

Тестирование и верификация новых технологий в науках о Земле: методические рекомендации

В.В. Волянская

ПАО «НК «Роснефть», Москва, Россия

e-mail: v_volyanskaya@rosneft.ru

Развитие компьютерных технологий позволяет не только оптимизировать процесс геологического изучения нашей планеты, но и создавать принципиально новые подходы в работе с большими массивами геологических данных. Это привело к переходу формализации геологических знаний и информации от описательной формы к технологической, т.е. направленной на промышленное применение унифицированных подходов. В статье дается объяснение понятию «технология» применительно к наукам о Земле («G&G-технология» – Geology & Geophysics Technology). Приведен пример прямого и реверсного алгоритма изучения месторождений углеводородов.

Стадийность создания новых G&G-технологий и изменение уровня информационной насыщенности на каждом этапе этого процесса выдвигают определенные требования при подборе геологических объектов для тестирования и верификации полученного результата. Рассмотрен практический пример набора критериев для верификации технологии по картированию зон трещиноватости, и описана важность баланса теоретических, методологических и практических элементов изучения и моделирования месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: G&G-технология, информативность, тестовый объект, верификация

Для цитирования: Волянская В.В. (2021). Тестирование и верификация новых технологий в науках о Земле: методические рекомендации. *Георесурсы*, 23(2), с. 192–196. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.19>

Характерной особенностью современной научной эпохи является цифровизация и развитие IT-технологий. Не остались в стороне от этого процесса и геологические науки и дисциплины. Это послужило толчком к тому, что результатом современных научных изысканий является не только изучение геологических особенностей строения нашей планеты, но, часто, и создание той или иной технологии, когда IT-составляющая позволяет переводить геологические методы и методики в технологические алгоритмы. Другими словами, начало XXI века – это переход от «описательной» стадии развития наук о Земле к «технологической».

Поскольку термин «технология» все чаще встречается в геологической среде, то необходимо отметить 2 сопутствующих этому термину аспекта – это тестирование технологии и ее патентование. Если ранее геологическая методика или результат исследования не требовали патентной защиты, и автором считался впервые опубликовавший их в открытой печати, то технологии однозначно являются предметом патентования. В данной статье будет рассмотрен первый аспект – тестирование, даны некоторые методические рекомендации, касающиеся подбора тестового объекта, а также процесса верификации геологических технологий для нефтегазовой индустрии.

Остановимся на самом понятии «технология». Существует много определений данному термину (Ушаков, Волин, 1940; Философский словарь, 2001). Попробуем перефразировать определение из словаря Ожегова (Ожегов, Шведова, 1992) применительно к наукам о Земле: «G&G-технология – это совокупность геологических методов* и IT-технологий, а также

научное обоснование и описание алгоритмов изучения геологических феноменов и явлений в целях повышения эффективности и достоверности этого процесса (под «геологическими» в данном контексте подразумеваются все методы познания в науках о Земле (изучающие или моделирующие): общегеологические, геофизические, геохимические, гидродинамические, гидрогеологические и т.д.).

Таким образом, в понятие «G&G-технология» или «технология в науках о Земле» можно включить следующие составляющие:

1. Собственно геологические методы и методики изучения планеты и ее частей разного масштаба исследования;
2. IT-технологии, позволяющие автоматизировать труд геологов, а также проводить вычисления крупных массивов данных, включая технологии «искусственного интеллекта» (ИИ) и самообучающиеся программы;
3. Алгоритмы изучения геологических феноменов и явлений;
4. Повышение эффективности процесса изучения;
5. Повышение достоверности процесса изучения.

Рассмотрим отдельно каждую составляющую, и более подробно остановимся на трех последних, имеющих непосредственное отношение к процессу тестирования и верификации технологий.

Собственно геологические методы и методики

* «G&G-технология» подразумевает процессы исследования и описания геологических тел, тогда как термин «геотехнология» в русскоязычной литературе применяется в контексте добычи полезных ископаемых и инженерно-строительных изысканий. В английском языке данному термину есть устойчивый эквивалент: G&G Technology (Geology & Geophysics Technology) – технологии в области геологии и геофизики.

известны науке уже многие годы и относятся к классическим теоретическим и практическим наработкам многих поколений геологов и геофизиков. В контексте новых технологий они являются той фундаментальной основой, на которую накладывается IT-технологическая часть, позволяющая повысить производительность труда, а иногда и проводить ряд вычислений, невозможные при «ручной» обработке массива информации. Примером такого пересчета может быть модель компенсированного и перекомпенсированного прогибания, не только в качественном, но и в количественном варианте.

