

СТРАТИГРАФИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Стратиграфия и математические методы в геологии являются взаимно дополняющими, синергетическими областями знаний. Их методологическое объединение порождает эмерджентное, качественно новое состояние эффективного инструмента для прогноза поисковых объектов на нефть и газ. Задачей настоящего исследования является использование достижений прошлого для подготовки качественно новых возможностей на будущее.

Ключевые слова: математические методы в геологии, компьютерная база данных «Стратиграфия Украины», пространственное моделирование стратиграфических единиц.

Вступление. Стратиграфическое расчленение разреза является первоосновой, фундаментом нефтегазовой геологии. Насколько прочен и надёжен этот фундамент, настолько обоснованы и достоверны последующие картографические и геолого-математические модели. Кроме того, сейсмические, промыслово-геофизические, структурно-тектонические, литологические построения и корреляционные схемы – это та обратная связь, которая служит для усовершенствования и детализации исходных стратиграфических схем. Она особенно важна при решении практических задач нефтегазовой геологии, связанных с расчленением разреза на уровне продуктивных горизонтов (нефтегазоносных пластов-коллекторов), выделения зональных и региональных покровов.

Анализ достижений и публикаций по данной проблеме свидетельствует о том, что одним из наиболее перспективных путей в распознавании образа продуктивных горизонтов, не имеющих ярко выраженных идентификационных признаков, является использование методов геолого-математического моделирования и статистической обработки данных. Актуальность решения данной проблемы, отмеченная нами ранее в 2002 г. [Бардин, Вакарчук, 2002], не утрачена и поныне. Речь идет о том, чтобы методы, приемы, алгоритмы и обучающие выборки, наработанные на одних объектах, были «переносимыми» на другие объекты в форме типовых технологических приёмов распознавания образа комплексов пород и способствовали «одинаковости» подходов при стратиграфическом расчленении разреза и построении корреляционных схем на различных объектах.

Это требует не только единства взглядов на стратификацию разреза среди предметно ориентированных специалистов, но и применения типового алгоритмического обеспечения и единообразия в формировании баз данных [Бардин, Чупрынин, 1990]. В данном случае уточнения и детализация стратиграфических колонок, полученные на последующих объектах с минимальными трудозатратами, могут быть применены для переинтерпретации геолого-математических моделей предшествующих поколений. Таким образом, на уровнях компьютерного мониторинга можно непрерывно уточнять объектов нефтегазоносного региона на локальном, зональном и региональном «иерархическую базу знаний» о пространственном строении и взаимоотношении уровне в виде соответствующих таблиц, корреляционных схем и геолого-математических моделей [Бардин, 1987]. Обоснованию вариантов решения данной задачи с позиций системного подхода и посвящена данная публикация [Бардин, 1989].

Объект, цель, задачи исследования. Объектом исследования являются компьютерные технологии. Цель настоящего исследования – поиск путей усовершенствования классических методов стратификации разреза с помощью применения апробированных алгоритмических средств и обоснования вариантов использования человеко-машинных технологий в стратиграфических исследованиях. Задачей исследования является обоснование вариантов создания унифицированного (типового) подхода компьютерной

стратификации разреза скважин по керновому материалу, данным геофизических исследований скважин (ГИС) и сейсмостратиграфии. Решение задачи сопровождается пониманием последовательного продвижения от частного к общему, от единообразной стратификации локальных объектов до результатов фундаментальных стратиграфических исследований.

Материалы, методы и предыстория исследования. Уже к середине 80-х годов прошлого века основные методы математической статистики и геолого-математического моделирования, применяемые для решения весьма сложных задач стратификации разреза, прошли апробацию на уровне вычислительных центров в производственных структурах Министерства геологии Украины. Для решения задачи расчленения геологического разреза на области однородности и последующей корреляции был апробирован метод многомерного статистического анализа. Для классификации образцов микрофауны по их морфологическим признакам использован математический аппарат распознавания образа, кластер-анализа, факторного анализа, главных компонент.

