



УДК 552.08:53

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ ФИЗИЧЕСКИХ И КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

### INVESTIGATION OF THE ANISOTROPY OF THE PHYSICAL AND RESERVOIR PROPERTIES OF ROCKS

**Комаров Александр Герасимович**

старший преподаватель  
кафедры геофизических методов поисков и разведки,  
Кубанский государственный университет  
ag-komarov@mail.ru

**Викулов Георгий Евгеньевич**

студент 4 курса  
кафедры геофизических методов поиска и разведки,  
Кубанский государственный университет  
goshanss@rambler.ru

**Арнбрехт Анастасия Эдуардовна**

студент 4 курса  
кафедры геофизических методов поиска и разведки,  
Кубанский государственный университет  
n.arnbrekht@yandex.ru

**Захарченко Евгения Ивановна**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующая кафедрой геофизических методов  
поисков и разведки,  
Кубанский государственный университет  
evgenia-zax@yandex.ru

**Абдулова Светлана Александровна**

инженер 1 категории  
ООО «НК «Роснефть» – НТЦ»  
s4558142@yandex.ru

**Аннотация.** Неоднородность горных пород влечет за собой изменение физических и коллекторских свойств вдоль и поперек плоскости напластования. Для составления наиболее эффективных проектов разработки месторождений углеводородов крайне важно учитывать коэффициенты анизотропии. В рамках работы была изучена анизотропия фильтрационных, электрических и акустических свойств пород чокракского яруса, широко распространённого на юге России. Выявлены основные закономерности и взаимосвязи изменения коэффициентов анизотропии.

**Ключевые слова:** анизотропия, фильтрационные параметры, параметр пористости, акустические свойства.

**Komarov Alexander Gerasimovich**

Senior Lecturer,  
Department of Geophysical Methods of  
Prospecting and Exploration,  
Kuban State University  
ag-komarov@mail.ru

**Vikulov Georgy Evgenyevich**

4th year Student,  
Department of Geophysical Methods of  
Prospecting and Exploration,  
Kuban State University  
goshanss@rambler.ru

**Arnbrecht Anastasia Eduardovna**

4th year student,  
Department of Geophysical Methods of  
Prospecting and Exploration,  
Kuban State University  
n.arnbrekht@yandex.ru

**Zakharchenko Evgenia Ivanovna**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Head of the Department of Geophysical  
Methods of Prospecting and Exploration,  
Kuban State University  
evgenia-zax@yandex.ru

**Abdulova Svetlana Aleksandrovna**

1st category engineer,  
Rosneft – NTTs LLC  
s4558142@yandex.ru

**Annotation.** The heterogeneity of rocks leads to a change in the physical and reservoir properties along and across the plane of deposition. To compile the most effective field development projects, it is necessary to take into account the anisotropy coefficients. The anisotropy of the filtration, electrical and acoustic properties of rocks of the Chokrak stage, which is widespread in the south of Russia, was studied. The basic laws and dependences of changes in the anisotropy coefficient are revealed.

**Keywords:** anisotropy, filtering parameters, porosity parameter, acoustic properties.

**В**еличина параметров горных пород зависит от того, как они определяются по отношению к плоскостям напластования. Это изменение свойств в зависимости от направления измерения принято называть анизотропией горных пород. Все горные породы в той или иной степени подвержены ей [1].

Изучение литологии и состава песчано-алевритовых пород чокрака показало, что образцы обладают значительной неоднородностью. В образцах наблюдается тонкое переслаивание глинистых, либо алевритистых частиц пород. Очевидно, наличие микрослоистости и каких-либо включения, будет оказывать влияние на свойства пород в разных направлениях. Такие породы называются анизотропными. Для анизотропных пород характерно закономерное расположение частиц относительно



плоскостей напластования, это обуславливается расположением частиц при их осаждении и направлении движения пластовой воды по напластованию.

В связи с этим проведены экспериментальные работы по изучению акустических, электрических и фильтрационных свойств песчано-алевритовых пород. Замеры проводились на кубических образцах перпендикулярно и параллельно напластованию.