Прогрессивность IT-технологий и их позитивное влияние на геологические науки уже трудно оспаривать. То, что все модели месторождений имеют 3D размерность расчётов и визуализации, давно никого не удивляет. Уже имеется техническая возможность обсчитывать колоссальные объемы геолого-геофизических данных, создаются системы постоянного мониторинга состояния литосферы с тысячами датчиков, информация с которых непрерывно обрабатывается. Не за горами время, когда вся планета будет покрыта сеткой многофункциональных устройств, и предсказание землетрясений, цунами и извержений вулканов будет таким же обыденным делом, как сейчас прогноз мощных снегопадов зимой.

Компьютерные возможности уже сейчас позволяют создавать информационно емкие проекты с комплексированием методик и данных из различных геологических источников (Ступакова и др., 2019) (рис. 1).

А вот алгоритмы изучения геологических феноменов и явлений требуют методического переосмысления,

поскольку классические методики не всегда хорошо адаптированы к сложным геологическим объектам и специфике применения IT-технологий. Обратной стороной использования чисто математических подходов без детального изучения геологических особенностей и закономерностей является сильное искажение природной реальности в расчетах на синтетических моделях.

Иногда, важность проработки алгоритмов изучения проявляется уже на первоначальном этапе – получения геологических знаний и геолого-геофизической информации.

Рассмотрим пример алгоритма изучения такого нестандартного для нефтегазовой отрасли объекта разработки, как трудноизвлекаемые запасы (ТРИЗ) (рис. 2), в частности связанные с низкопроницаемыми коллекторами.

В связи с отсутствием на текущий момент методик позволяющих однозначно локализовать в пространстве осадочного чехла промысловый объект, имеющий принадлежность к ТРИЗ, на практике применяется реверсный алгоритм изучения. В этом случае в процессе разработки накапливается критическая масса геолого-геофизической и промысловой информации, позволяющая в какой-то момент идентифицировать промысловый объект как геологическое тело и достаточно точно описать его характеристики. Необходимо отметить, что наиболее сложным здесь является осознание геологом-модельером того, что залежь углеводородов и объект разработки ТРИЗ – это совершенно разные понятия, и их нельзя отождествлять, т.е. нельзя применять идентичные алгоритмы моделирования, а требуется разработка принципиально новых.



Рис. 1. Методология изучения палеобассейнов (Ступакова и др., 2019) как пример алгоритма комплексирования прикладных методик из различных геологических наук в целях обоснования новых направлений геолого-разведочных работ

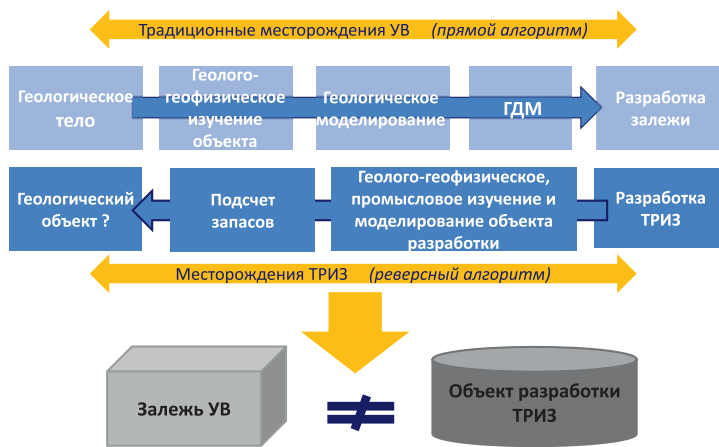


Рис. 2. Пример прямого и реверсного алгоритмов изучения промышленного объекта

При выполнении работ, связанных с проектированием или моделированием геологических объектов, необходимо учитывать 3 аспекта:

- Практический – получение заданного результата;
- Теоретический – полученный результат не должен противоречить законам природы;
- Методологический – использование наиболее эффективного алгоритма при решении поставленной задачи

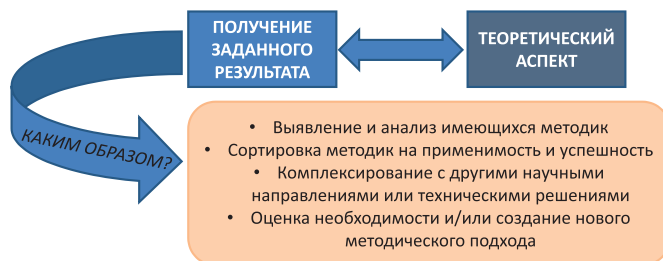


Рис. 3. Наилучший результат при геологических исследованиях приносит баланс методологической, теоретической и практической составляющих проекта

На фоне нестабильной цены на ресурсы и сложности геологического строения новых месторождений очень важным для добывающих индустрий остается вопрос повышения эффективности процесса изучения литосферы в прикладных целях. В этом случае наиболее значимым становится баланс между теорией, методологией выполнения работ и качеством получаемого результата (рис. 3). С инженерно-индустриальной точки зрения методология выполнения работ и является технологическим процессом, позволяющим унифицировать деятельность и повысить ее эффективность. Правильно подобранный технологический процесс значительно сокращает трудовые издержки и повышает качество конечного результата.