Создание разнообразных автоматизированных рабочих мест промыслового геофизика, активный обмен идеями для решения задачи литологического расчленения и последующей корреляции на основе соответствующих алгоритмов привел к практическому результату. Как известно, на кривой потенциалов самопроизвольной поляризации глины имеют максимумы, песчаники и пористые известняки – минимумы, а кривые каротажа сопоставления – максимум у песчаных и карбонатных пород. Для гамма-каротажа характерны повышенные значения на породах с высокой адгезией (битуминозные глины, аргиллиты, глинистые сланцы) и низкие – на известняках, песчаниках и т.д. Естественно, что региональные особенности разреза сделали необходимым применение обучающих выборок по керновому материалу и участия специалистов-геофизиков при интерпретации каротажных диаграмм. Но в целом оцифровка каротажных кривых, возможности их графического масштабирования и совмещения способствовали решению задач выявления ритмопачек, выделения реперов и породных ассоциаций в диалоговом режиме. Несмотря на ряд проблем и сложностей, технический, алгоритмический базис информационных технологий в нефтегазовой геологии был создан, и прогресс математических методов в геологии был очевидным. Однако решение задачи автоматизированной (компьютерной) стратификации так и осталось незавершенным.

Биостратиграфические методы расчленения и корреляции разреза самые сложные для автоматизации в силу их недостаточной алгоритмической однозначности. Седиментационные тела трехмерны, занимают определенные объемы геологического пространства-времени и в своей иерархической совокупности заполняют всю седиментосферу. Но и сами они являются иерархической ассоциацией структурных элементов, которые мы понятийно относим к данному седиментационному образованию внутри осадочной толщи планеты Земля.

Границы седиментационных тел (стратонов) трассируются по системе оконтуривающих их согласных и несогласных поверхностей, но само выделение этих границ не имеет математической (физической) однозначности.

Основную роль в стратиграфии играют скелеты простейших микроорганизмов (фораминиферы, радиолярии и т.п.), идентифицируемые в керновом материале, фактически отобранном в произвольной точке по отношению к будущему стратифицируемому породному слою (пласту), который мы пытаемся вычленивать (или найти) в ходе бурения скважины, чтобы подтвердить (или опровергнуть) его нефтегазоносность. Эта изначальная, признаковая «точечность» стратиграфической приуроченности не в состоянии полностью компенсироваться ни методами ГИС по вертикали, ни методами объемной сейсмостратиграфии.

Во всех случаях это «понятная», прогнозная, компромиссная модель, которая или успешно решает производственные задачи поиска и разведки углеводородов, или же ведет к ошибочным представлениям о геологическом строении.

Ситуация осложняется тем, что в различных геологических условиях для стратификации комплексов пород используются биологические минерализованные остатки

различных микроорганизмов. Это археоциаты, кораллы, брахиоподы, моллюски, остракоды, споры и пыльца растений, кутикулы водорослей, грибов, мхов и др. Разнообразие микроскопических фаунистических и флористических комплексов необычайно значительное, а сохранность скелета зачастую желает лучшего, особенно в переотложенных породах. Осложнения, связанные с природными и географическими условиями их обитания, еще больше усложняют пространственную привязку фоссилий и стратификацию «точки» геологического пространства.

Поэтому, несмотря на огромные усилия профильных специалистов, выполняющих геологопоисковые работы на нефть и газ, можно говорить только о наличии определенных успехов в развитии биостратиграфии. Мы имеем некоторое количество «золотых гвоздей» в общей стратиграфической шкале, но не имеем окончательного решения задачи стратификации. Общепланетарные закономерности стратификации разреза методами исторической геологии установлены и подтверждены, но на уровне локальных объектов литолого-стратиграфические границы обладают определенной «призрачностью».

С точки зрения Ю.Н. Карогодина [Карогодин, 2003], наблюдается затяжной кризис бассейновой стратиграфии, который сопряжен с рядом недостатков общепринятой стратиграфической схемы. В частности, автор считает, что не уделено приоритетное внимание региональным стратиграфическим несогласиям как важнейшим элементам стратиграфической схемы.

Качественное развитие стратиграфических исследований, создание баз данных и мощных информационно-поисковых систем, применение алгоритмов распознавания образа и многомерной статистики призвано разрешить проблему стратификации разреза.

Для этого необходимо решить задачу моделирования и картирования не только согласных, но и несогласных границ (размывов, разломов, сдвигов) геологических тел на всех уровнях их организации (до уровня продуктивных горизонтов), оценить проницаемость зон стратиграфических и литологических нарушений. По термобарическим условиям разреза и геохимическим параметрам пластовых флюидов следует построить региональные модели пространственной фильтрации флюидов в масштабе геологического времени.

Необходимо отметить, что вне поля зрения исследователей остался вопрос энергетической основы седиментационных процессов. Каковыми являются энергетические затраты на процессы трансгрессии и регрессии? Какой материально-энергетический баланс осадконакопления и пространственной миграции флюидов? Какая объемная скорость миграции углеводородов?