В рамках работы было отобрана группа 44 образцов из отложений чокракского яруса, широко распространенного на юге России. Все образцы представлены песчаниками от светло-серого до серого цвета, иногда буровато-серого, характеризуются преимущественно средне- и мелкозернистая структурой. По составу являются кварцевыми, с незначительным содержанием полевых шпатов, а также отмечается наличие слюд. Цемент глинистый, до 25–30 %, в некоторых образцах – глинисто-карбонатный, с наличием карбонатного остатка до 30 %. По степени цементированности песчаники от слабо- до крепкоцементированных, в зависимости от состава и соотношения цементов в объеме пород.

Для всех образцов были определены значения коэффициентов проницаемости ( $K_{пр}$ ), параметра пористости ( $P_n$ ) и интервального времени ( $dt$ ) пробега волны вдоль ( $K_{пр II}$ ,  $P_n II$ ,  $dt II$ ) и перпендикулярно ( $K_{пр \perp}$ ,  $P_n \perp$ ,  $dt \perp$ ) напластованию. Для изучения изменчивости параметров пород были определены значения коэффициентов анизотропии ( $\lambda$ ) для фильтрационных ( $\lambda_{ф}$ ), электрических ( $\lambda_P$ ) и упругих свойств ( $\lambda_{dt}$ ) образцов. По построенным зависимостям от коэффициента пористости ( $K_n$ ),  $K_{пр II}$  и  $K_{пр \perp}$ ,  $P_n II$  и  $P_n \perp$ ,  $dt II$  и  $dt \perp$ , представленным на рисунке 1, можно охарактеризовать основные взаимосвязи параметров.

Сопоставление коэффициентов проницаемости по напластованию и перпендикулярном напластованию, представлена на рисунке 1, а. Значения коэффициента проницаемости по напластованию, как правило выше значений коэффициента проницаемости, замеренных в крест простирания пород [3]. Характер анизотропии для изучаемой группы пород подчиняется закону (1):

$$K_{пр II} = 1,56 K_{пр \perp}^{0,95}, R^2 = 0,99. \tag{1}$$

Образцы со значительными включениями глинистых обломков или обуглившегося растительно-детрита из конкретной группы исключены.

По результатам изучения проницаемости определен коэффициент о фильтрационной анизотропии (2):

$$\lambda_{ф} = \frac{K_{пр II}}{K_{пр \perp}}. \tag{2}$$

Для данного типа пород  $\lambda_{ф}$  колеблется в пределах 1–2. Низкими значениями  $\lambda_{ф}$  характеризуются гранулярные, чистые от цемента песчаники. С увеличением литологической неоднородности растут значения коэффициента анизотропии по фильтрации.

Очевидно, коэффициенты анизотропии по фильтрации влияют на емкостные и фильтрационные свойства пород.

Для низкопористых образцов анизотропия фильтрационных свойств значительна. С ростом пористости и улучшением фильтрационно-емкостных свойств образцов коэффициент анизотропии снижается.

По результатам изучения анизотропии свойств песчаников были установлены вариационные ряды изменения параметра  $\lambda_{ф}$  для пород с различными фильтрационно-емкостными параметрами. Они представлены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1** – Изменение коэффициентов анизотропии для фильтрационных ( $\lambda_{ф}$ ) свойств образцов пород с различным значением коэффициента проницаемости ( $K_{пр}$ )

$K_{пр}$ , мД	$\lambda_{ф}$
0,01 – 0,1	2,1 – 1,85
0,1 – 1	1,85 – 1,64
1 – 10	1,64 – 1,44
10 – 100	1,44 – 1,28
100 – 1000	1,28 – 1,1

**Таблица 2** – Изменение коэффициентов анизотропии для фильтрационных ( $\lambda_{ф}$ ) свойств образцов пород с различным значением пористости ( $K_n$ )

$K_n$ , %	$\lambda_{ф}$
<10	>1,9
10 – 20	1,9 – 1,55
20 – 30	1,55 – 1,15
>30	<1,15

