сопротивлений глинистых пород, авторы отрицают возможность образования АВПД за счет поступления глубинных флюидов. По их мнению, АВПД в обеих глинистых, глинисто-карбонатных толщах формировались под воздействием гравитационных процессов, недоуплотнения глин, низкой проницаемости пород и затрудненной гидродинамической связи по разрезу и площади и передачи геостатической нагрузки в основном содержащимися в глинах поровыми реликтовыми водами.

Изучению условий формирования и распределения АВПД посвящен также ряд работ Н. М. Невской [4, 5]. Рассматривая гидродинамические особенности девонских отложений в различных районах ТПП, которые залегают на различных глубинах, автор выделяет три зоны стадийных изменений глинистых и песчаных пород. В верхней зоне (на глубинах менее 2,2 км) песчаники имеют высокие пористость, проницаемость и сообщаемость. Глинистые породы пластичны, трещиноватость в них отсутствует. Средняя зона (от 2,2 до 4 км) содержит около 30 % непроницаемых пород песчаников, глины более уплотнены и трещиноваты. В нижней зоне (свыше 4 км) доля проницаемых песчаников составляет около 10–15 %, они образуют изолированные линзы, практически не сообщающиеся между собой. Глинистые породы аргиллитоподобные, с многочисленными микротрещинами, облегчающими вертикальные перетоки вод через покрышку, в том числе через региональную тиманско-саргаевскую. Высокая способность глинистых пород к растрескиванию обеспечивает возможность привноса флюидов из нижних горизонтов осадочного чехла и фундамента.

Для девонских отложений нижней зоны характерны АВПД, которые возникают по целому ряду причин. Важнейшими из них являются: изолированность песчаных блоков, что приводит к возрастанию давления в результате повышения температуры; новейшие тектонические движения, усиливающие гидродинамическую напряженность в блоках; гидрослюдизация монтмориллонитов, в результате которой высвобождается количество вод, сопоставимое с объемом поровых вод песчаников. Выводы, сделанные Н. М. Невской в работе [5] об отсутствии АВПД в верхних горизонтах осадочного чехла и о наличии их на глубинах свыше 3,5–4 км, полностью подтверждаются как фактическими данными замеров пластовых давлений, так и результатами оценки давлений по технологическим данным бурения скважин (ТДБ). Более того, данная закономерность характерна не только для отложений среднего девона, но и в целом для всего осадочного чехла, в котором выделяются те же три зоны, со свойственными им гидродинамическими и литолого-минералогическими особенностями. В настоящее время в ТПП выявлено более 23 месторождений и площадей с АВПД и ППД в отложениях среднего девона – силура, а в ряде случаев – и в отложениях доманикового горизонта верхнего девона [6].

Основным определяющим фактором возникновения АВПД в среднедевонских отложениях провинции, по мнению некоторых исследователей, является акватермический эффект, т. е. увеличение пластового давления в линзах коллекторов, изолированных от открытой гидродинамической системы, под воздействием возрастающей с глубиной и в процессе геологического развития структур напряженности теплового поля, имеющего эндогенную природу. В качестве наиболее яркого примера, подтверждающего преобладающую роль температуры в образовании АВПД, рассматривалось Возейское месторождение. Южная часть месторождения принадлежит к открытой гидродинамической системе, а северо-западная – к закрытой. На северо-западе АВПД приурочено к линзам песчаников и сформировалось, вероятно, за счет более интенсивного разогрева, о чем свидетельствуют более высокие температуры, превышающие температуры в южной залежи на 10–11 °С. По расчетным данным, в линзах песчаников на глубине 4–5 км при увеличении температуры на 1–2 °С пластовое давление увеличится на 3,2–3,3 МПа. Поэтому для создания АВПД на Лаявожском, Харьягинском, Возейском и других месторождениях достаточно нагрева флюида в линзах коллекторов от 2 до 6 °С.

Без сомнения, температурное воздействие на породы и содержащиеся в них флюиды является одной из причин образования АВПД. Это подтверждают и многочисленные литературные источники. Существуют различные взгляды на величины температур, при которых возникают АВПД. Например, по мнению Р. М. Новосилецкого, – это 110 °С, для ТПП – это температуры более 70 °С. Данные по площадям и месторождениям ТПП свидетельствуют о том, что существуют АВПД и при более низких температурах (например, АВПД на Северо-Сарембойском месторождении с пластовой температурой +65 °С). С другой стороны, на ряде месторождений (Пашшор, Верхний Грубешор и др.) выявлены нормальные пластовые давления при температурах 70–90 °С. Следовательно, величина температуры не является надежным индикатором наличия или отсутствия АВПД. Пластовые температуры, отмеченные в пластах с АВПД, на сегодняшний день изменяются от 65 до 160 °С.

