

УДК 553.981, 553.982

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТОВЫХ ДАВЛЕНИЙ В НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

© 2017 г. | С.В. Воробьев¹, П.А. Горбунов², О.В. Максименко¹, Д.Я. Хабибуллин³¹ООО «Газпром геологоразведка», Тюмень, Россия; s.vorobyev@ggr.gazprom.ru; o.maksimenko@ggr.gazprom.ru;²ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия; razpas@mail.ru;³ПАО «Газпром», Москва, Россия; D.Khabibullin@adm.gazprom.ru

FEATURES OF THE RESERVOIR PRESSURE CHANGING IN OIL AND GAS DEPOSITS OF THE NORTHERN PART OF THE WEST SIBERIAN OIL AND GAS PROVINCE

© 2017 | S.V. Vorobyev¹, P.A. Gorbunov², O.V. Maksimenko¹, D.Ya. Habibullin³¹ООО "Gazprom geologorazvedka", Tyumen, Russia; s.vorobyev@ggr.gazprom.ru; o.maksimenko@ggr.gazprom.ru;²FGBOU VO "Tyumen Industrial University", Tyumen, Russia; razpas@mail.ru;³PAO "Gazprom", Moscow, Russia; D.Khabibullin@adm.gazprom.ru

Поступила 23.06.2017 г.

Принята к печати 02.08.2017 г.

Ключевые слова: *Западная Сибирь; Ямало-Ненецкий автономный округ; пластовые давления; аномально высокое пластовое давление; прогноз углеводородного сырья; продуктивный комплекс; месторождение углеводородов.*

На основе обобщения и систематизации результатов гидродинамических исследований, проведенных в поисковых и разведочных скважинах, авторами выполнено районирование территории Ямало-Ненецкого автономного округа с учетом характера изменения пластовых давлений в плане и разрезе осадочных комплексов, в которых сконцентрированы основные объемы выявленных запасов и прогнозных ресурсов углеводородного сырья. В основу районирования положена установленная закономерность, согласно которой пластовые давления в разрезе осадочного чехла аппроксимируются двумя уравнениями: для верхней (альб-сеноманской и верхненеокомской) и нижней (нижненеокомской и юрской) частей разреза. На основе комплексирования результатов районирования, данных поискового и разведочного бурения, а также материалов сейсмических исследований методом общей глубинной точки впервые построен набор карт изобар масштаба 1 : 500 000 по кровлям основных нефтегазоносных комплексов севера Западной Сибири. Данные карты могут применяться для прогнозирования пластовых давлений в пределах перспективных, не изученных бурением площадей. Подобные сведения необходимы для предварительной оценки ресурсов новых объектов и определения параметров буровых растворов в целях снижения аварийности в ходе бурения, особенно на глубокие горизонты с аномально высоким пластовым давлением.

Received 23.06.2017

Accepted for publishing 02.08.2017

Key words: *Western Siberia; Yamal-Nenets Autonomous District; reservoir pressure; abnormally high reservoir pressure; forecast; productive complex; hydrocarbon field.*

The article describes features of reservoir pressure changes in the plan and in the section of the sedimentary cover in northern part of West Siberian oil and gas province (the territory of Yamal-Nenets Autonomous District). Authors performed the territory zoning of Yamal-Nenets Autonomous District describing the changes of reservoir pressures in the section and in the area of sedimentary complexes with main hydrocarbon resources. The established zoning is based on the regularity, according to which reservoir pressures in the section of the sedimentary cover are approximated by two equations. The first equation is for the upper (Alb-Cenomanian and Upper-Neocomian), the second — for the lower (Lower-Neocomian and Jurassic) parts of the section. With help of integration of the zoning results and data from prospecting and exploration wells, as well as the materials of seismic studies, a set of 1 : 500 000 isobar maps on the tops of major oil and gas bearing complexes in the north of Western Siberia was built, which was done for the first time. These maps can be used to predict reservoir pressures in the perspective areas that are not studied by drilling. Such information is necessary for the preliminary assessment of the resources of new oil and gas deposits. Also this data can be used for determination of drilling fluids parameters in order to reduce the rate of accidents during the drilling, especially for deep horizons with the abnormally high reservoir pressure. The results obtained by the authors are representing interest for geologists who are engaged in planning of geological exploration, evaluating mineral resource base, and also ensuring the safety of exploration and production drilling.