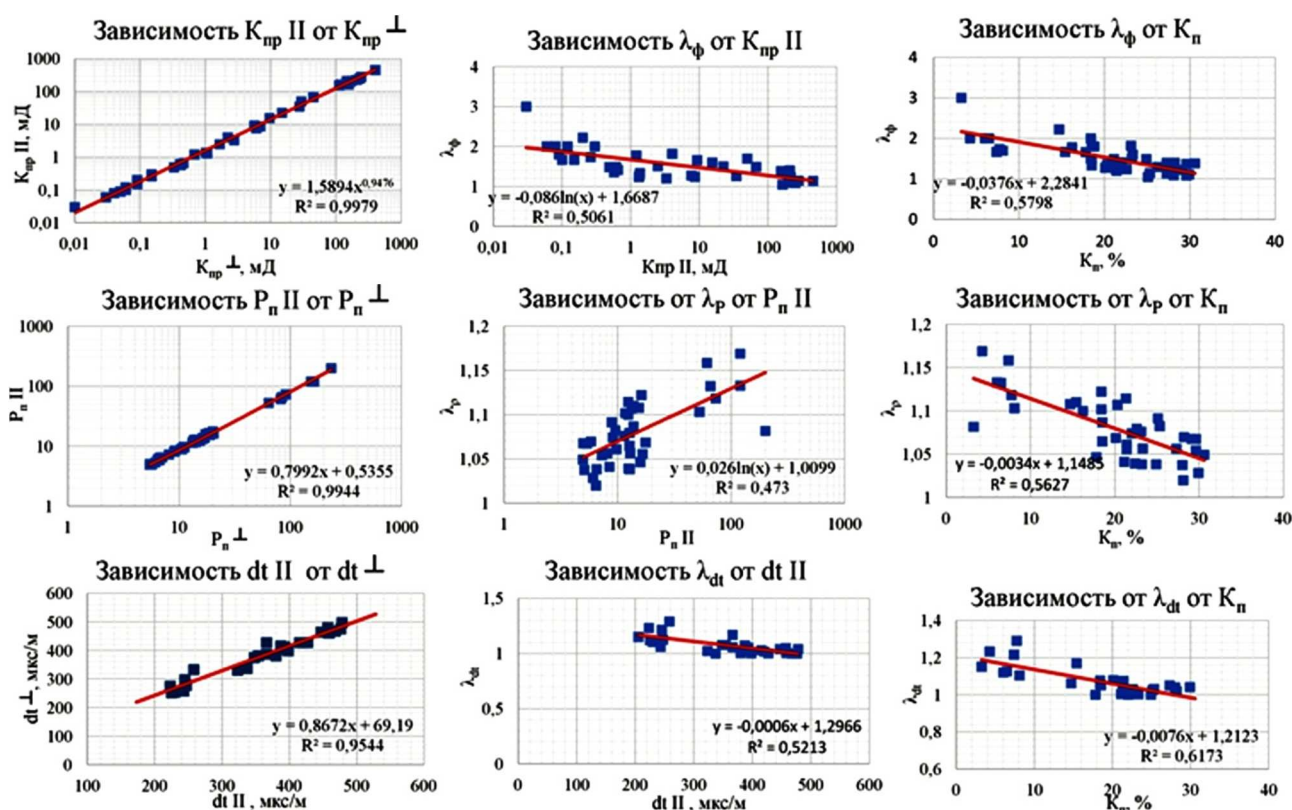


Рисунок 1 – Взаимосвязь коэффициентов анизотропии со свойствами горных пород: а) фильтрационными; б) электрическими; в) акустическими

Изучение анизотропии пород проводилось при определении параметра пористости через удельное электрическое сопротивление образцов вдоль и в крест простиранию пород.

Соотношение значений параметра пористости во взаимно перпендикулярном направлении представлено на рисунке 1, б.

Сопротивление образцов песчаников по напластованию ниже, чем в крест простирания, за счет увеличения просветности каналов по простиранию, как было отмечено выше.

Соотношение значений относительного сопротивления выражается формулой (3):

$$P_{II} = 0,75P_{\perp} + 1,5, R^2 = 0,99. \tag{3}$$

Степень анизотропии характеризуется коэффициентом анизотропии (4):

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{P_{\perp}}{P_{II}}} \tag{4}$$

Как выяснилось, анизотропия по электрическим свойствам для образцов с различной пористостью также неодинакова. Как видно, со снижением коэффициента пористости анизотропия по электрическим свойствам возрастает, поскольку более значительно воздействуют микротрещины, тонкие прослойки глинистого материала и другие неоднородности, наблюдающиеся в образцах пород.

