

## Прогнозирование деформационных полос в плиоценовых песчаниках и их влияние на петрофизические свойства (на примере обнажений Абшеронского п-ова)

Ш.Б. Алхаслы<sup>1</sup>,Г.А. Зейналов, д.ф.г.-м.н.<sup>2</sup><sup>1</sup>eiLink Research and Development Center,<sup>2</sup>Университет Хазар

e-mail: shahriyar.alkhasli@khazar.org

**Pliosen qumdaşlarında deformasiya zolaqlarının proqnozlaşdırılması və onların petrofiziki xüsusiyyətlərə təsiri (Abşeron yarımadası yerüstü çıxışlarının təmsalında)**

Ş.B. Alxaslı<sup>1</sup>, Q.Ə. Zeynalov, g.-m.ü.f.d.<sup>2</sup><sup>1</sup>eiLink Research and Development Center,<sup>2</sup>Xazar Universiteti

**Açar sözlər:** deformasiya zolaqlarının proqnozlaşdırılması, Yasamal dərəsi, Abşeron yarımadasının yerüstü çıxışlarında çöl ölçmələri.

İşin məqsədi Yasamal dərəsinin yerüstü çıxışlarında çöl və laboratoriya ölçmələri əsasında deformasiya zolaqlarının yaranma şərtlərinin kəmiyyətə qiymətləndirilməsidir. Nəticələr Cənubi Xəzər hövzəsində dik yatmış analogi yataqlarda deformasiya zolaqlarının proqnozlaşdırılmasında istifadə oluna bilər. Deformasiya zolaqlarının qamta-karotaj və laboratoriya analizləri əsasında hesablanmış qumdaşı gilliliyindən, layın yatma bucağı və qumdaşının effektiv qalınlığından asılılıqları aşkarlanmışdır.

**Forecasting deformational bands in Pliocene sandstones and their influence on petrophysical properties (in the context of Absheron peninsula outcroppings)**

Sh.B. Alkhasly<sup>1</sup>, G.A. Zeynalov, Ph. Dr. in G-M.<sup>2</sup><sup>1</sup>eiLink Research and Development Centre,<sup>2</sup>Khazar University

**Keywords:** prediction of deformational bands, Yasamal valley, field investigation on Absheron peninsula outcroppings.

The study deals with the quantitative estimation of formation conditions of deformational bands based on field investigations in Yasamal valley outcroppings and laboratory measurements. The study results may be used for prediction of deformational bands formation on similar sandstones of South Caspian basin with steeply dipping strata. The dependences of deformational bands on clay sandstones have been identified based on gamma ray logging and laboratory analysis, as well as on the amount of inclination and effective thickness of the sandstone.

**Ключевые слова:** прогнозирование деформационных полос, Ясамальская долина, полевые замеры на обнажениях Абшеронского п-ова.

### Введение

Деформационные полосы образуются в песках и песчаниках в результате сжатия, сдвига или расширения пород под воздействием напряжений. Петрофизические свойства и характер распределения деформационных полос – ключевые параметры флюидных потоков в деформированных пористых средах песчаных пород [1–3]. Аналогично трещинам, встречающимся в песчаных и карбонатных породах, обнаружение деформационных полос сейсмическими или каротажными данными не представляется возможным из-за ширины индивидуальных деформационных полос, варьируемых в пределах 0.05–2 см. Длина деформационных полос может достигать нескольких десятков метров [4]. Главным отличием деформационных полос от трещин является сжатие и/или разрушение зерен, приводящее к уменьшению пористости и проницаемости.

Согласно замерам, представленным в работе [4], проницаемость в деформационных полосах уменьшается на 0–6 порядков по сравнению с той же породой при их отсутствии, и зависит от следующих параметров: глубина залегания пластов во время формирования деформационных пород, минералогический состав и их прочность, окатанность и сортировка зерен [5].

Фоссен и Бейл оценили снижение эффективности флюидного потока на основе стационарного уравнения Дарси и пришли к выводу, что разность проницаемости между материнской породой и деформационной полосой должна быть выше четырех поряд-

ков, чтобы оказать значительное влияние на флюидные потоки [3]. Симуляция двухфазного флюидного потока (нефть-вода) на модели на Сан Рафаэльской моноклинали, представленная в [6], подтвердила результаты описанные в работе [3]. Более того, было выявлено, что конечная нефтеотдача может варьировать в пределах 15–20 % в зависимости от распределения и петрофизических свойств деформационных полос. Условия образования деформационных полос также должны быть предварительно изучены для последующего моделирования и оценки нефтеотдачи деформированных пластов.

