

безусловно будут решены солидарными усилиями геологов, геофизиков, технологов и отечественными производителями машин и оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов, В.М. О концепции разработки полевых геофизических приборов в России на основе универсальной инструментально-информационной платформы / В.М. Денисов, Н.А. Мац, А.В. Радилов, А.Л. Ронин, В.В. Шиманский, К.А. Соловейчик // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 7. — С. 28–33.
2. Мац, Н.А. Состояние и перспективы геофизического аппаратурно-методического обеспечения поисков твердых полезных ископаемых

- в России / Н.А. Мац, А.Л. Ронин, А.П. Савицкий, В.В. Шиманский // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 9. — С. 105–112.
3. Шиманский, В.В. Национальная безопасность России и технико-технологическое перевооружение геологоразведочной отрасли / В.В. Шиманский // Газета «Российские недра» от 04.04.2012. — № 6 (136). — С. 8.
 4. Шиманский, В.В. Техничко-технологическое перевооружение геологоразведочной отрасли — условие обеспечения национальной безопасности России / В.В. Шиманский // Нефтегазовая вертикаль. — 2015. — № 22. — С. 15–17.

© Шиманский В.В., 2016

Шиманский Владимир Валентинович // shimvld@mail.ru

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 550.8.05:553.98

Калинин Д.Ф., Погарева О.И., Яновская Ю.А. (ФГУНПП «Геологоразведка»)

ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОГО ПРОГНОЗА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Рассматриваются особенности информационно-статистического многоальтернативного прогноза полезных ископаемых по комплексу геофизических данных с использованием натуральных и моделируемых эталонов. Приведен пример вероятностного прогноза залежей углеводородов различного геолого-структурного типа в Вычегодском прогибе (Республика Коми). Даны примеры разноступенчатого вероятностного моделирования геологических структур по комплексу параметров особых точек магнитного поля в одном из районов Иркутской области. **Ключевые слова:** информационно-статистический прогноз, натуральный эталон, особые точки, вероятностное моделирование, комплекс геофизических данных.*

Kalinin D.F., Pogareva O.I., Yanovskaya Yu.A.
(Geologorazvedka)

INFORMATION AND STATISTICAL TECHNOLOGY OF THE MULTIALTERNATIVE FORECAST OF MINERALS

*This paper considers features of information and statistical multialternative forecast of useful minerals by a set of geophysical data, using prototype and simulated standards. It gives an example of a probabilistic forecast of hydrocarbon deposits of various geo-structural types in the Vychegodsky aulacogen (Komi Republic). Here given the examples of deep probabilistic simulation of geo-structures by a set of parameters of special points in a magnetic field of one of the areas of Irkutsk region. **Keywords:** information and statistical forecast, prototype, special points, probabilistic simulation, set of geophysical data.*

Теоретические и прикладные исследования второй половины XX и начала XXI в. в геологии, геофизике, геохимии, развитие геоинформатики обусловили создание компьютерных технологий, связанных с накоплением и обработкой геоданных. Многие из них используют нетривиальные научные и технологические

подходы для прогнозирования месторождений полезных ископаемых.

Одна из хорошо зарекомендовавших себя технологий, разработанная в ФГУНПП «Геологоразведка», получила название MultAlt [5]. Эта компьютерная технология предусматривает автоматизированную комплексную интерпретацию геолого-геофизических данных на современном уровне и обуславливает все новые и новые подходы к использованию метода аналогий в решении прогнозных задач. Она объединяет возможности процедур обучения, распознавания, моделирования геологических объектов, использования экспертных мнений в рамках концепции статистической многоальтернативной комплексной интерпретации.

Известно, что в структуре работ по наращиванию ресурсного потенциала преобладают региональные исследования на основе геологического картирования в масштабах 1:1 000 000 — 1:200 000. Для оценки перспективности территорий на различные виды полезных ископаемых и выделения участков для постановки поисковых работ широко используются различные геолого-геофизические материалы (в том числе данные современных аэромагнитных и гравиметрических съемок). Применение методологии статистической комплексной интерпретации и переинтерпретации геоданных позволяет более эффективно контролировать результаты и способствует получению новых содержательных выводов при прогнозе минерально-сырьевых ресурсов.

Особенности информационно-статистических методов прогноза полезных ископаемых

Комплексные прогнозно-геофизические исследования связаны с необходимостью принятия решений в условиях дефицита информации о природе и свойствах ископаемых объектов. Во многом это обусловлено технолого-экономическими возможностями полевых работ и недостаточными объемами разведочного бурения. Процесс принятия прогнозных решений необходимо сочетать с анализом *эффективности* формализованной комплексной интерпретации. В противном случае достоверность результатов и необходимость постановки дальнейших прогнозно-поисковых работ остаются под сомнением [4].

