

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Обобщены результаты изучения керна, данные геофизического исследования и вертикального сейсмического профилирования по сверхглубокой параметрической скважине 501 Вершиновская (глубина забоя 7005 м). Получены оценки плотности карбонатов на больших глубинах и интервальных скоростей сейсмических волн в их толще.

*Ключевые слова:* сверхглубокая скважина, карбонатные породы, плотности, скорости сейсмических волн.

Результаты анализа интервальных скоростей продольных сейсмических волн, оцененных по данным вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в скважинах прибортовых зон Прикаспийской впадины и Предуральского прогиба, а также плотности горных пород, оцененные по геофизическому исследованию скважин (ГИС) и керну, рассмотрены в публикациях (Тюрин, 1999а; 1999б; 2001; 2002). В этой статье приводятся ранее не опубликованные данные по сверхглубокой параметрической скважине 501 Вершиновская.

Скважина 501 Вершиновская пробурена ООО «Газпром добыча Оренбург» в 2001-2003 гг. на юго-восточном склоне Соль-Илецкого свода в зоне его сочленения с Предуральским прогибом и Прикаспийской впадиной. Глубина забоя скважины – 7005 м. Он находится в отложениях эмского яруса нижнего девона. По результатам бурения изучены подсолевые карбонатные отложения девонского, каменноугольного и нижнепермского возраста. Кровля подсолевых карбонатов находится на глубине 4883 м, вскрытая их мощность – 2122 м. Из карбонатов нижней перми получен непромышленный приток углеводородов. Подсолевые карбонаты перекрыты ангидритами филипповского горизонта кунгурского яруса. Их мощность – 95 м. На ангидритах залегают терригенная толща надсолевых отложений. Скважина расположена в мульде между соляными куполами в «безсолевом окне».

Скважина 501 Вершиновская как параметрическая свою задачу выполнила полностью. Она является опорной при региональных обобщениях комплекса геолого-геофизических данных, характеризующих перспективы нефтегазоносности юга Оренбургской области. Через скважину отработано два региональных сейсморазведочных профиля МОГТ. Кроме того, скважиной 501 Вершиновская опосредована Вершиновская структура.

На 3,7 км южнее скважины 501 Вершиновская пробурена поисковая скважина 495 Вершиновская. Ее забой находится на глубине 5300 м в отложениях серпуховского яруса нижнего карбона. Ближайшими скважинами, вскрывшими отложения девона, является поисковая 35 Чиликсайская (забой на глубине 6300 м в отложениях эмского яруса нижнего девона) и параметрическая 1 Нагумановская (забой на глубине 6007 м в отложениях эйфельского яруса среднего девона). Интервальные скорости сейсмических волн в разрезе скважины 501 Вершиновская оценены по данным ВСП. Рассмотрены также данные АК (интервал 1975-6303 м). Однако они учтены только на качественном уровне, поскольку наличие каверн в стволе скважин приводит к большим погрешностям типа «выброс» замеров скорости сейсмического импульса.

Нижняя часть надсолевых отложений в разрезе (уфимский и казанский ярусы нижней перми, интервал 3689-4788 м) представлена неравномерным переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов. Выше – красноватными глинами, алевролитами и песчаниками. Интервальные скорости сейсмических волн в надсолевых отложениях изменяются от 1510 и 2150 м/с (отложения меловой и юрской систем, глубина до 1775 м) до 5433 и 5474 м/с (отложения казанского и уфимского ярусов).

Интервальная скорость в органогенно-детритовых известняках нижней перми (интервал 4883-5344 м) составляет 5987 м/с. При этом карбонаты в интервале 4932-5044 м характеризуются пониженным значением этого параметра – 5500 м/с. Наименьшие скорости отмечаются в интервале 4932-5000 м – 5000 м/с. Это связано с наличием в известняках раковинных гравелитопесчаников.

Интервальная скорость в плотных массивных известняках карбона (интервал 5344-6250 м) – 6292 м/с. Отложения кожимского надгоризонта и турнейского яруса (интервал 6120-6250 м) характеризуются ее пониженным значением – 5306 м/с. Это связано с наличием в них прослоев глинистых известняков и известковистых тонкослоистых аргиллитов. Без учета этого интервала скорость в известняках карбона составляет 6392 м/с.