Пластовое давление относится к числу важнейших физических параметров, характеризующих энергетическое состояние нефтеносных, газоносных и водоносных пластов. Особенности распределения и изменения значений пластовых давлений в пределах месторождений нефти и газа Западно-Сибирской НГП рассмотрены в работах В.И. Ибраева, И.И. Литвина и др., А.А. Нежданова и др., П.Т. Эринчека [3–5, 7].

Исследователи отмечают сложный характер изменения пластовых давлений как в плане, так и разрезе осадочного чехла Западной Сибири. При этом пластовые давления могут быть как гидростатическими, так и аномальными.

Аномальные пластовые давления в свою очередь разделяются на аномально высокие (АВПД) и аномально низкие (АНПД) [1]. Выделение в разрезах осадочного чехла зон АВПД и АНПД осуществляется по значению коэффициента аномальности (K_a), т.е. отношению замеренного пластового давления к условному гидростатическому. При $K_a > 1,3$ давление аномально высокое, а при $K_a < 0,8$ — аномально низкое [6]. Если пластовые давления незначительно отличаются от гидростатических, то они принимаются как повышенные или пониженные и термины АВПД и АНПД не используются.

В данной статье авторы проанализировали особенности изменения пластовых давлений в зависимости от глубины залегания продуктивных отложений месторождений нефти и газа, открытых в северной части Западно-Сибирского НГБ на территории Ямало-Ненецкого АО. За основу были приняты результаты гидродинамических исследований, выполненных в поисковых и разведочных скважинах, пробуренных в пределах более чем 200 месторождений углеводородного сырья.

На рис. 1 представлен график, отображающий особенности регионального изменения пластового давления в зависимости от глубины залегания юрских и меловых продуктивных отложений в пределах северной части Западной Сибири (Ямало-Ненецкий АО).

Пластовые давления в верхней части разреза (интервал глубин от 470 до 1840 м), представленного отложениями апт-сеноманского возраста, как правило, являются гидростатическими. Аномально низкие пластовые давления природного происхождения в пределах северной части Западной Сибири не фиксируются. При этом пониженные пластовые давления (значения K_a от 0,9 до 1,0) наблюдаются в отложениях сеноманского (Юбилейное месторождение, пласт ПК₁, $K_a = 0,92$), альбского (Уренгойское месторождение, пласт ПК₇, $K_a = 0,95$), аптского (Геофизическое месторождение, пласт ТП₄, $K_a = 0,94$), неокомского (Медвежье месторождение, пласт БН₅, $K_a = 0,95$) и юрского (Ярудейское месторождение, пласт ЮН₁₂, $K_a = 0,95$) продуктивных комплексов (см. рис. 1).

В пределах рассматриваемой части Западно-Сибирской плиты по результатам поискового и разведочного бурения доказано широкое развитие зон проявлений АВПД в отложениях юрского, а также в нижней и средней частях неокомского продуктивных комплексов. Обычно АВПД превышают гидростатическое давление в 1,3–1,8 раза, реже — в 2,0–2,1 раза. При этом они не достигают значений геостатического (горного) давления, создаваемого вышележащей толщей горных пород. Максимальные значения АВПД, приближающиеся к горным, в настоящее время зафиксированы в пределах Харасавэйского газоконденсатного месторождения, где на глубине 3280 м, в отложениях пласта Ю₂, зафиксированы пластовые давления, достигающие 73 МПа ($K_a = 2,27$).

Развитие АВПД в нижней части неокомского продуктивного комплекса, представленного клиноформными песчано-глинистыми отложениями ачимовской толщи, выделяемой в составе сортымской и мегионской свит, относится к числу региональных процессов, зафиксированных в результате поисково-разведочного и эксплуатационного бурения на территории Надым-Пур-Тазовского междуречья, а также на большей части п-ова Ямал и южной части п-ова Гыдан. Аномально высокие пластовые давления в отложениях сортымской свиты установлены в пределах Ямбургского (пласт Ач₁, глубина 3688 м, $K_a = 1,69$), Уренгойского (пласт Ач₃₋₄, глубина 3573 м, $K_a = 1,7$) и Стерхового (пласт Ач₂, глубина 3614 м, $K_a = 1,45$) месторождений. В отложениях мегионской свиты аномальные давления отмечены на Северо-Пуровском месторождении (пласт Ач₂, глубина 3780 м, $K_a = 1,57$).