В науках о Земле существует и применяется огромное количество методов и методик по изучению и моделированию геологических объектов, поэтому правильный подбор наиболее эффективного алгоритма изучения требует наличия мультидисциплинарной команды исследователей с умением комплексировать имеющиеся знания. Этот вопрос хорошо изучен, и ему посвящено много работ по управлению проектами и системному подходу в геологии (Дмитриевский, 1982), поэтому далее более детально будет рассмотрен процесс выбора объекта для тестирования и процесс верификации уже созданной на теоретическом уровне G&G-технологии.

Процесс создания любой технологии можно разделить на несколько этапов:

1. Этап постановки задачи;
2. Этап создания концепции;
3. Этап разработки теоретических основ технологии;
4. Этап тестирования теоретической версии технологии;
5. Этап верификации теоретической версии технологии;
6. Этап корректировки и доработки теоретической версии (при необходимости);
7. Этап автоматизации и разработки индустриальной версии технологии;
8. Этап внедрения в производство.

Выбор объекта для тестирования технологии очень важен именно для наук о Земле, поскольку в силу информационного ограничения исследователь никогда не знает степень идентичности между его представлениями и реальным геологическим телом (рис. 4). Правильная оценка степени идентичности позволяет более качественно подобрать тестовый объект для разработки новой технологии. Какими основными характеристиками он должен обладать?

Первое и наиболее важное требование: тестовый объект, как геологическое тело, должен быть хорошо изучен. Другими словами, это должен быть не «черный ящик», а «серый», а еще лучше «светло серый», т.е. степень идентичности реального геологического тела и представления о нем должна быть высокая.

Второе, также ключевое требование: выбираемый объект не должен иметь сложное геологическое строение, т.е. простота геологического строения выступает как критерий снижения неоднозначности интерпретации и тестирования.

Третье основное требование: объект должен обладать четко фиксируемыми характеристиками, на изучение которых направлена новая технология, при полном отсутствии похожих, но имеющих другую природу параметров. Например, при тестировании технологии на локализацию трещиноватости в карбонатных породах надо избегать объектов с каверзностью. При тестировании технологии по выделению зон выщелачивания, наоборот, выбирать объекты без трещин. Это обусловлено тем, что по промысловым данным не представляется возможным различить и численно определить, какая часть проницаемости пласта-коллектора вызвана наличием трещин, а какая – сообщаемостью каверновых полостей.

Применительно к нефтегазовой отрасли как тестовый, так и верификационный объект лучше выбирать залежь

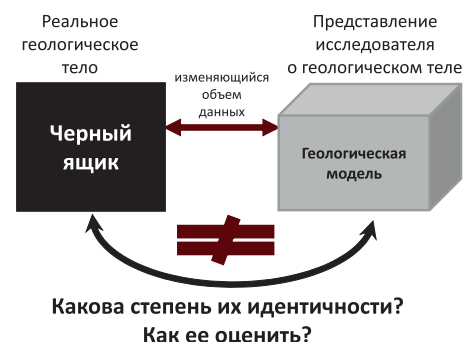


Рис. 4. Понимание различия между природным геологическим телом и представлением о нем – ключевое звено в выборе тестового объекта

углеводородов небольшого размера (или сектор крупного месторождения) с количеством скважин не более 50. Малое количество скважин не позволит набрать достаточный статистический объем для выявления закономерностей, а при большем – геологическая и гидродинамическая модели будут слишком «тяжелы» для оперативного пересчета. Также дополнительным «бонусом» выбора небольшого участка является высокая вероятность литологической выдержанности тестовых пластов.

Тестовый участок должен быть равномерно разбурен, при наличии нагнетательных скважин их количество не должно превышать 20% от общего числа. При высокой разбуренности и интенсивной системе заводнения (расстояние между скважинами менее 500–300 м) можно использовать данные по большему количеству скважин (но не более 100), и на одном и том же участке для эксплуатационных скважин применять одни методы тестирования или верификации, а для нагнетательных – другие. А затем, сравнивать и анализировать вместе полученные результаты.