Применение информационно-статистического подхода [5] способствует повышению достоверности прогноза полезных ископаемых и имеет ряд особенностей:

построение решений осуществляется на *многоальтернативной* основе с назначением конкретных объектов прогноза;

в основе математического аппарата принятия решений по комплексу геолого-геофизических признаков лежит расчет вероятностной функции *правдоподобия*, обеспечивающей максимальное сохранение полезной информации об объекте. В процессе комплексной интерпретации значения используемых признаков (геоданных) преобразуются в безразмерные вероятности решений о прогнозируемых объектах;

при принятии решений используются оптимальные статистические критерии, предусматривающие *произвольные* распределения значений признаков (выборочных совокупностей случайных величин). Ограничения непараметрических критериев принятия решений (типа критериев Фишера и Стьюдента), связанные с использованием нормально распределенных выборок случайных величин, в предлагаемом подходе отсутствуют;

анализ эффективности признаков производится в процессе формализованного принятия решений, что способствует выбору *наиболее рационального* комплекса геоданных для каждой конкретной задачи прогноза. Численная оценка информативности и достоверности решений по комплексу признаков позволяет оценить *качество* прогноза в целом.

В результате формализованной комплексной интерпретации в каждой апробируемой точке, обладающей конкретными координатами, определяются *индекс* прогнозного решения и его *вероятность*.

Искомые объекты («целевые» альтернативы прогноза) неизменны в течение всего процесса формализованной интерпретации. Корректное решение требует задания и «нецелевой» (фоновой) альтернативы, характеризующей площадь прогнозных исследований вне пределов целевых объектов и обладающей отличными от них свойствами. В общем случае число альтернатив прогноза (включая «нецелевую») не ограничивается.

Методология статистической комплексной интерпретации является методологией *многомерного анализа* геоданных. Формально число используемых признаков в комплексе не ограничивается. Наряду с *количественными* могут быть использованы также *качественные* признаки (в геологии — метаморфические, геоморфологические, возрастные, структурные и др.), характеризующие объект прогноза набором номеров дискретных состояний типа «есть — нет», «изометричный — вытянутый — хаотичный», «антиклинальный — брахиантиклинальный — синклинальный» и т.д. Информационно-статистические методы прогноза допускают *комплексирование мнений* независимых экспертов (в том числе и противоположных), отраженных в соответствующих вероятностных таблицах на основе взвешенных информационных оценок [3]. Тем самым практический опыт и интуиция экспертов, связывающих прогнозируемые объекты с диапазонами и состояниями признаков, могут быть количественно учтены.

Методология информационно-статистического прогноза основывается на статистических алгоритмах распознавания «образов» с обучением на эталонах (аналогах). Этап обучения завершается построением вероятностного *решающего правила*, отражающего взаимосвязь между эталонами и прогнозируемыми объектами на основе анализа соответствующих выборок значений (номеров состояний) для каждого конкретного признака. При этом признаки должны в максимальной степени соответствовать физической сущности и геологической природе искомых объектов.

Формализованное *распознавание* объектов, подобных эталонам, основывается на результатах обучения с использованием многомерных распределений значений признаков. Для эффективного распознавания необходимо обеспечить достаточную представительность и однородность эталонных (обучающих) выборок.

Выбор эталонов — один из наиболее ответственных этапов многоальтернативной комплексной интерпретации. Для решения прогнозных задач, связанных с выделением минерагенически перспективных территорий, используются следующие варианты эталонов:

а) выборки значений количественных признаков в пределах площадных участков, заведомо содержащих месторождения и проявления полезных ископаемых (натурные «фактографические» эталоны *с координатной привязкой*);

б) выборки значений количественных признаков в пределах площадей с типовыми геологическими обстановками (натурные «ситуативные» эталоны *с координатной привязкой*);

в) комбинации *диапазонов значений* количественных признаков, характеризующие прогнозируемые объекты (эвристические эталоны *без координатной привязки*);

г) расчетные выборки полей или эффективных параметров среды, полученные в результате решения прямых и обратных задач геофизики (модельные эталоны *без координатной привязки*).

Натурные «целевые» эталоны могут располагаться как в пределах интерпретируемой площади, так и вне ее, при этом эталон для фоновой альтернативы должен быть обязательно расположен в пределах апробируемой территории. Правильно выбрать эталон, соответствующий «целевому» объекту прогнозирования, можно только по результатам совместного анализа априорной геологической и геофизической информации. Поэтому их выбор осуществляется, как правило, геологами при участии геофизиков, выполняющих прогнозные геофизические исследования [2, 6, 8].

Решающее правило является своеобразным информационным фильтром и характеризуется определенной эффективностью при использовании того или иного признака. Методология статистической комплексной интерпретации предлагает способ *численной* оценки эффективности как для отдельных признаков (решающих правил), так и для их комплексов [1, 5]. Главная из оценок, *информативность*, определяется через разность энтропий Шеннона, являющихся мерами распределения вероятностей прогнозируемых объектов до и после применения решающего правила.

В методологии многоальтернативной комплексной интерпретации реализованы алгоритмы, допускающие использование как коррелированных (статистически зависимых), так и некоррелированных (статистически независимых) исходных данных.