В средней и верхней частях неокомского продуктивного комплекса участки разреза с аномальными пластовыми давлениями распространены локально. В настоящее время они выявлены лишь в пределах Харасавэйского месторождения. Аномально высокие пластовые давления зафиксированы в отложениях продуктивных пластов ТП₁₆ ($K_a = 1,31$) и ТП₂₁₋₂₃ ($K_a = 1,69$) танопчинской свиты, а также в пластах БЯ₁ ($K_a = 1,81$) и БЯ₈ ($K_a = 1,98$) ахской свиты (интервал глубин 1840–2592 м). В пределах большей части изучаемой территории Ямало-Ненецкого АО на рассматриваемом стратиграфическом уровне разреза пластовые давления соответствуют гидростатическим.

Так как пластовые давления имеют нормальные (близкие к гидростатическим) и аномальные (начиная с определенной глубины вниз по разрезу) значения, то их распределение в отложениях осадочного чехла с определенной долей условности может быть аппроксимировано двумя (рис. 2) линейными уравнениями

$$P_{\text{пл}} = aH \pm b,$$

где $P_{пл}$ — измеренное значение пластового давления, МПа; H — глубина залегания пласта, м; a , b — безразмерные числовые коэффициенты.

Первое из них соответствует верхней апт-сеноманской части разреза, в которой $P_{пл} \approx P_{гид}$, а второе — более глубокозалегающим отложениям юрского и неокомского возраста, характеризующимся развитием АВПД.

Учитывая установленные закономерности вариаций пластовых давлений, аналогичные приведенным на рис. 2, авторы выполнили районирование территории Ямало-Ненецкого АО по характеру изменений пластовых давлений как в плане, так и в разрезе осадочного чехла, принимая в расчет особенности тектонической и нефтегазогеологической приуроченности месторождений нефти и газа (контуры месторождений, а также границы НГО приняты по данным работы О.М. Ермилова и др. [2]). В результате выполненных исследований территория Ямало-Ненецкого АО была разделена на 33 зоны (рис. 3), для большинства из которых изменения пластовых гидростатических и аномальных давлений аппроксимируются двумя линейными уравнениями в зависимости от глубины залегания.

Выявленные закономерности изменения пластовых давлений в зависимости от глубины залегания продуктивных отложений (для каждой из зон) представляют собой основу для регионального прогноза изменения барических условий нефтегазоносных комплексов в плане исследуемой территории. Для решения поставленной задачи авторами статьи были построены региональные структурные карты масштаба 1:500000 по кровлям сеноманского, аптского, неокомского и юрского продуктивных комплексов в пределах территории Ямало-Ненецкого АО.

Построение карт осуществлялось на основе комплексов материалов сейсмических исследований МОГТ 2D и 3D, а также данных поискового и разведочного бурения, полученных на различных этапах геолого-геофизического изучения территории Ямало-Ненецкого АО.

На следующем этапе структурные карты были преобразованы в карты начальных пластовых давлений (рис. 4) по кровлям указанных основных продуктивных комплексов. Пересчет глубин в пластовые давления осуществлялся на основе выполненного авторами статьи районирования территории Ямало-Ненецкого АО по особенностям изменения пластовых давлений от глубины по системе уравнений вида $P_{пл} = f(H)$, установленных для каждой выделенной зоны.

Если рассмотреть характер изменения пластовых давлений в плане, то отмечаются следующие закономерности. В верхней части разреза, охватывающей отложения альб-сеноманского, и верхней части неокомского нефтегазоносных комплексов, начальные пластовые давления изменяются закономерно,

Рис. 1. Зависимость изменения пластового давления от глубины залегания в северных районах Западно-Сибирской НГП (Ямало-Ненецкий АО)

Fig. 1. Variations in reservoir pressure with respect to depth in northern regions of the West Siberian oil-and-gas province (Yamalo-Nenets AO)

