

*Розглянуто методику розрахунку профілю підняттявої криволінійної свердловини, пробуреної з підземного гірського вироблення. Описано конструкцію і принцип дії бурового снаряду для буріння із заданою кривизною профілю свердловини.*

**Ключові слова:** підземне буріння, підняттява свердловина, профіль, радіус викривлення, відхилювач безперервної дії.

*The design procedure of a profile of the rising curvilinear well drilled from an underground excavation is considered. The design and a principle of action of a chisel shell for drilling with the set curvature of a profile of a well is described.*

**Key words:** the underground drilling, rising well, profile, curvature radius, deflecting tool of continuous action.

### **Литература**

1. Юшков А. С., Корсаков А. Д. Новые технические средства для искусственного искривления скважин при подземном бурении // Техн. и технол. геол.-развед. работ в Сибири. – Томск: ТПИ, 1981. – С. 69–75.
2. Юшков А. С. Проектирование криволинейных восстающих скважин сложного профиля: реф. карты. – М.: ЦНИЭИуголь, 1979. – Вып. 10(118). – № 835. – 18 с.
3. А. с. 595497 СССР, М. Кл<sup>2</sup> Е 21 В 47/022. Гидравлический ориентатор / А. С. Юшков; Донецк. политехн. ин-т (СССР). – № 2148082/22-03; Заявл. 25.06.1975; Опубл. 28.02.78, Бюл. № 8.
4. А. с. 744106 СССР, М. Кл<sup>2</sup> Е 21 В 7/08. Снаряд для направленного бурения / А. С. Юшков, Б. Ф. Головченко, А. Д. Корсаков и др.; Донецк. политехн. ин-т и Тематическая экспедиция ПО «Укруглегеология». – № 2582171/22-03; Заявл. 20.02.78; Опубл. 30.06.80, Бюл. № 24.

*Поступила 11.06.12*

УДК 622.24

**Г. М. Эфендиев<sup>1</sup>, И. И. Джанзаков<sup>2</sup>, С. К. Буктыбаева<sup>2</sup>, А. Аббасов<sup>1</sup>, Э. М. Нагиев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт Геологии НАН Азербайджана, г. Баку*

<sup>2</sup> *Атырауский Институт нефти и газа, Республика Казахстан*

<sup>3</sup> *Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия, г. Баку*

### **АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ, ПОСТУПАЮЩИМ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ СКВАЖИН**

*Рассматриваются закономерности изменения физико-механических свойств горных пород (в частности, петрофизических характеристик и коэффициента Пуассона) геологических разрезов, определённые по технологическим данным бурения скважин. Анализу подвергались данные по скважинам месторождения Гюнешли, пробуренным в различных участках, полученные по результатам геолого-технологических исследований в процессе бурения и реализации соответствующей программы, позволяющей по отмеченным исследованиям оценить различные характеристики геологического разреза, в том числе и показатели физико-механических свойств горных пород (пористость, проницаемость, коэффициент Пуассона, твёрдость и др.). Построены зависимости коэффициента Пуассона от пористости и глинистости, а также взаимосвязь между средневзвешенными значениями глинистости и пористости.*

**Ключевые слова:** аномально высокие пластовые давления, горные породы, твёрдость, пористость, коэффициент Пуассона.

## **Введение**

Одним из основных вопросов при изучении геологических разрезов является установление закономерностей изменения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), а также механических свойств пород по разрезу и месторождению. В разное время изменение ФЕС пород с глубиной их погружения занимались различные исследователи. В процессе исследований производилось установление, как характера изменения пород, так и влияния тех или иных факторов на рассматриваемые свойства.

Так, для различных районов были построены зависимости, подтвердившие известную тенденцию снижения пористости и проницаемости пород по разрезу.

Влияние фактора глубины на изменение ФЕС механических свойств пород и специфики проявления этого процесса продолжают использовать, и это позволяет лучше понять закономерности поведения рассматриваемых параметров в различных типах разрезов [1–3].