Совместная (комплексная) обработка признаков проводится с целью увеличения информативности и более надежного распознавания целевых объектов прогноза. Предусмотрено *оптимальное комплексирование*, которое сводится к пересчету правдоподобий для отдельных признаков в совместные апостериорные вероятности для комплекса на основе байесовского подхода [3]. Все исходные признаки комплекса пересчитываются в безразмерные значения вероятностей. Совместные вероятности прогноза (по комплексу признаков) определяются во всем множестве точек исследуемой территории.

Результаты статистической комплексной интерпретации представляются в виде цифровых матриц («гридов» регулярной сети). Предусмотрены три варианта визуализации результирующих материалов:

построение карт *максимально правдоподобных решений* (МПР) об искомых альтернативах и соответствующих *вероятностей* МПР. Максимально правдоподобное решение представляет собой решение, принимаемое в каждой апробируемой точке по комплексу признаков и соответствующее номеру (индексу) альтернативы с максимальным значением совместной вероятности в данной точке;

построение карт *решений* об искомых альтернативных объектах при условии, что вероятности этих решений превышают заданный *пороговый уровень*;

построение карт вероятностей решений для *отдельных* альтернатив прогноза.

Оценка перспектив нефтегазоносности Вычегодского прогиба (Республика Коми) на основе информационно-статистического подхода

Вычегодский прогиб располагается в южной части Республики Коми и на прилегающих территориях Пермского края. В геолого-структурном отношении он представляет собой узел сочленения крупных структур земной коры: северо-восточной части Восточно-Европейской платформы (Русской плиты); Тимано-Печорской складчато-глыбовой области (плиты); Уральского герцинского складчатого пояса. Для Русской и Тимано-Печорской плит фундаментом является единый раннедокембрийский кристаллический комплекс.

При локализации площадей, перспективных на выявление залежей УВ в пределах Вычегодского прогиба (номенклатурные листы Госгеолкарты Р-39, 40 масштаба 1:1 000 000), использовались различные комбинации известных месторождений УВ, представляющие собой натурные эталоны для следующих целевых альтернатив прогноза объектов:

увязываемых с зонами возможного распространения соляных куполов;
соотносимых с девонскими рифовыми структурами;
соотносимых с нефтегазовыми структурами Предуральского прогиба.

Указанные региональные объекты различаются структурной локализацией, типами залежей и литологией коллекторов. Соответствующие эталоны были ис-

Информативность (*Inf*) «региональных» и «локальных» геофизических признаков, связываемых с потенциальными полями.

| Наименование признака | <i>Inf</i> (%) |
|--|----------------|
| Региональная компонента поля силы тяжести | 53 |
| Региональная компонента магнитного поля | 48 |
| Энтропия региональной компоненты магнитного поля | 22 |
| Модуль полного горизонтального градиента региональной компоненты поля силы тяжести | 37 |
| Комплекс «региональных» признаков | 89 |
| Локальная компонента поля силы тяжести | 26 |
| Локальная компонента магнитного поля | 31 |
| Модуль полного горизонтального градиента локальной компоненты поля силы тяжести | 13 |
| Модуль полного горизонтального градиента локальной компоненты магнитного поля | 19 |
| Комплекс «локальных» признаков | 63 |

пользованы компьютерной технологией MultAlt для построения сводной прогнозно-геофизической схемы площадей, перспективных на выявление залежей УВ в пределах контура Вычегодского прогиба и на сопредельных территориях (рис. 1). Локализованные в пределах Вычегодского прогиба площади по своим геофизическим и морфологическим характеристикам могут рассматриваться как региональные предпосылки для поисков залежей углеводородов.

При прогнозе использовались два комплекса признаков. «Региональный» комплекс предназначен для вероятностной локализации зон глубинных поисковых предпосылок наличия целевых объектов. «Локальный» комплекс предусматривает вероятностную локализацию перспективных УВ структур в верхней части осадочного чехла. Информативность (*Inf*) решающих правил для «региональных» и «локальных» геофизических признаков, связываемых с потенциальными полями, показана в таблице.

Преимуществом сводной схемы является совмещение результатов с использованием *различных* прогнозно-геофизических комплексов. Были установлены следующие закономерности (рис. 1):

в районах Сереговской котловины на северо-западе и Колвинской седловины на юго-востоке Вычегодского прогиба наблюдается совмещение участков усредненного (по «региональным» и «локальным» признакам) прогноза структур, подобных комбинированным эталонам типа «Предуральский прогиб» и «соляной купол»;

в районе Северо-Кельтменской впадины прогнозируется ряд участков, подобных эталону нефтегазовых месторождений в глубоко погруженных структурах Предуральского прогиба.

Наиболее перспективными объектами на Вычегодской площади и соседних территориях являются УВ месторождения рифового типа. Прогнозные предпосылки указывают на наличие УВ месторождений рифового типа, приуроченных к *склонам* Камского свода — глобальной структуры, переходящей в Камскую моноклиналь. За пределами Вычегодского контура в районе Казанско-Кажимского прогиба «рифовые» объекты тоже прогно-

зируются *на склоне* Коми-Пермяцкого свода, но ближе к центру прогиба из-за большой мощности осадочного чехла. В районе Волго-Уральской антеклизы перспективные «рифовые» объекты аккумулируются *по склонам* Сыктывкарского погребенного свода. Достаточной обширной зона «рифовых» объектов локализуется и на северо-западной границе Вычегодского контура на Богородско-Большепорожском поднятии и его *склоне*.