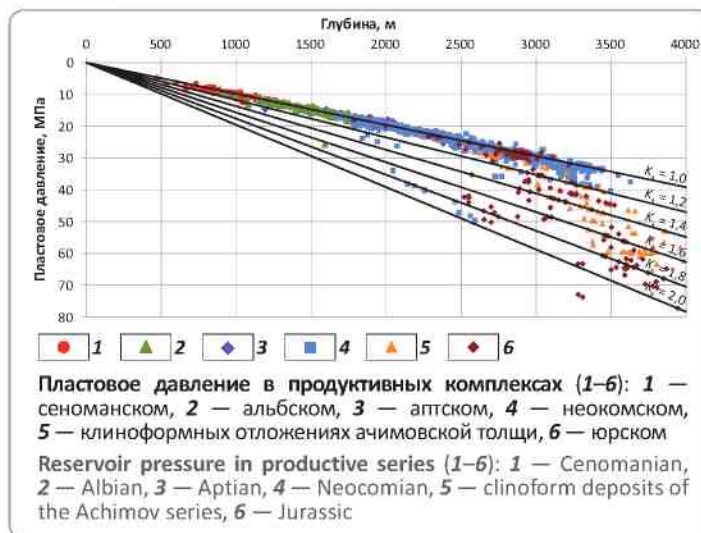
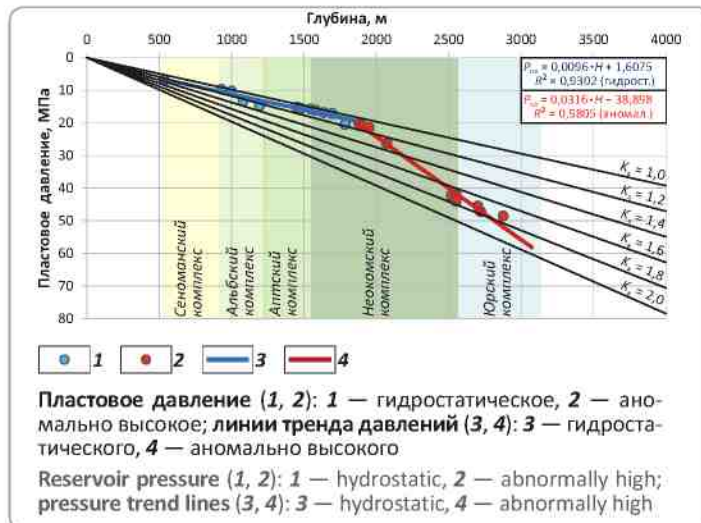


Рис. 2. Зависимость изменения пластового давления от глубины залегания в пределах Харасавэйского газоконденсатного месторождения

Fig. 2. Variations in reservoir pressure with respect to depth in the Kharasaveyskoye gas-condensate field