Оптимальный объект должен иметь хорошее и равномерное информационное покрытие и задокументированную историю добычи не менее 10–15 лет. Недавно открытые залежи, наличие только поисковых и разведочных скважин делают такие объекты непригодными в плане тестирования новых технологий, поскольку на этом этапе изученность недостаточная, и часто даже представление о локальном геологическом разрезе не всегда однозначно. Это не относится к тестированию геофизических приборов в скважинах с полным отбором керна, поскольку в данном случае идет подтверждение записи геофизических полей прямыми геологическими исследованиями.

Собственно выбор объекта для тестирования технологии и для верификации технологии идентичен. За исключением того, что при верификации желательно выбирать геологические тела, имеющие подходящие характеристики, но различную историю геологического развития. При этом можно будет оценить слабые и сильные стороны новой технологии и ее применимость для различных геологических условий.

В качестве примера, далее будут перечислены критерии для выбора объектов верификации технологий, позволяющих картировать трещиноватость тектонофизическими, геомеханическими и другими несейсмическими методами.

Критерии структурированы по 4 группам: общегеологические, коллекторских свойств, промысловые и информационные.

К общегеологическим критериям отнесены следующие:

Пласт должен быть однороден по литологии и характеризоваться однозначной идентификацией по диаграммам ГИС, а также должен быть выдержан по мощности с четкой корреляцией кровли и подошвы.

Выше и ниже лежащие породы должны быть хорошими водоупорами и желательно иметь высокие пластичные свойства (упругие глины).

В пределах моделируемой зоны;

- не должно быть амплитудных разломов;
- должна располагаться длинная ось складки;
- должны отсутствовать латеральные сдвиговые деформаций;

- должны отсутствовать структуры облекания, линзовидные тела и клиноформы в непосредственной близости от пласта-пилота, а также явно выраженные рифовые тела в нижележащих пластах.

К требованиям по коллекторским свойствам отнесены следующие:

- Тестовым должен быть терригенный или карбонатный без кавернозных интервалов пласт с матричным поровым пространством любой размерности и угловатости. Без аномально высокого пластового давления (АВПД).

- Цемент с равномерным распределением и идентичностью по минералогии.

- Хорошо проницаемый. Рекомендованная матричная проницаемость от 100 до 500 мД, поскольку при более низкой проницаемости скачки перетоков будут очень резкие, что внесет дополнительные трудности в процесс картирования зон с разной интенсивностью раскрытия трещин. Другими словами, для коллекторов с проницаемостью меньше 100 мД, шаг в 20 мД (20, 40, 60, 80 и 100 мД) не будет превышать погрешности измерений, а с шагом больше 35 мД карты будут низко информативны (мало изолиний).

К промысловым критериям отнесены следующие:

Наличие активного (средней активности) естественного водонапорного режима, отсутствие интенсивной закачки в ниже лежащие пласты (менее 200 м по вертикали) и массивов гидроразрывов пластов (ГРП).

Желательно наличие данных по трассерам и гидропрослушиванию.

Рекомендуется выбирать объект:

- со ступенчатым водонефтяным контактом (ВНК);
- прорывами, конусами воды;
- «чуткой» динамикой обводненности;
- с площадными аномалиями пластового давления;
- сходимость расчетной гидродинамической модели (ГДМ) с фактической на 75–80 % (если меньше, то нужна дополнительная верификация базы данных).

Дополнительно были определены информационные требования:

- Наличие сейсмической модели разреза площади (желательно по 3D кубу);
- Наличие детальной геологической модели;
- Наличие хорошо задокументированной промысловой истории;

Данные по бурению скважин (аварии, провалы инструмента, резкое увеличение скорости проходки, поглощения и т.п.).

К дополнительным требованиям были отнесены следующие:

- Наличие ГДМ и геомеханической модели;
- Расчёт материального баланса по соседним (по вертикали) промысловым объектам;
- Промысловые специальные исследования, а также минералогические и геомеханические исследования керна;
- Наличие малоамплитудных разломов, предполагаемых по сейсмической интерпретации.