Следует отметить, что в качестве «подложки» для рис. 1 использована карта исходного гравитационного поля в масштабе 1: 500 000 (уровень условный). Из рис. 1 видно, что основные перспективные площади находятся в краевых частях зон повышенного градиента гравитационного поля или вблизи них. Этот факт позволяет связать происхождение месторождений с глубинными разломами, разграничивающими своды, в свою очередь достаточно часто сопряженные с антиклинальными структурами [11]. Поэтому пространственное распределение предпосылок, связываемых с перспективными УВ объектами рифового типа, здесь далеко не случайно.

Вероятностное моделирование геологических структур с использованием пространственных конфигураций особых точек потенциальных геофизических полей

Перспективным приложением информационно-статистического подхода является использование пространственных распределений эффективных па-

раметров среды при вероятностном моделировании геологических структур, прямо или косвенно связываемых с возможным наличием месторождений полезных ископаемых. Одной из часто решаемых обратных задач геофизики является построение *особых точек* функций, описывающих продолжения аномальных потенциальных полей в нижнее полупространство [9, 10]. Исследование закономерностей пространственного размещения особых точек различных типов, описывающих разноглубинные сингулярные источники гравитационных и магнитных аномалий, способствует построению геолого-геофизических моделей изучаемых объектов. При интерпретации ступенчатости особых точек очерчивают область расположения возмущающих объектов, указывают на их форму и интенсивность свойств. При мелкомасштабных исследованиях во многих случаях интерес представляет уточнение пространственного положения приповерхностных трапповых образований, поверхностей фундамента и свит, разломов, глубинных интрузивных комплексов и др.

Оконтурирование распределений особых точек можно осуществлять как в разрезах, так и в плоских горизонтальных срезах для глубинных слоев, располагающихся в пределах изучаемой территории. Ниже приведены примеры объемного вероятностного картирования и