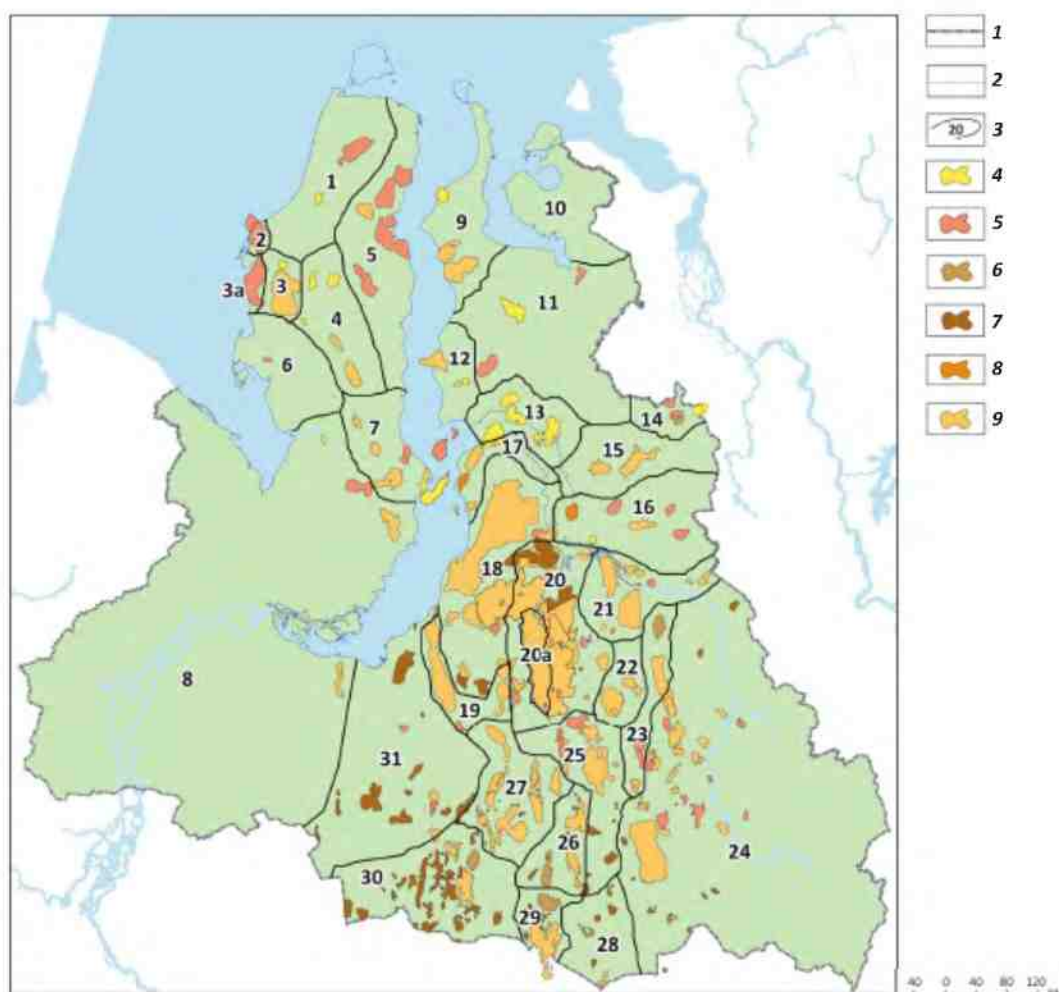


соответствуя в общих чертах особенностям ундуляции структурных планов. При этом максимальные значения пластовых давлений связаны с наиболее погруженными частями осадочного бассейна, а минимальные — со сводовыми и присводовыми участками положительных структур соответственно.

В верхней части неокомского комплекса абсолютный максимум пластовых давлений (30 МПа) зафиксирован в северной части п-ова Ямал. Для большей части территорий полуостровов Ямал и Гыдан характерно начальное пластовое давление около 24 МПа. В южном направлении пластовые давления

OIL AND GAS POTENTIAL AND GEOLOGICAL EXPLORATION RESULTS

Рис. 3. Схема районирования территории Ямало-Ненецкого АО по особенностям изменения пластовых давлений с глубиной
 Fig. 3. Schematic zoning of the Yamalo-Nenets AO territory based on the character of reservoir pressure variations with respect to depth



Границы (1–3): 1 — Ямало-Ненецкого АО, 2 — акваторий, 3 — зон закономерного изменения пластовых давлений и их номера; месторождения (4–9): 4 — газовые, 5 — нефтяные, 6 — газоконденсатные, 7 — нефтегазовые, 8 — газонефтяные, 9 — нефтегазо-конденсатные

Borders of (1–3): 1 — Yamalo-Nenets AO, 2 — offshore areas, 3 — numbers and borders of reservoir pressure variations zones; fields (4–9): 4 — gas, 5 — oil, 6 — gas-condensate, 7 — oil-gas, 8 — gas-oil, 9 — oil-gas-condensate

снижаются, уменьшаясь в среднем до 18 МПа. Минимумы пластовых давлений (10 МПа и менее) прогнозируются в западной, северо-восточной и юго-восточной частях Ямало-Ненецкого АО.