Авторы разделяют точку зрения многих исследователей о том, что основную роль в формировании месторождений нефти и газа играют восходящие флюидные потоки мантийного генезиса, основной путь которых пролегает через ослабленные зоны тектонических нарушений. Поэтому основная цель поисково-разведочных работ – это поиск размывов и стратиграфических несогласий (гидростатических тупиков), барьеров на пути субвертикального продвижения глубинных, высокоэнергетических флюидов. Отсюда следует задача для компьютерной стратификации в палеорекострукции зарождения и эволюции каждого стратона в его пространственно-временных границах как результат размывов и переотложений вследствие гравитационной и геохимической сепарации, а также последующей седиментации и литогенеза.

Основное препятствие для специалистов математических методов в геологии – крайне сложная процедура работы со специфическим стратиграфическим признаковым пространством.

Компьютер в состоянии ранжировать и дать сводную рейтинговую оценку точек зрения группы экспертов по отнесению какой-либо свиты к некоторому стратону. Но такие факторы как технология извлечения микрофлоры и микрофауны из образца, правильность отбора образца из керна, точность привязки керна в кернаприемнике, делают заключения исследователя главным инструментом на этапе подготовки данных, формирования обучающих выборок и т.д. Поэтому представляется целесообразным при внедрении

информационных технологий отделять скважинную, сейсмическую информацию от ее стратиграфической идентификации.

Следующим этапом является разработка алгоритмических методов компьютерной стратификации разреза с элементами искусственного интеллекта. Алгоритмический комплекс должен в диалоге со стратиграфом решать ранее не решенную задачу создания объемных моделей стратонів по согласным и несогласным ограничивающим поверхностям. Для моделирования «облекающих» поверхностей возможно применение хорошо апробированного алгоритма «мультиквадриков» [Бардин, Жарый, 1988].

Результаты исследований. Конечной целью применения усовершенствованных и унифицированных технологических приемов компьютерной стратификации разреза на локальном уровне, является последующее качественное повышение точности и однозначности стратификации разреза на зональном и региональном уровнях. Более надёжное выявление размывов и перерывов в осадконакоплении, их картирование и анализ позволят осуществить прогнозирование новых стратиграфически и литологически экранированных поисковых объектов.

Современный этап стратиграфических исследований территории Украины находится на стадии завершающего обобщения. Это подтверждено завершением обширного комплекса работ по стратификации отложений Украины [Стратиграфія..., 2013]. Наличие апробированных стратиграфических схем практически всей территории Украины, детально отраженных в многочисленных каталогах и схемах, уже сегодня свидетельствует об их комплексном, системном применении для решения задач следующего уровня [Стратиграфія..., 2013]. Речь идет о потенциальной возможности использования не имеющей аналога обширнейшей базы знаний в качестве обучающей выборки при апробации компьютерных алгоритмов стратификации разреза и распознавании образа стратиграфических комплексов.

Современные, разномасштабные методы визуализации картографических данных не всегда однозначно позволяют представить объекты исследования [Гончаров, 2006, 2007]. Автоматизация в стратиграфических исследованиях связывается не только с переводом информации на машинные носители, но и с качественно новыми возможностями визуализации, позволяющими разработать новый информационный способ представления геолого-стратиграфических моделей с помощью «визуальных фреймов». Это позволило создать «механизм обратной связи» для уточнения базовой стратиграфической шкалы [Гончаров, 2011]. В ходе практической апробации метода «визуальных фреймов» было установлено, что он является структурой, способной отобразить совокупность геологических знаний в привычном для геологов виде, но последовательно-историческим путем, начиная именно со стратиграфических данных. Наличие стратиграфических знаний в структуре фреймов – одно из основных требований, без выполнения которого его построение невозможно. С целью проверки результативности использования фреймов был разработан и опробован ряд детальных информационно-стратиграфических шкал на уровне микрофаунистических горизонтов девона и карбона Днепроовско-Донецкой и Припятской впадин [Гончаров, Кононенко, 2008, Гончаров та ін., 2009]. В результате удалось доказать возможность увеличения детальности Международной стратиграфической шкалы до уровня микрофаунистических горизонтов.

Следующим шагом стал пересмотр принципов представления стратиграфических объектов по площади и в пространстве. Был сделан вывод о том, что геологические профили можно использовать как инструмент стратификации. Данный подход был реализован при построении информационно-стратиграфических профилей девона и четырех информационно-стратиграфических профилей нижнего карбона Днепроовско-Донецкой впадины через пробуренные скважины вдоль Северной прибортовой зоны впадины, протяженностью около 800 км. В результате выполненных исследований установлена возможность создания каталога информационно-стратиграфических профилей в пределах единого Днепроовско-Припятского прогиба и расширения области стратиграфических исследований методом «визуальных фреймов» на качественно новом межрегиональном уровне [Гончаров, 2013].