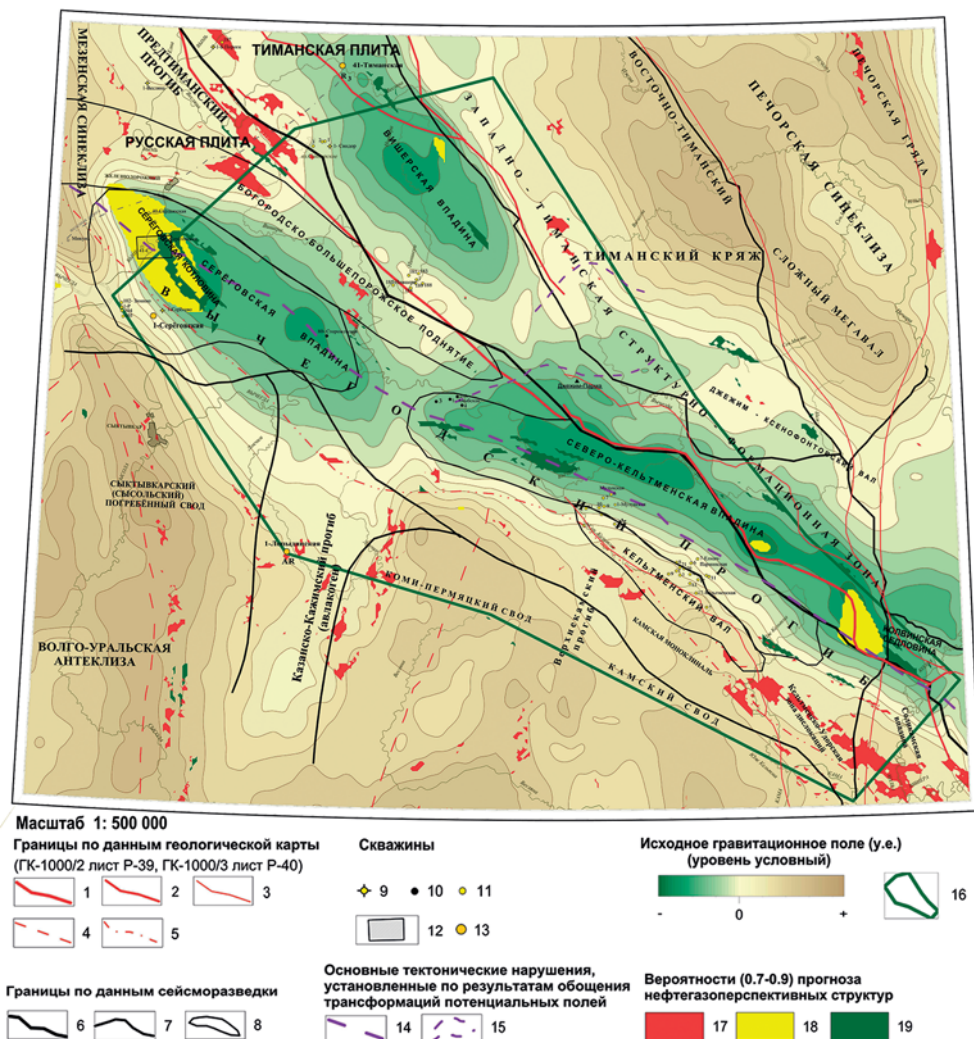


Рис. 1. Сводная схема нефтегазоперспективных площадей южной части Республики Коми и сопредельных территорий (Вычегодский прогиб, листы Р-39,40). Границы по данным геологической карты (ГК-1000/2 лист Р-39, ГК-1000/3 лист Р-40): 1 — главный Западно-Тиманский надвиг; 2 — надвиги, разделяющие складчатые зоны Тимана; 3 — границы структур; 4 — предполагаемые разломы; 5 — предполагаемая граница Предтиманского прогиба. Границы по данным сейсморазведки: 6 — надпорядков тектонических элементов I порядка, 7 — тектонических элементов II порядка, 8 — тектонических элементов III порядка. Скважины: 9 — параметрические, 10 — поисковые, 11 — структурно-поисковые, 12 — участки бурения Сереговских структурно-поисковых скважин, вскрывшие палеоподнятия. Основные тектонические нарушения, установленные по данным обобщения трансформаций потенциальных полей: 14 — центральный Вычегодский разлом; 15 — поперечные разломы; 16 — Вычегодская площадь. Нефтегазоперспективные структуры: 17 — типа «риф», 18 — типа «соляной купол», 19 — типа «Предуральский прогиб».