Количество деформационных полос как функция угла падения была также изучена на примере песчаников Entrada и Navajo (Colorado National Monument и San Rafael Reef). Была выявлена очевидная корреляция между углом падения и количеством деформационных полос [7–9]. Стоит отметить, что вариация петрофизических параметров приводит к разбросу данных для обоих песчаников. Авторами не было найдено работы по нахождению корреляций между количеством деформационных полос и количеством глины в песчанике и/или очередности песчаников и глин.

Целью данной работы является определение условий формирования деформационных полос в песчаниках балаханской свиты Ясамальской антиклинали, имеющей три продольных разлома на своде, одним из которых является взброс [10, 11]. Структурные параметры антиклинали, петрофизические свойства песчаников и изменение литологии (очередность песчаников и глин) по всей балаханской свите были изучены в целях прогнозирования создания деформационных пород.

### Методика

Замеры проводились на восточном крыле Ясамальской антиклинали из-за присутствия большого количества деформационных полос (рис. 1). Полевые замеры радиоактивности пород были осуществлены портативным устройством MGS-150 для определения глинистости песчаников по эмпирическому уравнению Steiber, 1970. Углы падения пластов были также замерены для изучения свя-

зи с деформационными полосами. Замеры проводились как по направлению истинной стратиграфической толщины (от кровли до основания песчаника, рис. 2) всей обнаруженной балаханской свиты, так и по простиранию определенного пласта песчаника [6].

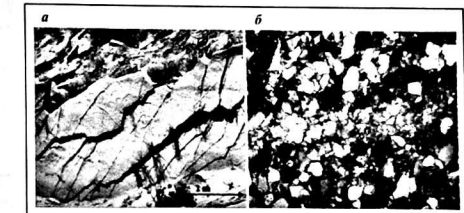


Рис. 1. Деформационные полосы на кальцитовых песчаниках (а) и увеличенная цифровая фотография шлифа с деформационной полосой, взятая с образца песчаника Ясамальской долины (б)



Рис. 2. Схематика замеров радиоактивности пород балаханской свиты на восточном крыле Ясамальской антиклинали и приближенный участок замеров (зеленая ячейка, шаг замеров равен 30 см)

Характер чередования песчаников, глин и их истинных стратиграфических толщин (ИСТ) были замерены и анализированы для прогнозирования создания деформационных пород. Эффективная толщина всех песчаников рассчитана по формуле:

$$\text{Эффективная толщина} = \frac{\text{ИСТ песчаник}}{\text{ИСТ верхней глины} + \text{ИСТ песчаник} + \text{ИСТ нижней глины}}$$

Суммарное количество глин в песчаниках влияет на эластичность породы и формирование деформационных полос. Образцы пород были направлены на рентгенодифракционный анализ для определения минералогического состава и изучения влияния состава глин на формирование деформационных полос.

### Результаты и их обсуждение

Подсчитанные на основе гамма-кар-

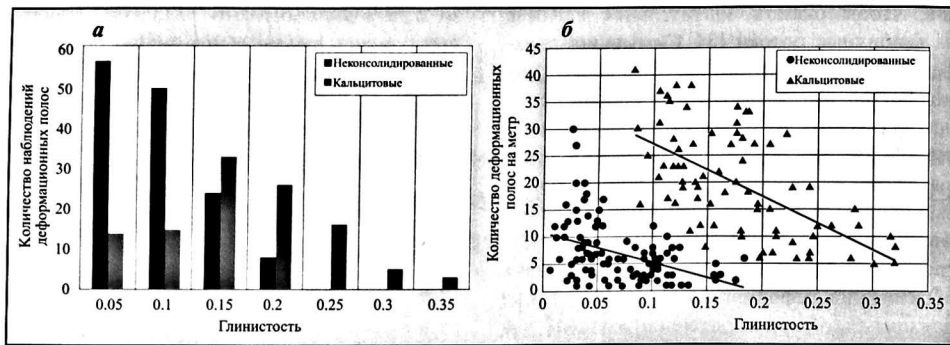


Рис. 3. Взаимосвязь количества наблюдений деформационных полос (а) и количества деформационных полос на метр с глинистостью, подсчитанного на основе гамма-каротажа (б)

тажей деформационные полосы не были обнаружены на пластах с глинистостью больше чем 18 и 32 % соответственно для неконсолидированных и кальцитовых песчаников (рис. 3, а). Повышенный показатель порогового значения формирования деформационных полос для кальцитовых песчаников связан с хрупкостью пород, вызванной обильным количеством кальцита в поровом пространстве. В результате этого необходимое количество глин возрастает для компенсации хрупкости и повышения эластичности породы.

Данные по формированию деформационных полос, (см. рис. 3, а) включают и другие факторы влияния, одним из которых является угол падения пласта. Для построения зависимости количества деформационных полос от глинистости, влияние угла падения пласта должно быть минимизировано.