Карбонаты среднего девона (интервал 6289-6736 м) представлены доломитами и известняками. Доломиты известковистые, микрозернистые. Известняки плотные, крепкие, прослоями редкокавернозные и пористые. Отмечается неравномерная перекристаллизация, местами слабая доломитизация. Интервальная скорость в карбонатах – 6570 м/с.

Карбонаты нижнего девона представлены, в основном, вторичными доломитами по органогенным и органогенно-обломочным известнякам. Интервальная скорость в них (интервал 6736-6980 – последняя точка ВСП) – 6667 м/с. Можно принять, что величина в «6667 м/с» характеризует скорость в доломитах на глубинах более 6500 м.

Средняя плотность горных пород в естественном залегании рассчитана двумя способами – по результатам лабораторного изучения керна и по данным плотностного гамма-гамма-каротажа (ГГК-П). Недостатком первого способа является неравномерность охарактеризованности разреза скважины керном. На результаты второго влияют проникновение промывочной жидкости в поровое пространство горных пород на глубину, соизмеримую с «рабочей глубиной» ГГК-П (до 10 см), а также каверны в стволе скважины. Однако в целом два метода дали близкие результаты. Это говорит о высокой достоверности последних.

Данным ГГК-П охарактеризован интервал глубин 1957-6731 м. Шаг дискретизации наблюдений – 0,2 м. Результатам