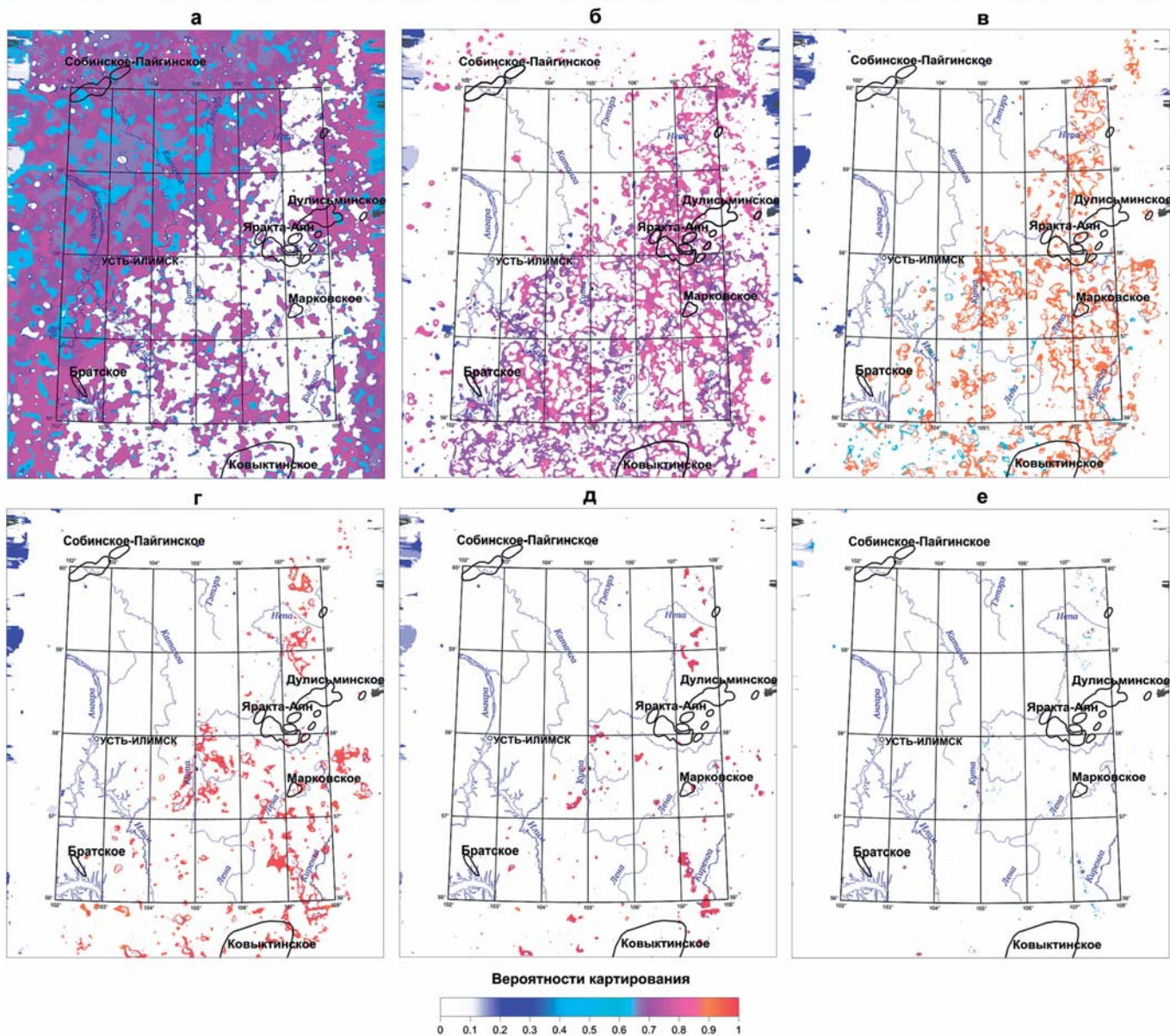


Рис. 2. Вероятностное картирование геологических объектов для горизонтальных слоев разной мощности в пределах листа О-48 (масштаб 1: 200 000) по результатам, полученным методом особых точек при обработке данных магниторазведки на глубинах: а — 0÷1 км; б — 1÷2 км; в — 2÷3 км; г — 3÷4 км; д — 4÷6 км; е — 6÷10 км. Контурами показано положение известных УВ месторождений

прогноза предпосылок наличия УВ структур с использованием данных количественной интерпретации аномального магнитного поля методом особых точек в пределах номенклатурного листа Гостгеолкарты О-48 масштаба 1:1 000 000 (Иркутская область).

Имеющаяся априорная информация позволяет сделать вывод о различном геологическом строении рассматриваемой территории. В северо-западной части листа О-48 трапповые образования внедрялись в довольно рыхлые осадочные породы и образовали мелкие неглубоко залегающие хаотично намагниченные объекты. В юго-восточной части трапповые образования более крупные и внедрены на большие глубины.

По всему листу О-48 и прилегающей территории локализация особых точек была проведена по равномерной регулярной сети с шагом 0.5 км. Всего было апробировано 1200 расчетных профилей, в каждом из которых располагалось по 1013 точек. Из выделенных 82514

особых точек 46 % можно условно отнести к верхним границам магнитных тел, а 39 % точек — к нижним границам. Остальные 15 % особых точек соотносятся с условными центрами масс магнитных тел.

Одна из задач моделирования представляет собой *вероятностное картирование* пространственных конфигураций, подобных по комплексу эффективных глубин и интенсивностей параметра намагничения особых точек послойным эталонным распределениям в пределах заданного объема среды. Объем представляется набором смежных, последовательно анализируемых горизонтальных слоев на глубинах от 1 до 10 км и сопрягается по площади с территорией листа О-48 (рис. 2). Распознаваемые объемные конфигурации могут быть соотнесены с реальными геологическими образованиями, причем с контролируемой надежностью и информативностью. Послойные конфигурации на рис. 2 с высокими вероятностями позволяют проследить верх-

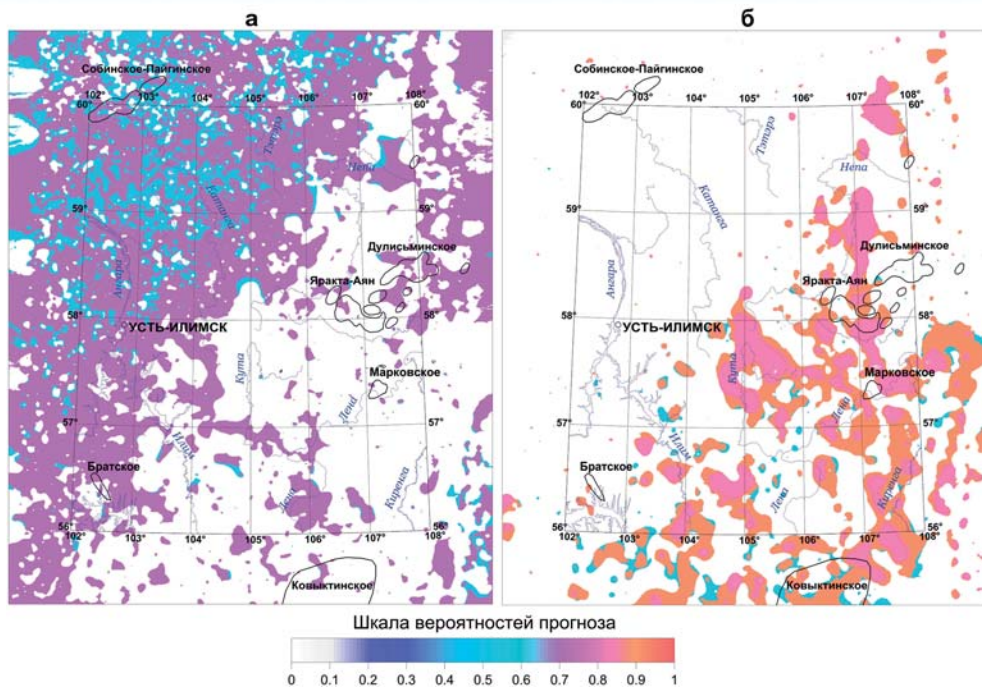


Рис. 3. Глубинный прогноз по комплексу параметров особых точек, ассоциируемых с нижними кромками магнитоактивных тел: а — приповерхностных трапповых эффузивов в диапазоне глубин 0÷2 км; б — интрузивных комплексов и/или субмеридианальных разломов в диапазоне глубин 4÷10 км. Контурами показано положение известных УВ месторождений

ние границы трапповых отложений, внедренных в осадочную толщу на разные глубины, и положение верхних кромок намагниченных тел, предположительно залегающих в толще плавно поднимающегося фундамента до глубин около 4 км. Обращает на себя внимание резкое сокращение числа неоднородностей в толще фундамента на глубинах 4÷6 км и их практически полное отсутствие в наиболее глубинном анализируемом слое 6÷10 км.