Определенные пласты с минимальной вариацией угла падения ( $\approx 2^\circ - 3^\circ$ ) были замерены по простиранию. Зависимость количества деформационных полос от глинистости для неконсолидированных и кальцитовых песчаников представлена на рис. 3, б. Тенденция уменьшения количества деформационных полос с увеличением глинистости характерна для обеих фаций. Абсолютное количество деформационных полос для кальцитовых песчаников больше, чем для неконсолидированных. Таким образом, количество кальцита в поровом пространстве влияет не только на вероятность появления, но также и на количество деформационных полос.

Как видно из вышеуказанного, глинистость является одним из ключевых параметров. Оценка глинистости, показанная на рис. 3, проведена на основе гамма-каротажа. Зависимость количества наблюдаемых

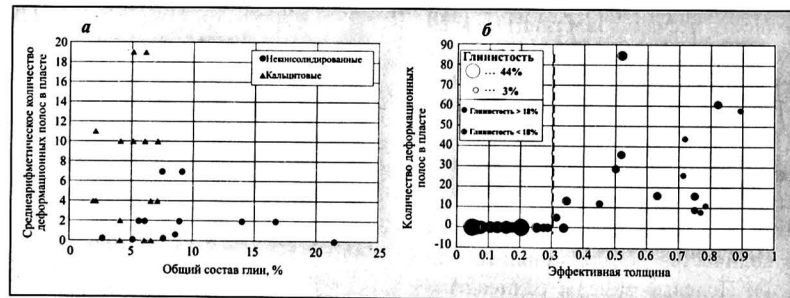


Рис. 4. Зависимость количества наблюдаемых деформационных полос в пласте от (а) общего состава глин, подсчитанного на основе рентгенодифракционного анализа, и (б) эффективной толщины песчаника (размер точек соответствует проценту глинистости (от минимального до максимального значения), цвета точек отделяют соответственно пороговому значению появления деформационных полос, а пунктирная вертикальная линия показывает пороговое значение толщины песчаника, при которых обнаружены деформационные полосы).

деформационных полос в пласте от общего состава глин, подсчитанного на основе рентгенодифракционного анализа приведена на рис. 4, а.

Не ожидается совпадение значений глинистости, при котором не происходит формирование деформационных полос, ввиду того, что методы, использованные для определения количества глины в песчаниках, несопоставимы, т.е. измерения по гамма-каротажу основываются на количестве радиоактивности породы, а рентгенодифракционный тест – на дифракции рентгеновских лучей. Тем не менее, оба метода оценки выявляют, что деформационные полосы не образуются в неконсолидированных песчаниках при глинистости больше 17–18 % (см. рис. 3, а и 4, а). В тестированных методами рентгенодифракционного анализа образцах кальцитовых песчаников общий состав глин не превышает 7 %, следовательно, аналогичное сравнение значений не предоставляется.

На рис. 4, б показана зависимость количества наблюдаемых деформационных полос в пласте от эффективной толщины в неконсолидированных песчаниках. Значения отличаются по цвету (оранжевые – глинистость < 18 %, синие – глинистость > 18 %) и по размеру в зависимости от глинистости, определенные по гамма-каротажу. Было выявлено пороговое значение эффективной толщины песчаника равное 30 %, более которого деформационных полос не было обнаружено. Все пункты замеров, имеющие глинистость более 18 %, не превышают установленный

порог эффективной толщины. Однако имеется ряд замеров с глинистостью менее 18 % (пороговое значение по глинистости неконсолидированных песчаников) без наблюдаемых деформационных полос. Из этого следует, что пороговое значение по эффективной толщине песчаника также является ключевым параметром для предсказания деформационных полос (рис. 4, б).

Угол падения пластов был изучен как возможный параметр, контролирующий количество деформационных полос в песчаниках балаханской свиты. Следует отметить, что результаты изучения деформационных полос с учетом влияния глинистости и эффективной толщины песчаников наряду с углом падения даны на рис. 5. Очевидной корреляции между углом падения и количеством деформационных полос установить не удалось (см. рис. 4, а). При изучении деформационных полос по простиранию песчаника, можно наблюдать корреляцию с углом падения пласта. Установить количественное влияние каждого из параметров в масштабах данного исследования не представляется возможным. Стоит отметить, что замеры, представленные на рис. 5 были сделаны на восточном крыле Ясамальской антиклинали. Деформационные полосы не были обнаружены в песчаниках балаханской свиты на западном крыле Ясамальской антиклинали, где углы падения пластов варьируют в пределах 40–50°.