Различие геологических особенностей большинства месторождений обусловлено различиями характера зависимостей с глубиной. Так, с увеличением глубины на характер изменения ФЕС и механических свойств влияет наличие в разрезах зон аномально высокого пластового давления (АВПД), что, в частности, характерно для большинства месторождений. Анализ корреляционной взаимосвязи порового давления и пористости глинистых пород обеспечивает возможность прогнозирования зон аномально высокого давления и их количественной оценки на основании прямых и косвенных измерений изменения пористости глин с глубиной. Основная процедура при этом заключается в том, чтобы установить тенденцию уменьшения пористости пород с глубиной в нормальных условиях, обнаружить и количественно оценить отклонения от этой тенденции в зонах АВПД. В настоящее время геолого-технологические исследования позволяют получать такую информацию в процессе бурения, что, в свою очередь, обеспечивает возможность оперативного принятия решений, регулирования параметров бурового раствора для предотвращения нефтегазодопрооявлений и(или) обвалов глинистых пород непосредственно в процессе бурения. В связи с этим в последние годы наблюдается интенсивное развитие методов и систем получения геолого-технологической информации в процессе бурения, что позволяет на основе комплексной информации о режимных параметрах, параметрах бурового раствора, результатов анализа керна и шлама контролировать процесс бурения скважин, оперативно решать задачи как геологического характера (выделение продуктивных пластов АВПД), литологическое расчленение разреза, оценка фильтрационно-ёмкостных характеристик пластов), так и технологического. Одной из важнейших деформационных характеристик горных пород является коэффициент Пуассона. Значения коэффициента Пуассона зависят от состава пород, структуры их пустотного пространства, наличия и состава дисперсной глинистости, характера насыщения, пластового давления и напряженного состояния и в то же время играют большую роль при расчёте давления гидроразрыва. По коэффициенту Пуассона можно прогнозировать характер насыщения коллекторов на некоторое расстояние от скважины. В результате комплексного анализа установлено [4], что для газонасыщенных высокопористых песчаников коэффициент Пуассона  $\nu < 0,24$ . Для водонасыщенных песчаников коэффициент Пуассона  $0,30 < \nu < 0,33$ ; для смеси флюидов (газ, нефть, вода)  $0,24 < \nu < 0,30$ ; для водонасыщенных глинистых песчаников  $0,33 < \nu < 0,48$ . В настоящей работе, а также в работе [5] статистически исследована зависимость коэффициента Пуассона от петрофизических характеристик пород соответственно Днепровско-Донецкой впадины и некоторых месторождений Азербайджана. Поскольку обычно получаемые таким образом закономерности не универсальны, такой анализ необходим для расчетов по каждому рассматриваемому месторождению (или региону). Как отмечают исследователи, по аномалиям коэффициента Пуассона, можно также выделять зону аномального пластового давления. При этом в условиях повышенного давления отмечаются высокие значения коэффициента Пуассона – 0,35–0,45. В условиях пониженного пластового давления отмечаются низкие значения коэффициента Пуассона

$0,15 < \nu < 0,30$  [6]. Кроме того, коэффициент Пуассона имеет важное значение при оценке давления гидроразрыва, механизм которого тесно связан с упругими характеристиками горных пород, в частности, с коэффициентом Пуассона.

Теоретическая модель для расчета коэффициента Пуассона приведена в [7]. В качестве основного фактора, влияющего на изменение коэффициента Пуассона, принято совместное действие напряженности среды, нелинейности деформирования и трёхмерной волнового процесса в многофазных телах.

В целом, как показывают результаты анализа, изучение закономерностей изменения свойств горных пород исследователи занимаются долгие годы. Всё это имеет большое значение и позволяет добиться повышения качества вскрытия продуктивных горизонтов, скорости проходки, а также эффективности поисков, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений.

### Результаты исследований и их обсуждение

В настоящей работе приведены результаты статистического анализа данных о литолого-ёмкостных и механических свойствах пород, составляющих геологический разрез, на примере месторождения Гюнешли. В результате статистического анализа данных о бурении скважин установили закономерности изменения пористости и твёрдости пород с глубиной с внесением поправки на влияние градиента порового давления в условиях АВПД и их распределения по месторождению для отдельных стратиграфических подразделений, что, в свою очередь, обеспечит возможность обоснования геологических условий проводки скважин, уточнения технологических параметров и будет способствовать повышению эффективности принимаемых при этом решений [8]. В таблице приведены значения петрофизических характеристик, на рис.1 показана зависимость между средневзвешенными значениями пористости и глинистости. Как видим, для рассматриваемого разреза пористость снижается с повышением глинистости, подчиняясь степенному закону. Результаты анализа работ по геолого-технологическим исследованиям в процессе бурения скважин, свидетельствуют о возможности прогнозирования свойств горных пород согласно данным о бурении скважин, в том числе литологии, пористости, буримости (в литературе соответственно буровой пористости и буровой прочности). Взаимосвязь характеристик пород, а также их связь с технологическими параметрами бурения позволяют оценивать по данным бурения различные характеристики геологического разреза. Однако для получения более точных результатов при прогнозировании характеристик геологического разреза расчётные данные уточняли с помощью результатов ГИС, а также выполненных на кернах. Так, пористость и коэффициент Пуассона оценивали по данным о бурении скважин с помощью программы, позволяющей оценить это наряду с другими характеристиками геологического разреза, а также по результатам исследований керно-шламового материала и ГИС. В результате корреляционного анализа построили зависимости коэффициента Пуассона от содержания глины и коэффициента пористости отдельно для песчаников и глин (рис. 2) и аналитическое выражение