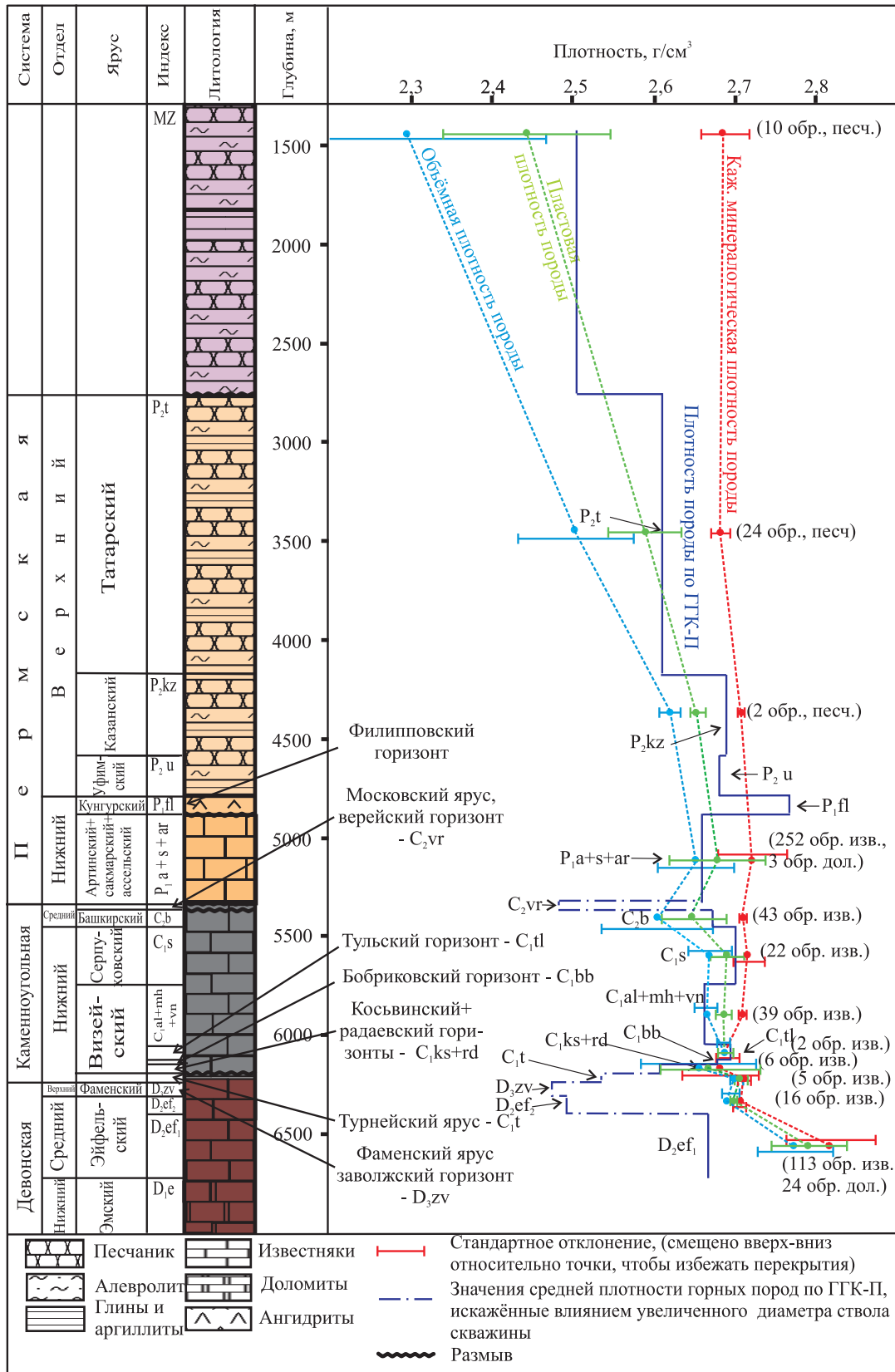


Рис. 1. Параметрическая скважина 501 Вершиновская. Плотности горных пород по результатам лабораторного изучения физико-коллекторских характеристик керна и ГИС (ГКК-П).

лабораторного изучения керна охарактеризован интервал глубин 1049-7001 м. Образцы представлены песчаником (интервале глубин 1049-4314 м, 36 шт.), известняком (493 шт.) и мергелем (5 шт.) (интервал 4903-6405 м), а также доломитом (интервал 6460-7001 м, 63 шт.). Всего 597 образцов.

Способ расчета плотности горных пород в естественном залегании по результатам лабораторного изучения

керна нуждается в пояснении. Изучаемые образцы керна экстрагированы; из их порового пространства полностью удален флюид, поэтому объемная плотность характеризует только плотность породы (т. е. матрицу породы) и порового пространства. Кажущаяся минералогическая плотность породы – это плотность минералов, слагающих породу. Таким образом, разность кажущейся минералогической и объемной плотности изученного образца будет

соответствовать его полному поровому пространству:

$$K_{\text{пн}} = ((\rho_{\text{км}} - \rho_0) / \rho_{\text{км}}) * 100, \quad (1)$$

$\rho_{\text{км}}$  – кажущаяся минералогическая плотность;  $\rho_0$  – объёмная плотность породы;  $K_{\text{пн}}$  – полная пористость породы.

Оценка пористости пород по соотношению их объёмной и минералогической плотностей даёт наиболее достоверные результаты для характеристики пород в естественном залегании.

Поровое пространство пород, слагающих разрез, в естественных условиях заполнено пластовой водой. Плотность пластовых вод получена по результатам бурения скважины 501 Вершинская и других скважин региона. Надсолевые терригенные отложения характеризуются наличием горизонтов с пресной и слабо минерализованной водой. Увеличение плотности вод наблюдается с татарского яруса – 1,00-1,02 г/см<sup>3</sup>. Воды в карбонатах нижней перми имеют плотность 1,147 г/см<sup>3</sup>. В карбонатах башкирского яруса – 1,147-1,165 г/см<sup>3</sup>, фаменского яруса – 1,168 г/см<sup>3</sup>.

Таким образом, результатом вычисления плотности горных пород в естественном залегании по результатам лабораторного изучения керн стала пластовая плотность, которая вычислена по формуле:

$$\rho_{\text{пл}} = \rho_0 + \rho_{\text{пв}} * K_{\text{пн}}, \quad (2)$$

$\rho_{\text{пл}}$  – пластовая плотность породы,  $\rho_0$  – объёмная плотность породы,  $\rho_{\text{пв}}$  – плотность пластовой воды,  $K_{\text{пн}}$  – полная пористость породы.

Плотности горных пород в естественном залегании, рассчитанные двумя способами, показаны на рис. 1. К центру каждого стратиграфического подразделения графика приписано среднее арифметическое плотностей данного интервала.

Наибольшее различие – 0,4 г/см<sup>3</sup>, в объёмной и кажущейся минералогической плотности пород, в пробах из интервала 1049-2407 м;  $K_{\text{пн}}$  меняется от 23,6 до 16,9 %. В пробах интервала 2549-3510 м разность плотностей уменьшалась до 0,2 г/см<sup>3</sup>,  $K_{\text{пн}} = 2,5-9,8$  %. Глубже, за счёт горного давления, разность плотностей уменьшается и не превышает 0,1 г/см<sup>3</sup> ( $K_{\text{пн}} = 0,07-1$  %), кроме отложений башкирского яруса, где  $K_{\text{пн}}$  некоторых образцов достигает 9,9 %.