Другая задача вероятностного моделирования связана с прогнозом целевых геологических объектов по комплексу эффективных глубин и интенсивностей параметра намагничения особых точек различных типов [7]. В качестве искомым альтернатив прогноза выступают объекты:

предположительно связываемые с приповерхностными *трапповыми неоднородностями* и образуемые породами с аномальной латеральной изменчивостью магнитных свойств в диапазоне эффективных глубин 0÷2 км;

связываемые с трапповыми эффузивами, переходящими во все более и более вытянутые *долеритовые интрузии и дайки* по мере поднятия фундамента в диапазоне эффективных глубин 1÷4 км с соответствующими «магнитными» интенсивностями особых точек;

предположительно связываемые с *субмеридианальными разломами* и, возможно, *глубоко внедренными интрузиями* в диапазоне эффективных глубин 4÷10 км.

Нецелевым (фоновым) объектом являлась вмещающая среда в пределах всего исследуемого объема геологического пространства в диапазоне глубин от 0 до 10 км.

На соответствующих разноглубинных картах вероятностей наиболее достоверно прогнозируются предпо-

лагаемые нижние границы приповерхностных трапповых образований в северо-западной части листа О-48, а также нижние границы глубинных разломов и/или внедренных интрузивных тел в юго-восточной части листа О-48 (рис. 3).

Построенные по распределениям особых точек вероятностные модели были использованы при оценке перспективности на УВ в пределах листа О-48.

Известно, что глубина кристаллического фундамента на территории листа меняется с 2 км на юго-востоке до 7 км на северо-западе. Наличие прогнозируемых с высокими вероятностями зон глубинных крутопадающих разломов и массивных интрузивных тел в юго-восточной части листа О-48 (рис. 3б) сочетается с их отсутствием в северо-за-

падной части листа, экранированной трапповыми образованиями верхней части осадочного чехла. Поля траппов в свою очередь с умеренно высокими вероятностями локализуются в диапазоне глубин 0–2 км (рис. 3а). Предпосылки, прогнозируемые в юго-восточной части листа О-48, соответствуют условиям формирования залежей УВ, сопряженных с внедренными интрузиями и ограничивающими их глубинными разломами, выполняющими роль флюидоподводящих каналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берман, И.И. О количественной оценке эффективности геофизического метода в решении геологической задачи / И.И. Берман // Методы развед. геофизики. Вып. 15. — Л., 1972. — С. 110–113.
2. Бугаец, А.Н. Математические методы при прогнозировании месторождений полезных ископаемых / А.Н. Бугаец, Л.Н. Дуденко. — М.: Недра, 1976. — 276 с.
3. Гольцман, Ф.М. Физический эксперимент и статистические выводы / Ф.М. Гольцман. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. — 192 с.
4. Гольцман, Ф.М. Некоторые результаты практического использования компьютерной технологии MultAlt в задачах прогноза по комплексу геоданных / Ф.М. Гольцман, Д.Ф. Калинин, Т.Б. Калинина // Российский геофизический журнал. — 2000. — № 19 — 20. — С. 56–61.
5. Калинин, Д.Ф. Информационно-статистический прогноз полезных ископаемых / Д.Ф. Калинин. — М.: МПР РФ, ФГУНПП «Геологоразведка», 2011. — 164 с.
6. Калинина, Т.Б. Априорная оценка эффективности решений прогнозных и классификационных задач / Т.Б. Калинина, Д.Ф. Калинин // Российский геофизический журнал. — 2001. — № 23–24. — С. 83–88.
7. Калинин, Д.Ф. Возможности комбинированных технологий прогнозных геофизических и геохимических исследований на углеводороды / Д.Ф. Калинин, А.Л. Ронин, И.А. Кушмар // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 10. — С. 62–68.
8. Методические рекомендации по геофизическому обеспечению геологосъемочных работ масштаба 1 : 200 000 / Под ред. М.Н. Столпнера. — СПб.: ВИРГ-Рудгеофизика, 2000. — 240 с.
9. Трошков, Г.А. Математические методы интерпретации магнитных аномалий / Г.А. Трошков, А.А. Грознова. — М.: Недра. 1985. — 151 с.

10. Трошков, Г.А. Применение компьютерной технологии «Особые точки» для определения поверхности кристаллического фундамента Русской платформы по аэромагнитным данным / Г.А. Трошков, О.И. Погарева // Российский геофизический журнал. — 2001. — № 23–24.

11. Удоратин, В.В. Глубинное строение и сейсмичность южных районов Республики Коми / В.В. Удоратин — Сыктывкар: Геопринт, 2000. — 92 с.