$$\nu = aC^n k_{п}^m, \quad (1)$$

где  $C$  – глинистость;  $k_{п}$  – коэффициент пористости; для глин:  $a = 0,24; n = 0,23, m = -0,17$ ; для песчаников:  $a = 0,131, n = 0,19, m = -0,54$ .

Зависимость твердости горных пород от глубины показана на рис. 3. Под давлением вышележащих пород глины, уплотняясь, отдают связанную воду; при этом твердость горных пород с глубиной в нормальных условиях должна повышаться. Эта зависимость носит неоднозначный характер. Как показали результаты анализа, рассматриваемого разреза характерны зоны АВПД, где существенно снижается твердость. Поэтому при построении зависимости сначала использовали значения, характеризующие нормальные зоны, а точки, характеризующие значения твердости в зонах АВПД, выделили.

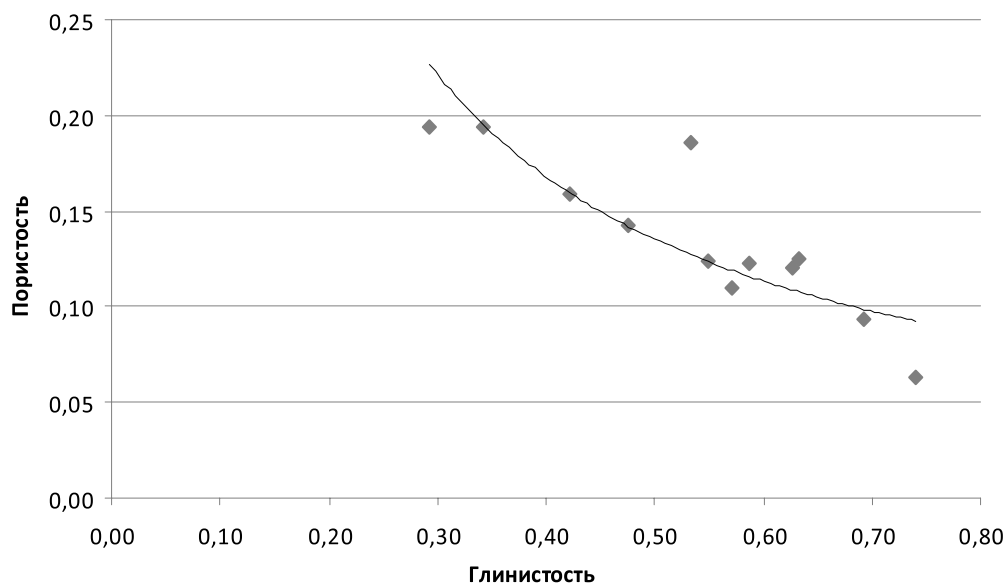


Рис.1. Зависимость между средневзвешенными значениями пористости и глинистости

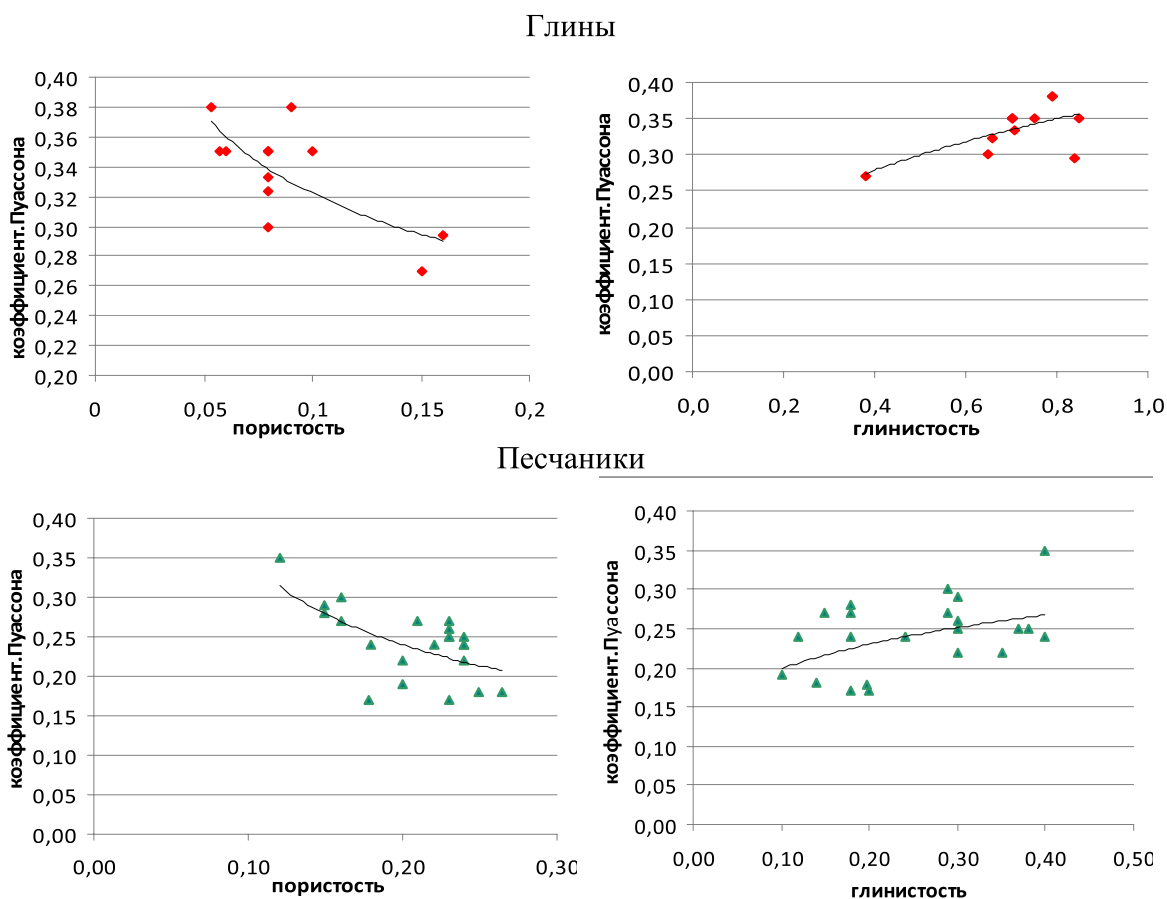


Рис.2. Зависимости коэффициента Пуассона от петрофизических параметров глин и песчаников

В результате статистического анализа аппроксимировали зависимость твердости от глубины для нормальной зоны следующим образом:

$$p_{ш} = 1060H^{0,306}, \quad (2)$$

где  $p_{ш}$  – твердость пород, МПа;  $H$  – глубина.