Вызывает сомнение и обязательная приуроченность всех проявлений АВПД к линзам коллекторов, выклинивающихся на коротком расстоянии и не имеющих гидродинамической связи ни между собой, ни с другими участками и/или горизонтами. В связи с этим можно упомянуть об отмечаемой многими исследователями интенсивной трещиноватости как коллекторов, так и покрышек на глубинах более 3–3,5 км, характерной для ряда районов, и, в особенности, для древних платформ, на территории которой расположена ТПП.

В настоящее время можно говорить и о достаточно значительной латеральной гидродинамической связи пластов с АВПД, что подтверждается закономерным изменением

NP21_2_2010_SborkaCopy.qxd 08.04.2010 13:58 Page 56

градиентов давления на значительных по площади участках (Северо-Сарембойское, Тобойско-Мядсейское, Инзырейское, Лаявожское и другие месторождения). Вместе с тем ряд исследователей небезосновательно считают, что температурные аномалии создаются при поступлении из глубины высоконапорных прогретых флюидов, обладающих аномально высокими давлениями. Для большинства месторождений и площадей ТПП, на которых выявлены АВПД, пластовые температуры изменяются с глубиной в соответствии с геотермическим градиентом и не являются аномальными. Изломы температурных кривых фиксируются только на границе перехода от терригенных отложений к карбонатным.

Сложная проблема природы возникновения и развития АВПД в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, несмотря на довольно значительный объем проведенных исследований, еще далека от окончательно решения. Это и понятно, если учесть особенности геологического строения, литологии и глубин залегания горизонтов с АВПД провинции, характерные вообще для древних платформ: относительно небольшую мощность осадочного чехла, на многих структурах ТПП значительную литификацию и полную дегидратированность глинистых пород; отсутствие заметного изменения их плотности и пористости в интервалах с АВПД; наличие мощных карбонатных толщ с АВПД и т. д.

В таких условиях многие механизмы образования АВПД становятся весьма проблематичными. К сказанному можно добавить такие особенности, как закономерное нарастание аномальности давлений с глубиной, вплоть до фундамента; отсутствие регионального распространения АВПД по площади при сохранении примерно постоянных мощностей стратиграфических комплексов, их литологии, глубин залегания, пластовых температур [7]. В данном случае все более очевидным становится вероятность образования АВПД за счет поступления флюидов извне, т. е. их эпигенетическая природа. По мнению А. К. Гуревича и др. [8], именно «нарастание аномальности давлений с глубиной» было бы неоспоримым доказательством вертикальной миграции высоконапорных флюидов. Во всех скважинах ТПП с АВПД или без него наблюдается единая закономерность – плавное (в зависимости от качества покрышки), но неуклонное возрастание градиентов давления с глубиной по всему осадочному чехлу, вплоть до самых древних горизонтов, а в тех скважинах, которые вскрыли фундамент (скважины № 51, 63-Возей), – и в фундаменте.

Проявления альпийских и новейших тектонических движений и их влияние на окончательное формирование современного структурного плана провинции, а также на нефтегазоносность рассматривались многими исследователями. В альпийское и, особенно, в новейшее время 70–84 % локальных структур осадочного чехла провинции выделены как активные, а 48–52 % прямо или частично выражены в орогидрографии региона [9]. Относительные амплитуды локальных структур в неотектоническом плане различны – от 15–20 до 50–80 м. Абсолютные амплитуды неотектонических движений в пределах различных структур также весьма разнообразны. В связи с этим выделяются высоко-, средне- и малоактивные поднятия (структуры). Прирост амплитуд в течение всего неоген-антропогена, в среднем и позднем антропогене различен – от 1–2 до 10–20 %, а в ряде случаев достигает 30 %. Тектоническая активность структур в новейшее время способствует вертикальной миграции углеводородов, влияет на термобарические условия в залежах нефти и газа, приводит к повышению трещиноватости пород и т. п., т. е. неотектонические движения способствуют перераспределению и окончательному формированию залежей углеводородов и в известной степени обусловливают изменение состава УВ в ловушках.

