

INTEGRATED APPROACH FOR GEOTHERMAL RESERVOIR STUDIES: GEOLOGY, FLUID FLOW AND GEOMECHANICS

Giovanni Sosio¹, Ann-Sophie Boivineau¹, Oleksandr Burachok¹, Rabah Ould Braham¹, Elodie Zordan¹, Andreia Mandiuc¹, Charidimos Spyrou¹, Mounir Belouahchia¹, Clement Baujard², Eleonore Dalmais², Albert Genter²

¹Schlumberger GmbH, Guenther-Wagner-Allee 19, D-30179 Hannover, Germany³,
e-mail: oburachok@slb.com

²ES Geothermie, Bâtiment le Belem 5, rue de Lisbonne 67300 Schiltigheim, France

Geothermal reservoirs are characterized by complex geological structures associated with faulted and fractured formations. Highly conductive fractures are the main flow channels and therefore, are the primary targets in well placement design. During the reservoir development, reinjection of cold water at high rates will not only change the stress field but could lead to undesired events like, fault reactivation and potential seismic activity. Coupling fluid flow and geomechanical simulators allows the assessment of potential impact of reservoir operation on the subsurface system, notably the change of flow direction and the closure and opening of fracture networks, affecting the performance of the system as a heat exchanger, and the occurrence of microseismic events due to the reactivation of faults, impacting public acceptance.

This project demonstrates the construction of a 3D reservoir geomechanical model of the Rittershoffen (France) geothermal reservoir, based on structural model built by ES Geothermie. At first, petrophysical and mechanical reservoir properties are obtained from well logs information, then image logs are analyzed to define the fractures geometries and properties. These results are subsequently upscaled to the reservoir grid to build a 3D static property model, including a discrete fracture network (DFN).

Secondly, the dynamic model is build. The first step is to define initial fluid and stress conditions. Most of geothermal reservoirs are not in hydrothermal equilibrium therefore one of key task is correct definition of initial flow and stress boundary conditions. This is done by model tuning to reproduce the temperature and pressure measurements and initial fluid flow. Similarly, stress boundary conditions are calibrated with well and offset data, and mechanical simulations are conducted to define the initial state of stress throughout the field.

Finally, mechanical simulations are coupled with reservoir flow simulations to evaluate the change of stress and strain as a function of fluid and heat flow. Then the model is further calibrated by using historical production/injection rates, well tests, tracer tests, fluid samples: this concludes the history matching, after which reservoir is simulated with different scenarios in order to improve the development strategy and evaluate the performance and risks of the system. Sensitivity analyses are run to assess the impact of poorly constrained parameters, on the behaviour of the geothermal system, together with different production/injection rates that impact cold water breakthrough time, fault reactivation and microseismicity.

The ability to model complex phenomena caused by the hydro-thermo-mechanical behavior of the geothermal system, such as fault reactivation and microseismicity will ultimately allow management of uncertainty and mitigation of the geothermal project risks.

УДК 553.(477.8)

НАФТОГАЗОНОСНІСТЬ ПАЛЕОЗОСЬКИХ ВІДКЛАДІВ ВОЛИНО-ПОДІЛЬСЬКОЇ НАФТОГАЗОНОСНОЇ ОБЛАСТІ

О.В. Цикаляк

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
м. Івано-Франківськ, Карпатська 15, 76019, olgaytsykaliak@gmail.com*

Одним із перспективних і маловивченим регіоном України є територія Волино-Подільської нафтогазоносною області. Перспективним напрямком пошуків вуглеводнів на досліджуваній території є пошук родовищ нафти і газу, пов'язаних з пастками неантиклінального типу (поховані

рифів, літологічні, стратиграфічні, літолого-стратиграфічні, тектонічно-екрановані та інші). Особливі перспективи пов'язуються з рифогенними утвореннями, що виявлені у силурійських відкладах Волино-Поділля.

Аналіз результатів проведених геологорозвідувальних робіт на території Волино-Поділля дає підставу стверджувати про присутність у відкладах силурійського віку пасток для нафти і газу неантиклінального типу, в тому числі, рифогенних споруд, що можуть містити поклади нафти і газу.