© Калинин Д.Ф., Погарева О.И., Яновская Ю.А., 2016

Калинин Дмитрий Федорович // onadima@mail.ru

Погарева Ольга Игоревна // olga.pogareva@yandex.ru

Яновская Юлия Александровна // yanovskaya-yuliya61@yandex.ru

УДК 553.982.23

Шиманский В.В., Танинская Н.В., Колпенская Н.Н., Васильев Н.Я., Низяева И.С. (ФГУНПП «Геологоразведка»)

СЕДИМЕНТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОГНОЗЕ И ПОИСКАХ НЕСТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ

*Рассмотрена методика седиментационного моделирования при прогнозе и поисках неструктурных ловушек углеводородов, которая опирается на комплексное использование седиментологических, литолого-фациальных, биостратиграфических, промыслово-геофизических и сейсмических методов. Методика разработана и апробирована при изучении терригенных и карбонатных разрезов в Западно-Сибирской, Восточно-Сибирской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинциях. **Ключевые слова:** литофации, седиментационные модели, терригенные, карбонатные отложения.*

Shimanskiy V.V., Taninskaya N.V., Koltenskaya N.N., Vasiliev N.Ya., Nizyaeva I.S. (Geologorazvedka)

SEDIMENTOLOGICAL MODELING IN THE FORECAST AND SEARCH OF NON-STRUCTURAL HYDROCARBON TRAPS

*The article is devoted to the methodology of the sedimentation modeling in forecast and search of non-structural hydrocarbon traps, which relies on the integrated use of sedimentological, litho-facial, biostratigraphical, field geophysical and seismic methods. The methodology is developed and tested during studies of clastic and carbonate sequences in the West Siberian, East Siberian and Timan-Pechora oil and gas provinces. **Keywords:** lithofacies, sedimentological model, terrigenous, carbonate deposits.*

В последние годы в стране остро стоит проблема воспроизводства запасов нефти и газа при значительном превышении их добычи. Прогноз залежей УВ традиционно производится по сейсмическим данным, когда основным критерием поисков является структурный фактор. По мере увеличения детальности исследований в нефтегазоносных бассейнах возрастает количество обнаруженных залежей УВ неструктурного типа, которые контролируются не структурно-тектоническими, а стратиграфическими, литологическими, фациальными факторами. В этих условиях особенно важным является максимально достоверная геологическая интерпретация данных сейсморазведки с целью создания моделей нефтегазоносных объектов, генетически связанных с неструктурными ловушками УВ. Несмотря на широ-

кое распространение неструктурных ловушек, их поиску и разведке в России не уделяется соответствующего их значению внимания. В то время как в США залежи этого типа являются основным объектом поисков и разработки (до 75 % нефти добывается из неструктурных ловушек) в России доля добываемой из неструктурных ловушек нефти не превышает 10 %. Однако как разработка выявленных объектов, так прогноз и поиски новых сталкиваются с серьезными проблемами из-за их сложного строения и резкой фациальной изменчивости. Прогноз и поиск новых нетрадиционных объектов возможен только на основе комплексирования различных областей знания, применения инновационных технологий.

В связи с этим перед специалистами ФГУНПП «Геологоразведка» в последние годы стояли задачи по совершенствованию методики прогноза и поисков неструктурных ловушек углеводородов на основе комплексирования седиментологических, палеонтолого-стратиграфических, фациально-палеогеографических, промыслово-геофизических и сейсмических исследований, проведенных в нефтегазоносных комплексах Западно-Сибирской, Восточно-Сибирской и Тимано-Печорской провинций [8].

При осуществлении работ использовался ряд методов и технология их применения, основанная на комплексировании седиментологических, литолого-фациальных, биостратиграфических и сейсмофациальных исследований и хорошо зарекомендовавших себя как при построении региональных седиментационных моделей, так и при построении седиментационных моделей месторождений (рис. 1).

Седиментологический анализ керна. При седиментологической характеристике керна определяются основные признаки породы: цвет, структура, текстура, вещественный состав, характер взаимоотношения с выше- и нижележащими слоями, согласное или несогласное залегание, цикличность, тип слоистости, текстура, включения, пористость и трещиноватость пород, характер нефтенасыщения, фауна и флора, литотипы пород в слоях и выделяются литофации.

В терригенных разрезах определяются элементы текстур, связанные с особенностями питания и перемещения ползающих организмов (ихнофоссилий) по методу, разработанному С. Джорджем Пембертоном [10]. Следы жизнедеятельности ископаемых организмов или ихнофация заключают в себе комплекс текстур биотурбации, характерный для определенных условий осадконакопления (рис. 2).

В карбонатных разрезах литологические типы пород определяются с использованием генетической классификации карбонатных пород по Данему [9]. По результатам детальной характеристики керна строятся литолого-седиментологические колонки в масштабе 1:50 или 1:100. Построение таких колонок дает возможность при дальнейшей работе выделять фации и проследить их изменения в бассейне седиментации.

Анализ состава биоценозов. Изучение ассоциации ископаемых фоссилий (спор и пыльцы ископаемых растений, микрофитопланктона (цисты динофлагеллят),