Образцы, которые характеризуются слабой цементированностью, из конкретной группы исключены.

Изменение параметров выражается формулами (5, 6):

$$\lambda_p = 0,03 \ln P_{II} + 0,99, R^2 = 0,59; \tag{5}$$

$$\lambda_p = K_{пр} + 1,16, R^2 = 0,63. \tag{6}$$

По результатам определения электрических свойств проведена оценка изменения коэффициента анизотропии в группах пород с различной емкостью порового пространства (табл. 3).

При изучении пустотного пространства пород часто используется акустический метод, позволяющий на керновом материале определить скорости упругих волн в лабораторных условиях.

Скорость ультразвукового метода контроля (УЗК), как известно, зависит от плотности, пористости и текстурно-структурных особенностей пород [2].

Для изучения анизотропии акустических свойств на кубических образцах песчаников определяли скорости распространения продольных волн в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Далее значения измеренных скоростей переведены в значения интервального времени пробега продольных волн.



**Таблица 3** – Изменение коэффициентов анизотропии для электрических ( $\lambda_p$ ) свойств образцов пород с различным значением пористости ( $K_p$ )

$K_p, \%$	$\lambda_p$
<10	>1,1
10 – 20	1,1 – 1,08
20 – 30	1,08 – 1,04
>30	<1,04

Соотношение значений по напластованию и перпендикулярно – напластованию представлено на рисунке 1, в. Различие в значениях, соответствует уравнению:

$$dt_{II} = 0,87dt_{\perp} + 69,19, R^2 = 0,95. \tag{7}$$

Коэффициент акустической анизотропии пород рассчитан по формуле (8):

$$\lambda_{dt} = \frac{dt_{II}}{dt_{\perp}}. \tag{8}$$

С улучшением емкостных свойств и ростом пористости наблюдается четкая тенденция снижения коэффициента акустической анизотропии, математически отраженная выражением (9):

$$\lambda_{dt} = -0,008K_p + 1,22, R^2 = 0,6. \tag{9}$$

Для образцов с различной группой пористости коэффициенты анизотропии варьируются в пределах, приведенных в таблице 4.

**Таблица 4** – Изменение коэффициентов анизотропии для упругих ( $\lambda_{dt}$ ) свойств образцов пород с различным значением пористости ( $K_p$ )

$K_p, \%$	$\lambda_{dt}$
<10	>1,14
10 – 20	1,14 – 1,06
20 – 30	1,06 – 1

В результате проведенных исследований определена анизотропия свойств песчано-алевритовых пород. По материалам исследований установлены средние значения коэффициентов анизотропии фильтрационных свойств по классам коллекторов (по Ханину А.А.) для данного типа отложений (табл. 5).

**Таблица 5** – Средние значения коэффициентов анизотропии фильтрационных свойств по классам коллекторов

Значения коэффициентов анизотропии	Класс коллекторов (по Ханину А.А.)			
	III	IV	V	VI
Средний коэффициент анизотропии $\lambda_{sp}$	1,23	1,5	1,41	1,61

Полученные результаты по аналитическому исследованию керна и выявленные зависимости характерны данным породам и специфическим условиям их формирования. Данные материалы имеют важное значение как при обобщении и систематизации результатов исследования, так и в прикладном значении – при интерпретации материалов промыслово-геофизических исследований и составлении более эффективных проектов разработки месторождений нефти и газа.

**Литература:**

1. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. – М. : Недра, 1972. – 312 с.
2. Кобранова В.Н. Петрофизика. – М. : Недра, 1986. – 392 с.
3. Ханин А.А. Петрофизика нефтяных и газовых пластов. – М. : Недра, 1976. – 295 с.

**References:**

1. Itenberg S.S. Interpretation of the results of geophysical studies of well sections. – М. : Nedra, 1972. – 312 p.
2. Kobranova V.N. Petrophysics. – М. : Nedra, 1986. – 392 p.
3. Khanin A.A. Petrophysics of oil and gas reservoirs. – М. : Nedra, 1976. – 295 p.