Це підтверджується, насамперед результатами буріння. При бурінні розвідувальних свердловин в межах території досліджень зафіксовані численні нафтогазопрояви. Зокрема, при випробуванні рифогенних порід скальського горизонту у свердловинах №№ 1, 8, 12-Локачинська, № 1-Павлівська, № 2-Марковичі отримано незначні припливи нафти. У свердловині № 1-Володимирівська з відкладів баговицького горизонту отримано непромисловий приплив газу дебітом 1,4 тис. м³/добу. Окрім того, на Локачинській площі, з відкладів малиновецького та баговицького горизонтів отримані припливи пластових вод з великою кількістю розчиненого газу та плівками нафти.

Утворення силуру характеризуються повсюдним поширенням і розкриті численними свердловинами на площах: Літовецька, Локачинська, Павлівська, Перемишлянська, Лудинська, Горохівська, Заложецька, Микулинецька, Хмельівська, Коропець-Пишківська, Бучацька, Балучинська, Лещинська, Колинківська і ін.

Рифові фації в меридіональному напрямку простягаються через все Волино-Поділля від району м. Володимир-Волинського до околиць м. Чернівці. Вони розкриті свердловинами в районах Володимир-Волинський-Локачі та Коропець-Пишківці-Бучач. Фація представлена органогенними вапняками з рештками черепашок брахіопод, голкошкірих, коралів, криноїдей, моховаток. Силурійські органогенні вапняки утворюють, ймовірно, похований бар'єрний риф. Останній представляє собою переривчасту гряду, що складається з окремих біогермів. Згідно раніше проведених досліджень, розповсюджені в межах відносно вузької смуги (шириною 15-35 км і довжиною понад 300 км) субмеридіонального простягання, котра простягається від м. Володимир-Волинський до м. Чернівці.

В межах рифогенної смуги виділяються окремі морфоструктури – біогерми (можливі пастки для нафти і газу) з відносно непоганими ємнісними властивостями і достатньою товщиною: Володимир-Волинська, Горохівська, Бучачська, Верхняківська, Хотинська.

На захід від похованого силурійського рифу простягається область поширення фацій відкритого шельфу. Вона представлена темно-сірими і чорними аргілітами та мергелями з рідкими прошарками вапняків (розкриті в розрізах св. №№ 1-Завадівка, 2-Підгайці, 1-Перемишляни, 30-Великі Мости, 1-Сокаль, 1-Літовеж, 1-Ліщинська, 1 і 15-Лудин).

У розташуванні силурійських рифових споруд (біогермів) Волино-Подільської плити підтверджено властиву багатьом регіонам закономірність – вони тяжіють до розривних тектонічних порушень. Так, поховані силурійські рифи тягнуться вздовж Радехівського розлому на відрізу від Володимир-Волинського розлому до широти Львова, а далі баговицький риф відхиляється на схід і проходить по зоні Теребовлянського і Збарзького розломів, а скальський риф – до Радехівського розривного порушення. Як вважають автори генетичний зв'язок між рифовими спорудами і цими розривними порушеннями обумовлений існуванням шарніроподібного уступу, утвореного на моноклінальному схилі вздовж згаданих розломів. По різні боки від них протягом силурійського часу існувала різна тектонічна активність, і в припіднятій більш стабільній їхній частині існували сприятливі седиментаційні умови для розвитку біоценозу рифобудівних організмів, великі скупчення яких згодом перетворилися в органогенні споруди. Треба зазначити, що активна тектонічна діяльність у зоні Теребовлянського і Збарзького розломів продовжувалася або відновлювалася упродовж тривалого геологічного часу, що суттєво впливало на розподіл фацій та формування рифових систем.

Силурійські породи, як можливі резервуари для нафти і газу, представлені органогенними вапняками, що поширені в зоні бар'єрного рифу. Вони досліджені у відкладах скальського та малиновецького горизонтів верхнього силуру та баговицького горизонту нижнього силуру. Породи-колектори представлені кавернозними та тріщинуватими вапняками і доломітами. Колектори силуру відзначаються складною будовою пустотного простору – тріщинувато-кавернозно-порового типу. Їх пористість коливається в досить широких межах від 0,5 % до 17 %, а проникність від $0,01 \cdot 10^{-3}$ мкм² до $5,33 \cdot 10^{-3}$ мкм². За результатами проведених досліджень встановлено, що порові і кавернозно-порові колектори розвинені в органогенних вапняках і вторинних доломітах, а тріщинно-порові в органогенно-детритових і оолітово-грудкуватих вапняках.