Обобщая вышеизложенное, требуется отметить, что важно не только создать новую технологию, но и качественно ее опробовать и верифицировать. Для этого необходимо разрабатывать соответствующие методики и подбирать критерии верификации. В процессе этого

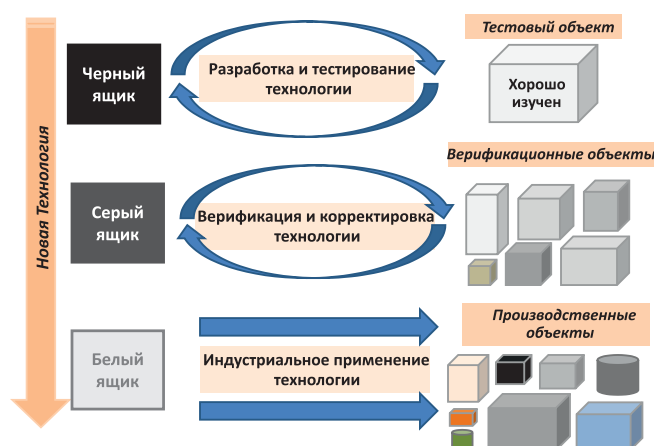


Рис. 5. Иллюстративная схема информационного преобразования G&G-технологии «от создания к внедрению»

требуется соблюдать стадийность и постепенно проводить информационное преобразование технологии (рис. 5) от «черного ящика», т.е. полной неизвестности, к «белому ящику», когда точно известны все закономерности.

Литература

- Дмитриевский А.Н. (1982). Системный литолого-генетический анализ нефтегазоносных осадочных бассейнов. Москва: Недра, 230 с.
 Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. (1992). Толковый словарь русского языка. Москва: Азъ, 960 с.
 Ступакова А.В., Пашали А.А., Волянская В.В., Суслова А.А., Завьялова А.П. (2019). Палеобассейны – новая концепция моделирования истории геологического развития и нефтегазоносности регионов. *Георесурсы*, 21(2), с. 4–12. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.4-12>
 Ушаков Д.Н., Волин Б.М. (1940). Толковый словарь русского языка. Том 4. Москва: ГИНС, 1500 с.
 Философский словарь (2001). Под ред. И.Т. Фролова. 7 изд. Москва: Республика, 719 с.

Сведения об авторе

Виктория Владимировна Волянская – канд. геол.-мин. наук, менеджер проекта Управления технологической экспертизы и прогнозирования, Департамент научно-технического развития и инноваций, ПАО «НК «Роснефть» Россия, 117997, Москва, Софийская наб., д. 26/1

Статья поступила в редакцию 18.02.2021;

Принята к публикации 09.04.2021; Опубликовано 25.05.2021

IN ENGLISH

SHORT COMMUNICATION

New G&G Technology Pilot testing and verification: Methodological Recommendations

V.V. Volyanskaya

Rosneft Oil Company, Moscow, Russian Federation
 e-mail: v_volyanskaya@rosneft.ru

Abstract. Development of computer technologies allows not only to optimize the process of geological study of our planet, but also to create fundamentally new approaches in working with large arrays of geological data. This led to the transition of formalization of geological knowledge and information from the descriptive form to the technological one, i.e. aimed at the industrial application of unified approaches. The article explains the concept of “technology” as applied to the Earth sciences (“G&G-technology” – Geology & Geophysics Technology). The example of direct and reverse algorithm of hydrocarbon deposits study is given. Stages of new G&G-technologies creation and change of information content level at each stage of this process bring forward certain requirements when selecting geological objects for testing and verification of the obtained result. The practical example of set of criteria for verification of fracture zones mapping technology is considered and the importance of balance between theoretical, methodological and practical elements of mineral deposits study and modeling is described.

Key words: G&G-technology, informativity, test object, verification

Recommended citation: Volyanskaya V.V. (2021). New G&G Technology Pilot testing and verification: Methodological

Recommendations. *Georesursy* = *Georesources*, 23(2), pp. 192–196. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.19>

References

- Dmitrievsky A.N. (1982). Systemic lithological and genetic analysis of oil and gas bearing sedimentary basins. Moscow: Nedra, 230 p. (In Russ.)
 Ozhegov S.I., Shvedova N.Yu. (1992). Defining dictionary of the Russian language. Moscow: Az, 960 p. (In Russ.)
 Philosophical Dictionary (2001). Ed. I.T. Frolova. 7th ed. Moscow: Respublika, 719 p. (In Russ.)
 Stoupakova A.V., Pashali A.A., Volyanskaya V.V., Suslova A.A., Zavyalova A.P. (2019). Paleobasins – a new concept of modeling the history of geological development and oil and gas bearing of regions. *Georesursy* = *Georesources*, 21(2), pp. 4–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.4-12>
 Ushakov D.N., Volin B.M. (1940). Defining dictionary of the Russian language. Vol. 4. Moscow: GINS. 1500 p. (In Russ.)

About the Author

Viktoria V. Volyanskaya – PhD (Geology and Mineralogy), project manager, R&D and Innovation Department
 Rosneft Oil Company
 26/1, Sofiyskaya emb., Moscow, 117997, Russian Federation

Manuscript received 18 February 2021;

Accepted 09 April 2021; Published 25 May 2021