Таким образом, были выявлены количественные условия создания деформационных полос (а также число самих полос) для

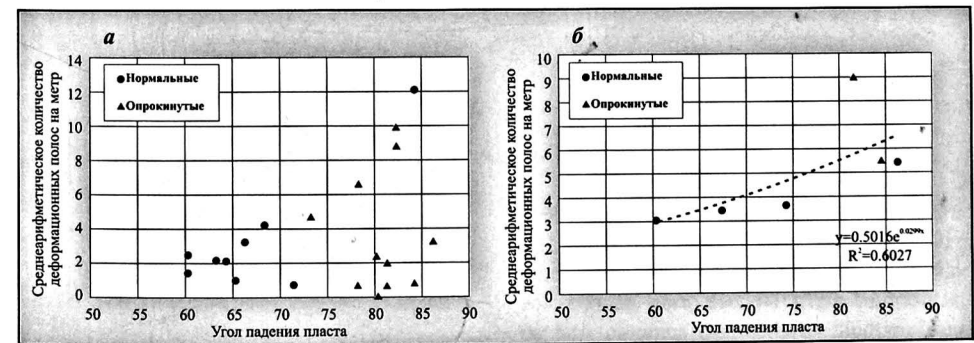


Рис. 5. Зависимость среднеарифметического количества деформационных полос, подсчитанных по направлению истинной стратиграфической толщины (от кровли до основания песчаника) (а) и по простиранию пластов от угла падения пласта (б)

балаханской свиты Ясамальской долины. Результаты работы могут быть использованы в целях прогнозирования создания деформационных полос на аналогичных песчаниках Южно-Каспийского бассейна с крутозалегающими углами падения пластов для геологического моделирования деформационных структур и последующих симуляций флюидных потоков в пласте для прогнозирования скоплений нефти и времени обводнения скважины.

### Выводы

1. Деформационные полосы не образуются в неконсолидированных и кальцитовых песчаниках глинистостью более 18 и 32 % соответственно.
2. Замеры в Ясамальской долине выяви-

ли, что количество деформационных полос имеет обратно пропорциональную зависимость от глинистости неконсолидированных и кальцитовых песчаников.

3. Эффективная толщина неконсолидированных песчаников является параметром, непосредственно влияющим на формирование деформационных полос, вне зависимости от глинистости или структуры пластов. Пороговое значение эффективной толщины равно 30 %.

4. При изучении зависимости количества деформационных полос от угла падения пластов не выявлено очевидной зависимости для замеров от кровли до основания пластов, в то время как определенная зависимость обнаружена для замеров по простиранию пластов.

### Список литературы

1. Aydin A. Small faults formed as deformation bands in sandstone // Pure and Applied Geophysics, 1978, v. 116, pp. 913-930.
2. Davis G.H. Structural geology of the Colorado Plateau Region of southern Utah // Geological Society of America, Special Papers, 1999, v. 342, pp. 1-157.
3. Fossen H., Bale A. Deformation bands and their influence on fluid flow // American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 2007, v. 91, pp. 1685-1700.
4. Ballas G., Fossen H., Soliva R. Factors controlling permeability of cataclastic deformation bands and faults in porous sandstone reservoirs // Journal of Structural Geology, 2015, v. 76, pp. 1-21.
5. Fossen H., Soliva R., Ballas G., Trzaskos B., Cavalcante C., Schultz R.A. A review of deformation bands in reservoir sandstones: geometries, mechanisms and distribution // Geological Society, London, Special Publications, 2017, 459 p.
6. Zuluaga L.F., Rotevatn A., Keilegavlen E., Fossen H. The effect of deformation bands on simulated fluid flow within fault-propagation fold trap types: Lessons from the San Rafael monocline, Utah, 2016.
7. Zeynalov G., Alkhasli S., & Shahtakhtinskiy, A. Outcrop Analogue Study of Deformation Bands and Their Impact on Rock Properties of the Productive Series in South Caspian Basin. (2017, November 1). OnePetro, Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/189018-MS, 20 pages. <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-189018>.
8. Zuluaga L.F., Fossen H., Rotevatn A. Structural reservoir heterogeneity induced by forced folding in sandstone reservoirs: the San Rafael Reef Monocline, Utah, USA // The Geological Society (Petroleum Group/Tectonic Studies Group Conference), 2012.
9. Rønnevik C. Low-temperature thermochronology apatite fission-track (AFT) study and structural relations associated with the Uncompahgre Plateau and Paradox Basin area, Utah and Colorado, USA // Masters thesis, Department of Earth Science, University of Bergen, 2013.
10. Alizadeh A.A., Akhmedov G.A., Akhmedov A.M., Aliyev A.K., Zeynalov M.M. Geology of oil and gas fields of Azerbaijan // Nedra, Moscow, 1966, pp. 283-288.
11. Allen M.B., Vincent S.J., Alsop G.I., Ismail-zadeh A., Flecker R. Late Cenozoic deformation in the South Caspian region: Effects of a rigid basement block within a collision zone // Tectonophysics, 2003, v. 366, pp. 223- 239.