Выводы. База знаний в области стратиграфии Украины уникальна, требующая бережного и внимательного использования и переноса на машинные носители.

Использование компьютерной базы данных «Стратиграфия Украины» послужит основой для создания программного продукта по стратификации разреза качественно нового уровня, в том числе и пространственного моделирования стратиграфических единиц от уровня продуктивных горизонтов до стратонів как по поверхностям согласия, так и по поверхностям несогласия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бардин А.А. Необходимая вычислительная среда накопления и интерпретации геолого-геофизических данных в условиях ПГО / А.А. Бардин // Геохимические системы: Методы выделения и интерпретации. – Львов, 1987. – С. 50–52. – (Препр. / АН УССР. Ин-т геологии и геохимии горючих ископаемых; № 87-1).

Бардин А.А. Системный подход в организации информационного обеспечения геологоразведки углеводородов на базе ЭВМ / А.А. Бардин // Тр. III всесоюз. конф. "Системный подход в геологии" (теоретические и прикладные аспекты). – М., 1989. – Т. 1. – С. 306–307.

Бардин А.А. Алгоритм обоснования точки заложения поисковой скважины на основе вычисления центра объема прогнозируемой залежи / А.А. Бардин, Я.В. Жарый // Человеко-машинная технология решения прогнозных задач в нефтяной геологии. – Л.: ВНИГРИ, 1988. – С. 123–131.

Бардин А.А. К вопросу о взаимном соотношении стратиграфических и литолого-стратиграфических границ при расчленении геологического разреза / А.А. Бардин, Г.И. Вакарчук // Геоинформатика. – 2002. – №2. – С. 86–90.

Бардин А.А. Пользовательский аспект баз данных уровня ПГО / А.А. Бардин, Д.И. Чупрынин // Тр. Науч.-техн. конф. "Проблемы создания универсальных баз данных в геологии". – Киев: ГЕОС, 1990. – С. 18.

Гончаров В.Є. Геологічна інформатика. Положення в системі наук про Землю / В.Є. Гончаров // Геоінформатика. – 2007. – № 3 – С. 19-26.

Гончаров В.Є. Геологічний напрям розвитку інформаційних технологій / В.Є. Гончаров // Геоінформатика. – 2006. – № 2. – С. 92-97.

Гончаров В.Є. Информатизация стратиграфии – первый шаг в информатизации геологии / В.Є. Гончаров // Тез. докл. междунар. науч.-практ. Конф. «Эффективные технологии разработки залежей углеводородов», Речица 1-4 окт. 2013 г. – С. 212-214.

Гончаров В.Є. Сублокальный геологический прогноз нефтегазоперспективных объектов в пределах территории с высокой освоенностью недр Днепровско-Донецкой впадины / В. Е. Гончаров. – Чернигов: ЦНТИ, 2011. – 257 с.

Гончаров В.Є. Розробка принципів зображення стратиграфічної інформації в інформаційно-геологічних дослідженнях / В.Є. Гончаров, Л. П. Кононенко, Г. М. Каленська // Геоінформатика. – 2008. – № 3. – С. 56–68.

Гончаров В.Є. Інформаційний аналіз в стратиграфії / В.Є. Гончаров, З. П. Шевякова, А. В. Пулов, Г. М. Каленська. // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: зб. наук. пр. – К., 2009. – С. 31–47.

Карогодин Ю.Н. Кризис бассейновой стратиграфии и пути выхода из него (системно-литологический подход) / Ю.Н. Карогодин // Актуальные проблемы нефтегазоносных бассейнов. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2003. – 158 с.

Куликович А. Е. Проблемы геоинформатики. / А.Е. Куликович, Н.А. Якимчук // Киев: Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАН Украины, 2009. – 171 с.

Пик нефти. https://ru.wikipedia.org/wiki/Пик_нефти

Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України: у 2-х т. Т. 1., Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України. / Головний ред. П.Ф.Гожик. – К.: Логос, 2013. – 637 с.

REFERENCES

Bardin A.A. Necessary computing environment for the accumulation and interpretation of geological and geophysical data under the conditions of PGO / A.A. Bardin // Geochemical Systems: Methods of Isolation and Interpretation. – Lviv, 1987. – P. 50-52. – (Prep / Academy of Sciences of the USSR, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals, No. 87-1).