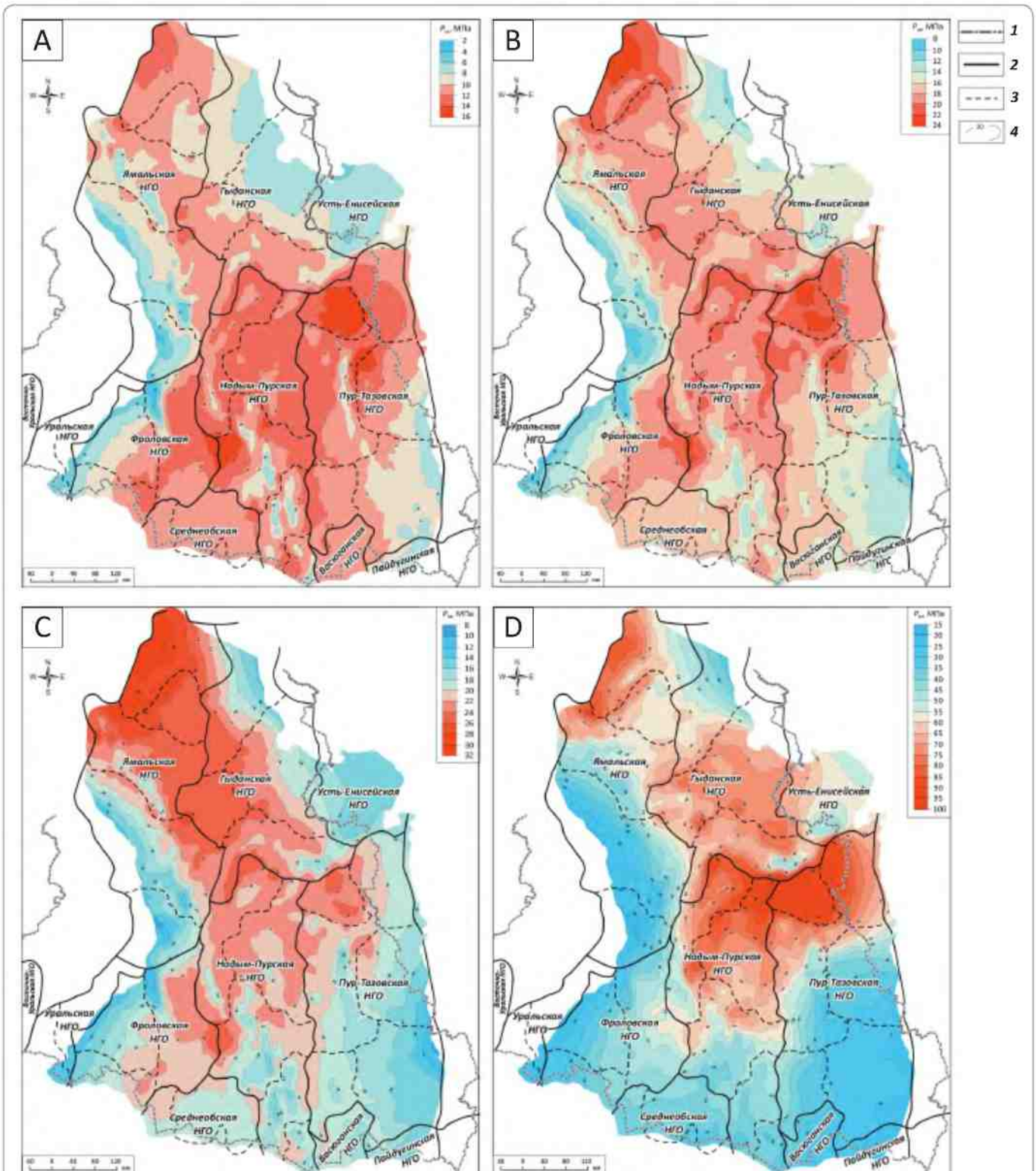
В отложениях юрского продуктивного комплекса максимальные значения пластового давления (90–95 МПа) возможны в пределах Большехетской впадины. На территориях Надым-Пурской и Пур-Тазовской НГО, а также в центральной части п-ова Гыдан пределы изменения пластовых давлений составляют 60–75 МПа. В южной части Ямало-Ненецкого АО пластовые давления изменяются в интервале 35–50 МПа, уменьшаясь до 25–30 МПа в юго-восточном направлении. Необходимо отметить, что АВПД не фиксируются в южной части п-ова Ямал, что обусловлено относительно неглубоким залеганием юрских отложений. Так, в пределах Новопортовского мес-

торожения глубина залегания юрских отложений (пласт Ю₁₋₂) составляет 2483 м. Кроме того, отсутствие АВПД наблюдается в палеозойских образованиях. На Новопортовском месторождении, где палеозойские отложения вскрыты бурением, K_n равен 1,09.

Использование выявленных закономерностей изменения гидростатических и аномально высоких пластовых давлений в зависимости от глубины залегания, а также карт начальных пластовых давлений позволяет осуществлять достоверный прогноз пластовых давлений и коэффициентов их аномальности, что дает возможность выполнять предварительный количественный прогноз ресурсов газа при проведении геолого-экономических и технико-экономических оценок перспективных структур, определенных по результатам сейсмических исследований.