Покришками для силурійських рифогенних утворень слугуватимуть слабопроникні горизонти, які представлені мергелями, аргілітами і глинистими вапняками. Вони простежені в баговицькому, малиновецькому і скальському горизонтах.

За результатами гідрогеологічних досліджень карбонатних комплексів венлокського, лудловського та пржидольського ярусів встановлено, що пластові води пов'язані з тріщинно-кавернозно-поровими колекторами в органогенних вапняках і доломітах східної (мілководно-шельфової) частини басейну і, в меншій мірі, з вапняками глибокого шельфу на заході. Пластові води є хлоркальцієвого типу.

Характерна для водоносних горизонтів висока метаморфізація, мінералізація та хлоркальцієвий тип, вказує на умови утрудненого і навіть досить утрудненого водообміну в силурійських відкладах, а переваження вуглеводнів у складі водорозчинних газів і припливи нафти при випробуванні свердловин свідчать про сприятливі умови для накопичення і збереження покладів вуглеводнів у рифогенних утвореннях силуру.

Формування покладів вуглеводнів в силурійських відкладах відбувалося, як за рахунок вертикальної міграції із підстилаючих товщ, так і за рахунок латеральної міграції за рахунок реалізації власного генераційного потенціалу. Можливість існування латеральної міграції вуглеводнів значно підвищує потенційні перспективи нафтогазоносності літологічних і літолого-стратиграфічних пасток і, в першу чергу, рифів та біогермів.

Таким чином, перспективність силурійських відкладів на відкриття покладів нафти і газу не викликає сумнівів і це необхідно враховувати при подальших пошукових роботах.

Аналіз геодинамічних критеріїв нафтогазоносності Волино-Подільської нафтогазоносної області показав, що одним із перспективних літолого-стратиграфічних комплексів у нафтогазоносному відношенні є силурійський.

Особливі перспективи пов'язуються з рифогенними утвореннями, що встановлені на трьох стратиграфічних рівнях (у відкладах баговицького, малиновецького і скальського горизонтів) та представлені рифовою смугою (похований бар'єрний риф) в межах Волино-Поділля.

Простягання рифової смуги тяжіє до основних великоамплітудних розривних порушень, таких як: Радехівський, Володимир-Волинський, Теревовлянський та ін., що свідчить про можливу міграцію вуглеводнів та генерацію їх в покладах.

Для рифогенних карбонатних порід властиві специфічні колекторські властивості (пори, каверни, тріщини) і відповідно висока щільність запасів нафти і газу за сприятливих умов.

Покришками для пасток вуглеводнів будуть пачки глинистих порід з прошарками глинистих мергелів.

В межах похованого рифу виявлено ряд морфоструктур (біогермів), які вважаються можливими пастками для вуглеводнів.

УДК 553.048

ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ PRMS ДЛЯ ПІДРАХУНКУ ЗАПАСІВ НАФТИ І ГАЗУ

І.Р. Михайлів, Закарі Абдаллах

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, iramykhailiv@ukr.net*

Будь-яка система класифікації створює єдину базу порівняння і дозволяє знизити суб'єктивність при проведенні оцінки запасів та ресурсів вуглеводнів. У світі нараховується близько 150 класифікацій у різноманітних національних модифікаціях. Однак, класифікація Petroleum Resources Management System (PRMS) на сьогодні рахується однією із найдосконаліших і вона широко використовується у світовій нафтогазовій промисловості [1]. Класифікація розроблена у 1997 р. Товариством інженерів-нафтовиків, спільно із Світовим нафтовим конгресом та Американською асоціацією геологів-нафтовиків. У ній детально розглянуті не лише основні визначення та принципи виділення категорій запасів та ресурсів нафти і газу за різноманітними ознаками, а також описані