**Средние литологические, ёмкостные и упругие характеристики разреза месторождения  
Гюнешли**

| Стратиграфическое подразделение | Глубина, м | Горные породы |        | Глинистость | Плотность | Пористость | Коэффициент Пуассона |
|---------------------------------|------------|---------------|--------|-------------|-----------|------------|----------------------|
|                                 |            | Литология     | Сод, % |             |           |            |                      |
| Древне-Каспийские отложения     | 147–380    | глина         | 70     | 0,85        | 1800      | 0,1        | 0,35                 |
|                                 |            | песок         | 20     | 0,1         | 1800      | 0,2        | 0,19                 |
|                                 |            | песчаник      | 10     | 0,18        | 2000      | 0,15       | 0,28                 |
| Апшеронский ярус                | 380–610    | глина         | 70     | 0,79        | 2000      | 0,09       | 0,38                 |
|                                 |            | песок         | 15     | 0,15        | 1800      | 0,21       | 0,27                 |
|                                 |            | песчаник      | 10     | 0,12        | 2300      | 0,18       | 0,24                 |
|                                 |            | известняк     | 5      | –           | 2000      | 0,2        | –                    |
| Акчагильский ярус               | 610–700    | глина         | 90     | 0,75        | 2000      | 0,08       | 0,35                 |
|                                 |            | песок         | 10     | 0,18        | 1800      | 0,22       | 0,24                 |
|                                 |            | вулк.пепел    | –      | –           | –         | –          | –                    |
| Сураханская свита               | 700–1850   | глина         | 75     | 0,708       | 2200      | 0,08       | 0,333                |
|                                 |            | песок         | 15     | 0,37        | 1800      | 0,24       | 0,25                 |
|                                 |            | песчаник      | 10     | 0,4         | 2800      | 0,24       | 0,24                 |
| Сабунчинская свита              | 1850–2275  | глина         | 65     | 0,66        | 2100      | 0,08       | 0,324                |
|                                 |            | песчаник      | 15     | 0,381       | 2800      | 0,23       | 0,25                 |
|                                 |            | песок         | 10     | 0,198       | 1600      | 0,25       | 0,179                |
|                                 |            | алевролит     | 10     | 0,44        | 2300      | 0,12       | –                    |
| Балаханская свита               | 2275–3400  | песчаник      | 45     | 0,35        | 2600      | 0,2        | 0,22                 |
|                                 |            | глина         | 40     | 0,84        | 2000      | 0,16       | 0,294                |
|                                 |            | песок         | 10     | 0,18        | 1600      | 0,23       | 0,17                 |
|                                 |            | алевролит     | 5      | 0,45        | 2300      | 0,17       | –                    |
| Свита Перерыва                  | 3400–3530  | песчаник      | 35     | 0,24        | 2500      | 0,24       | 0,24                 |
|                                 |            | песок         | 35     | 0,14        | 1800      | 0,265      | 0,18                 |
|                                 |            | глина         | 30     | 0,7         | 2000      | 0,057      | 0,35                 |
| НКГ                             | 3530–3700  | глина         | 90     | 0,79        | 2000      | 0,053      | 0,38                 |
|                                 |            | песок         | 10     | 0,3         | 1500      | 0,15       | 0,29                 |
| НКП                             | 3700–3750  | песчаник      | 45     | 0,3         | 2600      | 0,24       | 0,22                 |
|                                 |            | песок         | 35     | 0,4         | 2000      | 0,12       | 0,35                 |
|                                 |            | глина         | 20     | 0,38        | 1800      | 0,15       | 0,27                 |
| КС                              | 3750–3970  | глина         | 65     | 0,7         | 2000      | 0,06       | 0,35                 |
|                                 |            | песчаник      | 15     | 0,3         | 2600      | 0,23       | 0,26                 |
|                                 |            | песок         | 10     | 0,29        | 1800      | 0,16       | 0,3                  |
|                                 |            | алевролит     | 10     | 0,42        | 2300      | 0,2        | –                    |
| ПК                              | 3970–4070  | песчаник      | 60     | 0,29        | 2600      | 0,23       | 0,27                 |
|                                 |            | песок         | 30     | 0,18        | 1800      | 0,16       | 0,27                 |
|                                 |            | глина         | 10     | 0,65        | 2000      | 0,08       | 0,3                  |
| КаС                             | 4070–4100  | глина         | 50     | 0,7         | 2000      | 0,08       | 0,35                 |
|                                 |            | песок         | 25     | 0,2         | 2600      | 0,178      | 0,17                 |
|                                 |            | песчаник      | 25     | 0,3         | 1800      | 0,23       | 0,25                 |