Рис. 4. Карты начальных пластовых давлений по кровлям сеноманского (А), аптского (В), неокомского (С) и юрского (D) продуктивных комплексов

Fig. 4. Maps of initial reservoir pressures on the tops of the Cenomanian (A), Aptian (B), Neocomian (C) and Jurassic (D) productive series



Границы (1–3): 1 — Ямало-Ненецкого АО, 2 — нефтегазоносных областей, 3 — нефтегазоносных районов; 4 — изобары по кровле комплекса, МПа

Borders (1–3): 1 — Yamalo-Nenets AO, 2 — oil-and-gas areas, 3 — oil-and-gas regions; 4 — isobars on the series top, MPa

OIL AND GAS POTENTIAL AND GEOLOGICAL EXPLORATION RESULTS

Кроме того, возможность оценки значений пластовых давлений до начала бурения позволяет обосновывать параметры буровых растворов, обеспечивающих режим оптимального вскрытия продуктивных пластов на равновесии при проведении геолого-разведочных работ на нефть и газ в пределах территории Ямало-Ненецкого АО, что существенно сократит число осложнений, связанных с гидроразрывом пластов, обвалами, прихватами труб и аварийными выбросами пластовых флюидов и буровых растворов. АВПД оказывают благоприятное влияние

на фильтрационно-емкостные свойства продуктивных отложений, увеличивая время естественной эксплуатации нефтяных и газовых месторождений без применения вторичных методов интенсификации. Зоны АВПД, охватывающие нижненеокомские и юрские отложения с гидродинамически изолированными резервуарами, регионально продуктивны, что дает возможность рассматривать их в качестве одного из основных поисковых объектов на нефть и газ в северной части Западно-Сибирской НПП.

Литература / References

1. Александров Б.Л. Аномально высокие пластовые давления в нефтегазоносных бассейнах. – М. : Недра, 1987. – 216 с.
Aleksandrov B.L. Abnormally high formation pressures in oil and gas basins. Moscow: Nedra; 1987. 216 p.
2. Ермилов О.М., Карогодин Ю.Н., Контарович А.Э. Особенности геологического строения и разработки уникальных залежей газа Крайнего Севера Западной Сибири. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – 141 с.
Ermilov O.M., Karogodin Yu.N., Kontarovich A.E. Characteristic features of geological structure and development of unique gas fields in the Extreme North of West Siberia. Novosibirsk: SO RAN; 2004. 141 p.
3. Ибраев В.И. Прогнозирование напряженного состояния коллекторов и флюидоупоров нефтегазовых залежей в Западной Сибири. – Тюмень : ОАО «Тюменский дом печати», 2006. – 208 с.
Ibraev V.I. Forecasting the reservoirs and seal rock stressed state of oil and gas deposits in Western Siberia. Tyumen: ОАО «Tyumenskij dom pečati»; 2006. 208 p.
4. Литвин И.И., Лурье А.И., Абеленцев В.М. и др. Морфология и формирование поля давления зоны преимущественного газонакопления Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Сер. Информационное обеспечение общесоюзных научно-технических программ. – М. : ВНИИЭГазпром, 1989. – Вып. 9. – 35 с.
Litvin I.I., Lurje A.I., Abelencev V.M. et al. Morphology and formation of the pressure field in the zone of predominantly gas accumulation of the West Siberian oil-and-gas province. Ser. Informacionnoe obespechenie obshchesoyuznyh nauchno-tekhnicheskijh programm. Moscow: VNIIEGazprom; 1989. Issue 9. 35 p.
5. Нежданов А.А., Бородкин В.Н., Кулахметов Н.Х. Аномальные пластовые давления в залежах различных типов мезозоя Западной Сибири // Тр. ЗапСибНИГНИ. – Тюмень, 1977. – Вып. 144. – С. 77–89.
Nezhdanov A.A., Borodkin V.N., Kulahmetov N.H. Abnormal formation pressures in pools of various types in Mesozoic deposits of the West Siberia. Tr. ZapSibNIGNI. Tyumen, 1977. Issue 144. P. 77–89.
6. Фертль У.Х. Аномальные пластовые давления. Их значения при поисках, разведке и разработке ресурсов нефти и газа. – М. : Недра, 1980. – 398 с.
Fertl U.Kh. Abnormal formation pressures. Their significance for exploration, assessment and development of oil and gas resources. Moscow: Nedra; 1980. – 398 p.
7. Эринчек П.Т. Опробование залежей с АВПД на площадях севера Западной Сибири // Изучение геологического разреза и прогнозирование АВПД : сб. научн. трудов. – Л. : ВНИГРИ, 1987. – С. 138–142.
Erinichek P.T. Testing of pools with abnormal high formation pressure in the fields of the West Siberian North. Izuchenie geologicheskogo razreza i prognozirovanie AVPD: sbornik. nauchn. trudov. Leningrad: VNIGRI; 1987. P. 138–142.