В связи с этим некоторые исследователи пришли к выводу об относительной «молодости» залежей нефти и особенно газа, так как структурные ловушки и залежи углеводородов в них не могли сохраниться неизменными при интенсивных тектонических движениях в палеозое и мезозое. Ряд исследователей [10, 11] объясняют возникновение АВПД в залежах углеводородов наряду с геологическими факторами и влиянием неотектогенеза. В работе [9] рассмотрены 24 структуры, из которых 18 выделены как средне- и высокоактивные (15–40 %). Повышенные аномальные давления выявлены на 14 структурах, что составляет 78 %. Ряд структур по комплексу признаков признаны как малоактивные и среднеактивные с повышенными давлениями. Таким образом, выявлена достаточно тесная связь между неотектонической активностью локальных структур и наличием повышенных и аномально высоких давлений. Сделанные выводы о связи неотектонических движений и АВПД, зарегистрированных на активных морфоструктурах, в настоящее время подтверждаются.

Таковы, на наш взгляд, основные причины образования АВПД в Тимано-Печорской провинции. Трудности его прогнозирования в районе объясняются полигенной природой АВПД, а также наличием минимум трех-четырех механизмов (факторов) его образования, которые довольно тесно взаимосвязаны между собой. Изложенные выше представления о возможных механизмах образования АВПД в геологических условиях ТПП следует рассматривать как нуждающиеся в дальнейшем изучении, детализации и уточнении.

Выводы

1. Большинство структур, на которых выявлены ППД и АВПД, связаны с тектоническими нарушениями и являются

Analysis of the current knowledge about conditions for the formation of abnormally high reservoir pressure in Timan-Pechora oil and gas province

G. I. Fenin, Dr. (Geol.-Mineral.), Research Associate; Yu. I. Zytner, Dr. (Geol.-Mineral.), Senior Research Associate; O. V. Chumakova, Senior Research Associate (VNIGRI)

The article describes major factors causing the formation of abnormally high reservoir pressure (AHRP) in Timan-Pechora oil and gas province. The authors emphasize the fact that pressure prediction is problematic due, first of all, to the polygenic origin of AHRP, as well as due to the effect of at least 3-4 mechanisms (factors) of pressure formation. The authors' idea of the probable mechanisms of AHRP formation in Timan-Pechora province is viewed as the one needing further studying, detailed elaboration and refinement.

Key words: ***Timan-Pechora oil and gas province, hydrocarbon accumulations, abnormally high reservoir pressure, mechanisms of the formation, prediction.***

NP21_2_2010_SborkaCopy.qxd 08.04.2010 13:58 Page 57

неотектонически активными в неоген-антропогеновое время. Тектонические нарушения прослеживаются в нижних горизонтах осадочного чехла (от средненижнедевонских до ордовикских отложений, а там, где вскрыты отложения протерозойского фундамента, – и в фундаменте), а на ряде месторождений – до верхних горизонтов.

2. Залежам с ППД и АВПД, как правило, сопутствуют залежи с нормальными пластовыми давлениями в верхних горизонтах осадочного чехла и достаточно большим этажом нефтегазоносности (Северо-Сарембойское, Тобойское, Мядсейское, Инзырейское, Харьягинское и другие месторождения).

3. Если на площадях и структурах мобильных зон, таких, как Печоро-Колвинский авлакоген, Варандей-Адзьвинская структурная зона, Предуральский краевой прогиб, встречена нефтегазоносность – продуктивность верхних горизонтов осадочного чехла, а нижние горизонты еще не вскрыты бурением, то в них следует ожидать ППД и АВПД (Суборское, Инзырейское, Леккерское, Баяндыское и другие месторождения).