Bardin A.A. System approach in the organization of information support for hydrocarbon exploration on the basis of a computer / A.A. Bardin // Tr. III All-Union. Conf. "System approach in geology" (theoretical and applied aspects). – M., 1989. – T. 1. – P.306-307.

Bardin A.A. Algorithm for substantiating the location of the exploratory well on the basis of calculating the center of the volume of the predicted deposit. A.A. Bardin, Ya.V. Zhariy // Human-machine technology for solving forecast problems in petroleum geology. – L.: All-Russian PRGPI, 1988. – P. 123-131.

Bardin A.A. On the question of the mutual correlation of stratigraphic and lithologic-stratigraphic boundaries in the dismemberment of the geological section / A.A. Bardin, G.I. Vakarchuk // Geoinformatics. – 2002. – № 2. – P. 86-90.

Bardin A.A. The user aspect of the databases of the PGO / A.A. Bardin, D.I. Chuprinin // Tr. Nauch.-tehn. Conf. "Problems of creating universal databases in geology". – Kiev: GEOS, 1990. – P. 18.

Goncharov V.E. Geological information. The provisions in the earth sciences / V.E. Goncharov // Geoinformatics. – 2007. – № 3 – P. 19-26.

Goncharov V.E. Geological direction of information technology/ V.E. Goncharov // Geoinformatics. – 2006. – № 2. – P. 92-97.

Goncharov V.E. Informatization of stratigraphy – the first step in informatization of geology / V.E. Goncharov // Thesis. Doc. Intern. Scientific-practical. Confection "Effective technologies for the development of hydrocarbon deposits", Rechitsa 1-4 Oct. 2013 – P. 212-214.

Goncharov V.E. Sublocal geological forecast of oil and gas prospecting objects within the territory with high exploration of the Dnieper-Donets basin / V.E. Goncharov. – Chernigov: CSTI, 2011. – 257 p.

Goncharov V.E. Elaboration of the principles of stratigraphic of image information in geological studies / V.E. Goncharov, L. P. Kononenko, G. M. Kalenska // Geoinformatics. – 2008. – № 3. – P. 56-68.

Goncharov V.E. Informational analysis in stratigraphy / V.E. Goncharov, Z.P. Shevyakova, A.V. Pupov, G.M. Kalenska. // Theoretical and Applied Aspect of Geoinformatics: Com. Sciences. Etc. – K., 2009. – P. 31-47

Karogodin Yu. N. The crisis of basin stratigraphy and the way out of it (system-litnological approach) / Yu.N. Karogodin // Actual problems of oil and gas bearing basins. Novosibirsk: Publishing NSU, 2003. – 158 p.

Kulinkovich A.E. Problems of geoinformatics. / A.E. Kulinkovich, N.A. Yakimchuk // Kiev: Center for Management and Marketing in the Earth Sciences IGN NAS of Ukraine, 2009. – 171 p.

Peak of oil. https://en.wikipedia.org/wiki/Peak_oil

Stratigraphy of the Upper Proterozoic and that of the Phanerozoic of Ukraine: in 2 volumes, T. 1., Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine. / Head ed. P.F. Gozhik. – K.: Logos, 2013. – 637 p.

О.О. Бардін, В.Є Гончаров **СТРАТИГРАФІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Стратиграфія і математичні методи в геології є такими, що взаємно доповнюють одна одну, синергетичними областями знань. Їх методологічне об'єднання породжує емерджентний, якісно новий стан ефективного інструменту для прогнозу пошукових об'єктів на нафту і газ. Завданням даного дослідження є використання досягнень минулого для підготовки якісно нових можливостей на майбутнє.

Ключові слова: математичні методи у геології, комп'ютерна база даних «Стратиграфія України», просторове моделювання стратиграфічних одиниць

A.A. Bardin, V.E. Goncharov **STRATIGRAPHY AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

Stratigraphy and mathematical methods in geology are complementary, synergistic areas of expertise. Their methodological association generates emergent, qualitatively new state of the two-pronged tool for predicting search facilities for oil and gas. The objective of this study is to use the achievements of the past for the preparation of a qualitatively new opportunities for the future.

Key words: mathematical methods in geology, computer database "Stratigraphy of Ukraine", spatial modeling of stratigraphic units

¹ Инвестиционное, геолого-технологическое предприятие «Геоид», г. Чернигов

Александр Алексеевич Бардин

² Черниговское отделение УкрНИГРИ, г. Чернигов

Виктор Евгеньевич Гончаров