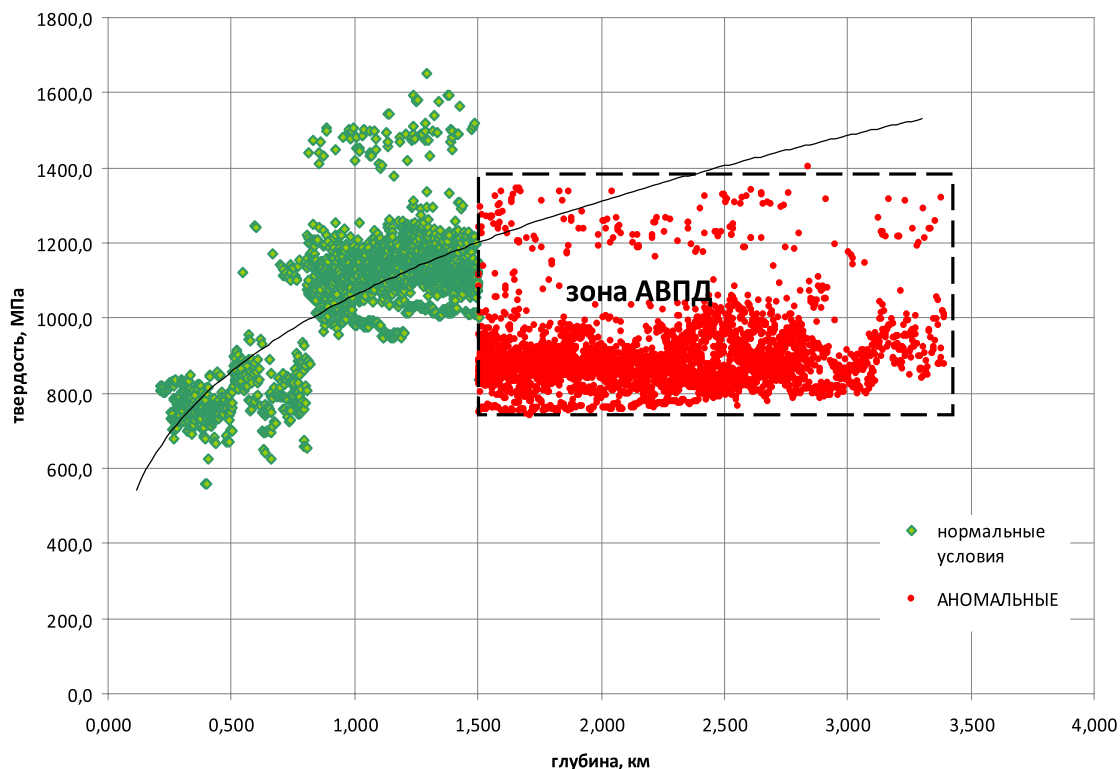


Рис.3. Зависимость твердости горных пород от глубины

Зависимость (2) показывает изменение твердости в зонах нормального давления.

Для зон с АВПД ярко выраженной зависимости от глубины установить не удалось. Однако с увеличением градиента порового давления прослеживается закономерное снижение твердости, которая изменяется следующим образом:

$$p_{ш} = 929,5e^{-0,20(\eta_{п} - \eta_{н})},$$

где  $(\eta_{п} - \eta_{н})$  – разность фактического и нормального градиентов порового давления.

Объединив выражения (1) и (2), можно получить следующую зависимость твердости от глубины и градиента порового давления:

$$p_{ш} = 820H^{0,126}e^{-0,084(\eta_{п} - \eta_{н})},$$

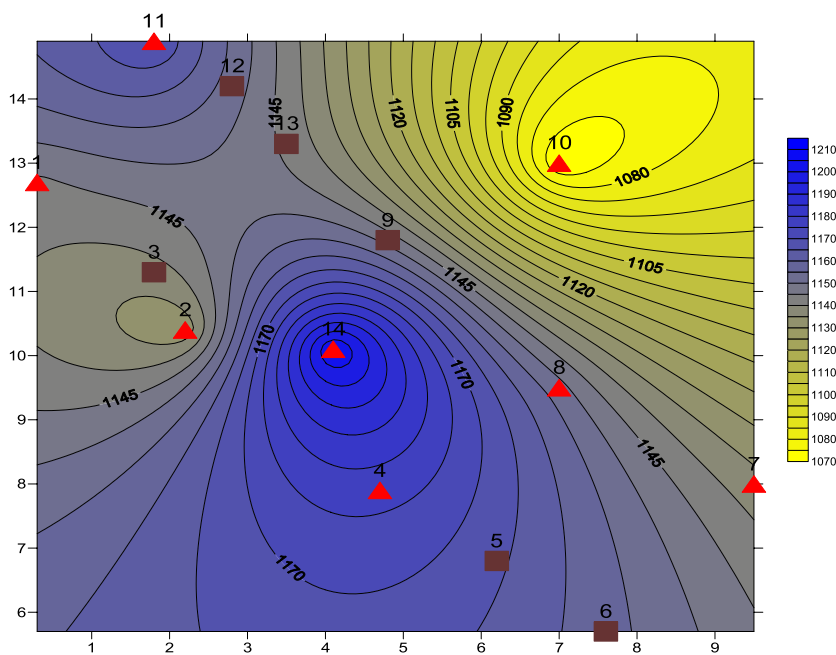


Рис.4. Распределение твёрдости пород по месторождению

Результаты статистического анализа и сравнительных расчетов показали, что средняя погрешность составляет 8,5%. По данным расчетов построили распределение твёрдости по месторождению на примере одной из свит. рис. 4.

Треугольниками на рис. 4 обозначены скважины, по данным которых построили карту, квадрат – скважины, для которых с помощью этой карты осуществили прогноз.

Аналогично проанализировав ФЕС горных пород.