Список литературы=References

1. *Белонин М. Д., Славин В. И., Чилингаров Д. В.* Аномально высокие пластовые давления, происхождение, прогноз, проблемы освоения залежей углеводородов. Санкт-Петербург: Недра, 2005. = *M. D. Belonin, V. I. Slavin, D. V. Chilingarov.* Abnormally high reservoir pressure, origin, forecast, problems of hydrocarbon field development. St. Petersburg, Nedra Publishers, 2005 (in Russian).
2. *Александров Б. Л.* Определение и прогнозирование аномально высоких пластовых давлений геофизическими методами: Научно- технический обзор. М.: ВНИИОЭНГ, 1973. = *B. L. Aleksandrov.* Identification and prediction of abnormally high reservoir pressure by geophysical methods: Scientific and engineering report. M.: VNIIOENG, 1973 (in Russian).
3. *Александров Б. Л., Крысанова Л. В., Уляшова С. А.* Зоны АВПД в разрезах Возейского, Усинского и Пашнинского месторождений Тимано-Печорской провинции // Геология нефти и газа. 1979. № 1. С. 48–51. = *B. L. Aleksandrov, L. V. Krysanova, S. A. Ulyashova.* AHRP zones in sections of Vozeiskoe, Usinskoe and Pashninskoe fields of Timan-Pechora province // Geologiya Nefti I Gaza Magazine, 1979, № 1, pp. 48–51 (in Russian).
4. *Невская Н. М.* Влияние движения подземных вод на формирование и переформирование залежей в Тимано-Печорской провинции // Изв. вузов. Геология и разведка. 1971. № 2. С. 71–73. = *N. M. Nevskaya.* The effect of underground waters on the formation and transformation of fields in Timan-Pechora province // Izvestiya Vuzov. Geologiya I Razvedka Series, 1971, № 2, pp. 71–73 (in Russian).
5. *Невская Н. М.* Влияние гидрогеологических условий на размещение залежей нефти и газа в разрезе осадочного чехла // Сб. статей «Перспективы нефтегазоносности Тимано-Печорской провинции». Л.: ВНИГРИ, 1979. = *N. M. Nevskaya.* The effect of hydrogeological conditions on the location of oil and gas pools in the sedimentary section // Collected articles «Prospects of oil and gas occurrence in Timan-Pechora province». L.: VNIGRI, 1979 (in Russian).
6. *О проявлении* аномально высоких пластовых давлений в мире и особенности его проявления в Тимано-Печорской провинции. Литологические и геохимические основы прогноза нефтеносности / Г. И. Фенин [и др.]: Сб. материалов международной научно-практической конференции 30 июня – 3 июля 2008 г. Санкт-Петербург: ВНИГРИ, 2008. С. 230–239. = *About* abnormally high formation pressure worldwide and its peculiar characteristics in Timan-Pechora province. Lithologic and geochemical grounds of oil occurrence prediction. / G. I. Frnin [et al.]: Proceedings of the International Scientific Conference, 30 June – 3 July, 2008, St. Petersburg: VNIGRI, 2008, pp. 230–239 (in Russian).
7. *Использование* данных о проявлениях АВПД для оценки перспектив нефтегазоносности северных районов Тимано-Печорской провинции / В. Е. Аронсон [и др.]: Сб. материалов международной конференции 26–30 октября 1998 г. «Перспективы развития и освоения топливно-энергетической базы Северо-Западного экономического района Российской Федерации». Санкт-Петербург: ВНИГРИ, 1999. С. 61– 65. = *Application* of data on AHRP indication for the assessment of prospects of oil and gas occurrence in the northern areas of Timan-Pechora province. / V.E. Aronson [et al.]: Proceedings of the International Conference, 26-30 October, 1998, «Prospects for the development of the fuel and energy reserves and resources in the Northwestern economic region of the Russian Federation». St. Petersburg: VNIGRI, 1999, pp. 61–65 (in Russian).
8. *Давления* пластовых флюидов / А. К. Гуревич [и др.]. Л.: Недра, 1987. = *Pressure* of reservoir fluids / A. K. Gurevich [et al.]. L: Nedra Publishers, 1987 (in Russian).
9. *Ференс-Сороцкий А. А., Фенин Г. И., Лысцева Т. А.* Связь аномально-высоких пластовых давлений с неотектонической активностью локальных структур осадочного чехла севера Тимано-Печорской провинции. М.: ВИЭМС, 1991. Вып. 8. С. 3–7.= *A. A. Ferens-Sorotsky, G. I. Fenin, T. A. Lystseva.* Dependence of abnormally high reservoir pressure on neotectonic activity of local structures of the sedimentary section in the northern part of Timan-Pechora province. M.: VIEMS, 1991, Issue 8, pp. 3–7 (in Russian).
10. *Аникиев К. А.* Аномально высокие пластовые давления в недрах нефтяных и газовых месторождений. Л.: Недра, 1964. = *K. A. Anikiev.* Abnormally high reservoir pressure in the interior of oil and gas fields. L: Nedra Publishers, 1964 (in Russian).
11. *Аникиев К. А.* Прогноз сверхвысоких пластовых давлений и совершенствование глубокого бурения на нефть и газ. Л.: Недра, 1971. = *K. A. Anikiev.* Forecast of super-high reservoir pressure and improvement of deep-hole prospecting of oil and gas. L: Nedra Publishers, 1971 (in Russian).