Разность значений, полученных по ГГК-П и по керну в надсолевых терригенных отложениях, обусловлена тем, что на лабораторный анализ отбирались только образцы песчаника. Т.е. ими не охарактеризованы другие терригенные отложения. Значения средней плотности горных пород, оцененные по ГГК-П, московского (5344-5358 м), турнейского (6189-6250 м), фаменского (6250-6288,5 м) и верхнего эйфельского ярусов (6288,5-6736 м) искажены влиянием увеличенного диаметра ствола скважины (по показаниям каверномера).

В качестве достоверных можно принять следующие значения средней плотности горных пород в естественном залегании:

– породы филлиповского горизонта кунгурского яруса, представленные преимущественно ангидритами, (интервал 4788-4883 м) – 2,770 г/см<sup>3</sup>;

– известняки башкирского (5358-5449 м) – 2,648 +/- 0,040 г/см<sup>3</sup>, серпуховского ярусов (5449-5741 м) – 2,689 +/- 0,021 г/см<sup>3</sup>, окского горизонта (5741-6053 м) – 2,685 +/- 0,010 г/см<sup>3</sup>, эйфельского верхнего (6288,5-6381 м) – 2,699 +/- 0,007

и нижнего подъярусов (6381-6736 м) – 2,791 +/- 0,047 г/см<sup>3</sup>; – доломиты эмского яруса (интервал 6736-7005 м) – 2,820 +/- 0,019 г/см<sup>3</sup>.

Плотность ангидритов филлиповского горизонта оценена по данным ГГК-П, а известняков и доломитов ниже лежащих отложений – по керну. Цифры с «+/-» соответствуют стандартному отклонению.

Таким образом, по результатам бурения сверхглубокой параметрической скважины 501 Вершинская изучены физические характеристики карбонатов на больших глубинах. Впервые выполнено обобщение результатов изучения керн, данных ГИС и ВСП, характеризующих плотности карбонатов и интервальные скорости сейсмических волн в их толще. Эти данные необходимы для повышения достоверности интерпретации результатов сейсморазведки и гравиметрии, а также расчетов горного давления при проектировании сверхглубоких скважин.

## Литература

Тюрин А.М. Геолого-геофизические характеристики пород надсолевого и солевого комплексов северо-восточной части Прикаспийской впадины. *Недра Поволжья и Прикаспия*. Вып. 18. 1999. 37-43.

Тюрин А.М. К вопросу о физических основах комплексирования грави- и сейсморазведки при работах на нефть и газ. *Недра Поволжья и Прикаспия*. Вып. 32. 2002. 23-28.

Тюрин А.М. Некоторые особенности распределения интервальных сейсмических скоростей в отложениях прибортовых зон Прикаспийской синеклизы и Предуралья прогиба. *Недра Поволжья и Прикаспия*. Вып. 20. 1999. 53-58.

Тюрин А.М. Особенности распределения по глубине плотностей надсолевых отложений прибортовой зоны северо-востока Прикаспийской синеклизы. *Российский геофизический журнал*. № 23-24. 2001. 126-128.

## А.М. Turin, R.R. Temirbaev. Physical characteristics of the carbonaceous rocks at big depths.

Research result of the well core, well log survey, vertical seismic profiling in the stratigraphic super-deep well Vershinovskay 501 were generalized in this article (bottom-hole depth is 7005 м). We estimated density and velocity of the carbonaceous rocks in different intervals at big depth.

*Keywords:* super-deep well, carbonates strata, densities, seismic waves' velocity.

### Рамиль Ренатович Темирбаев

Инженер лаборатории геофизики. Научные интересы: геологическое моделирование резервуаров нефти и газа.

ООО «ВолгоУралНИПИГаз». 460000, Россия, Оренбург, Пушкинская ул., д.20. Тел.: (3532) 77-09-93, 34-04-58.

### Анатолий Матвеевич Тюрин

Зав. лаборатории геофизики. Научные интересы: изучение физических свойств горных пород, оптимизация методики полевых геофизических работ, разработка специальных приемов обработки и интерпретации полевых данных, построение типовых геолого-геофизических моделей изучаемых объектов, комплексирование геофизических методов исследований и методика геологоразведочных работ.

ООО «ВолгоУралНИПИГаз». 460000, Россия, Оренбург, Пушкинская ул., д.20. Тел.: (3532) 77-09-93, 34-04-58.