Путём сравнения данных, полученных по результатам ГИС и керновых исследований, с расчётными данными по сигма-каротажу в результате применения статистических приёмов откорректировали расчётные значения пористости и рассчитали глинистость отдельно для песчаников и глинистых пород (породы выделяли с помощью сигма-каротажа, характеризующего литологию). На рис. 5 показано изменение откорректированной пористости и соответствующей расчётной глинистости для глин и песчаников с глубиной на примере одной из скважин. Здесь же показаны  $d$ -экспонента и сигма-каротаж, где линией нормального уплотнения выделили начало зоны АВПД, соответствующее глубине 410–430 м. С этого интервала плотность бурового раствора повысилась до  $1550 \text{ кг/м}^3$ , что согласуется с расчётными значениями градиента порового раствора.

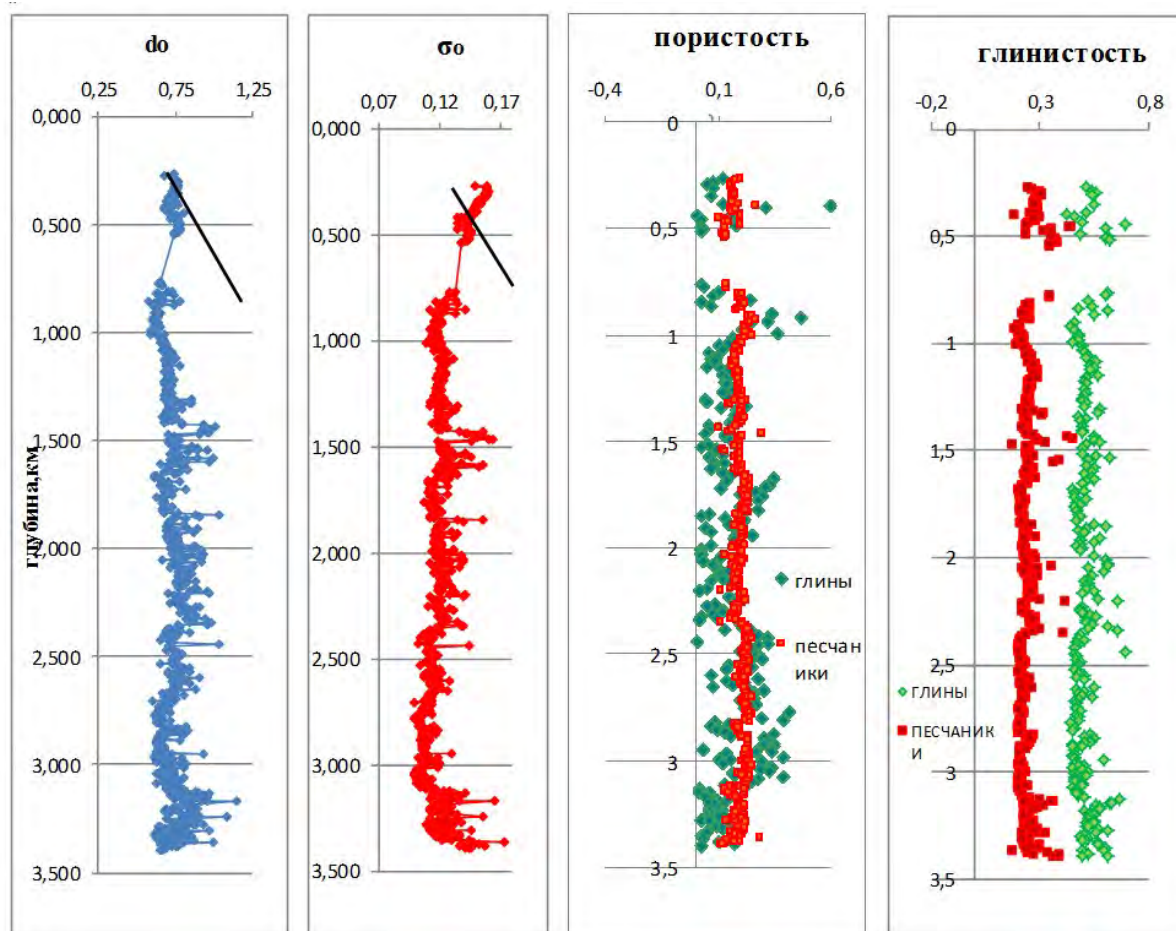


Рис. 5.  $d$ -экспонента, сигма-каротаж, изменение пористости и глинистости с глубиной

### Выводы

По данным статистического анализа данных о бурении скважин установлены закономерности изменения пористости и твёрдости пород с глубиной с поправкой на влияние градиента порового давления в условиях АВПД, что, в свою очередь, обеспечит возможность обоснования геологических условий проводки скважин, уточнения технологических параметров и будет способствовать повышению эффективности принимаемых при этом решений.

С помощью статистического анализа показана и реализована возможность оценки пористости и глинистости для глин и песчаников, составляющих разрез рассматриваемого месторождения, по технологическим данным, поступающим в процессе бурения скважин.

Получены зависимости коэффициента Пуассона от пористости и глинистости для глин и песчаников по технологическим данным о бурении скважин, которые показывают,

что с повышением глинистости коэффициент Пуассона повышается, а с повышением пористости – снижается.

*Розглядаються закономірності зміни фізико-механічних властивостей гірських порід (зокрема, петрофізичних характеристик і коефіцієнта Пуассона) геологічних розрізів, визначені за технологічними даними буріння свердловин. Аналізу піддавалися дані по свердловинах родовища Гюнешлі, пробурених в різних ділянках, отримані за результатами геолого-технологічних досліджень у процесі буріння і реалізації відповідної програми, що дозволяє за позначеними дослідженням оцінити різні характеристики геологічного розрізу, в тому числі і показники фізико-механічних властивостей гірських порід (пористість, проникність, коефіцієнт Пуассона, твердість і ін.) Побудовано залежності коефіцієнта Пуассона від пористості і глинистості, а також взаємозв'язок між середньозваженими значеннями глинистості і пористості.*

**Ключові слова:** аномально високі пластові тиски, гірські породи, твердість, пористість, коефіцієнт Пуассона.

*Regularity in changes of the physico-mechanical properties (such as petrophysical characteristics and Poison's ratio) of the formations in geological sections determined by technological information while drilling described in the article. Geological and technological researches while drilling and implementation of the corresponding software helped to gather and analyze information from the wells drilled at Guneshly field. Mentioned researches allow to estimate different characteristics of geological sections, including physico-mechanical properties (porosity, permeability, Poison's ratio, hardness, and etc.) of the rocks. Dependences of Poison's ratio from porosity and clayiness were built.*

**Key words:** abnormal formation pressures, rocks, hardness, porosity, Poison's ratio.

### Литература

1. Икон Е. В., Конюхов В. И., Мороз М. Л. Закономерности изменения коллекторских свойств пород с глубиной их залегания во фроловской мегавпадине // Вестн. Недропользователя. – № 20. – 2009. – Режим доступа: [www.oilnews.ru/magazine/2009-20-04.html](http://www.oilnews.ru/magazine/2009-20-04.html)
2. Изучение и прогнозирование параметров сложных природных резервуаров нефти и газа Южно-Каспийской впадины / М. Т. Абасов, Ю. М. Кондрушкин, Р. Ю. Алиярв, Л. Г. Крутых. – Баку: Nafta-Press, 2007. – 217 с.
3. Ирбэ Н. А., Шестакова Л. Ф. Закономерности изменения пористости и проницаемости осадочных пород Западной Сибири // Тр. ЗапСибНИГНИ. – Тюмень, 1986.
4. Сорокин А. П., Мегедь Г. В. Петрофизические свойства резервуаров углеводородов в гетерогенной анизотропной среде по данным ПМ ВСП и ГИС // Науч.-техн. вестн. «Каротажник». – Тверь, 2002. – Вып. 97. – С. 74–89.
5. К оценке коэффициента Пуассона и давления гидроразрыва горных пород / Г. М. Эфендиев, Н. М. Джафарова, М. С. Бабаев и др. // Тез. 5-й междунар. науч.-практ. конф. «Освоение ресурсов трудноизвлекаемых и высоковязких нефтей», 3–6 окт. 2005 г. – Геленджик. Краснодар, 2005. – С. 19–20.
6. Сонич В. П., Черемисин Н. А., Батурин Ю. Е. Влияние снижения пластового давления на фильтрационно-емкостные свойства пород // Нефтяное хоз-во. – № 9. – 1997. – С. 52–57.
7. Кулиев Г. Г. Определение коэффициента Пуассона в напряженных средах. Геофизика // Докл. АН РФ. – 2000. – Т. 370. – № 4. С. 534–537.
8. Эфендиев Г. М., Нагиев Э. М. Оценка и анализ закономерностей изменения показателей физико-механических свойств пород по технологическим данным бурения скважин // Нефтяное хоз. – 2011.

Поступила 02.07.12