

УДК 528.28
DOI:10.31660/0445-0108-2025-2-69-84
EDN: ITVGAA

**Интеллектуальные геоинформационные технологии для вероятностных
и нечетких расчетов и оптимизации для ГЕОТЭП и СМН
при определении оптимального расположения, ранжирования
поисково-разведочных скважин и картирования**

А. В. Шпильман^{1*}, А. Е. Алтунин¹

¹ ООО «СибГеоПроект», г. Тюмень, Россия
*shpilman@sibgeoproject.ru

Аннотация. Разработана геоинформационная система планирования, мониторинга и анализа геологоразведочных работ с интеллектуальным ядром для интеллектуального анализа данных, расчета и оптимизации в условиях неопределенности информации. Предложенные подходы и алгоритмы применены в Системе мониторинга недропользования, созданной для мониторинга по геологоразведочным работам и недропользованию. Рассмотрены принципы использования нечеткой и вероятностной моделей (гибридный подход) оценки ресурсной базы и подсчета запасов. Созданы детерминированный и нечеткий алгоритм расчета для геоинформационной системы при определении оптимального расположения поисково-разведочных скважин. Для построения карт неопределенностей при оценке запасов создан оригинальный нечеткий алгоритм, который по возможностям, точности, времени счета и устойчивости расчетов превосходит стандартно применяемый метод Монте-Карло. Такой подход дает возможность представить все неточно заданные параметры в виде функций принадлежности и использовать предложенные нечеткие операции для работы с реальной промысловой информацией. Предложенные нечеткие операции для работы с картами представляют из себя нечеткие оверлейные операции и могут быть использованы для построения карт, характеризующих неопределенность подсчетных параметров и запасов. Проводится сравнение метода со «светофорным» методом картопостроения.

Ключевые слова: условия неопределенности информации, Система мониторинга недропользования, интеллектуальные геоинформационные технологии, подсчет запасов нефти и газа, вероятностные методы, «светофорный» метод картопостроения, метод Монте-Карло

Для цитирования: Шпильман, А. В. Интеллектуальные геоинформационные технологии для вероятностных и нечетких расчетов и оптимизации для ГЕОТЭП и СМН при определении оптимального расположения, ранжирования поисково-разведочных скважин и картирования / А. В. Шпильман, А. Е. Алтунин. – DOI 10.31660/0445-0108-2025-2-69-84 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2025. – № 2. – С. 69-84. EDN: ITVGAA

**Intelligent geoinformation technologies for probabilistic and fuzzy
calculations and optimization for GEOTEP and SMN in determining
the optimal location, ranking of exploration wells, and mapping**

A. V. Shpilman^{1*}, A. E. Altunin¹

¹ SibGeoProject LLC, Tyumen, Russian Federation
*shpilman@sibgeoproject.ru

Abstract. A geographic information system has been developed for planning, monitoring, and analyzing geological exploration activities. This system incorporates an intelligent core for data analysis, calculations, and optimization in the face of information uncertainty. The proposed methodologies and algorithms have been implemented in the Subsurface Resource Management System, which is designed to monitor geological exploration work and the use of subsurface resources. This paper discusses using fuzzy and probabilistic models — a hybrid approach — for assessing the resource base and calculating reserves. We have developed deterministic and fuzzy algorithms for geographic information system calculations to determine the optimal placement of exploration wells. To generate uncertainty maps for reserve estimation, we created an original fuzzy algorithm that surpasses the commonly used Monte Carlo method in terms of capability, accuracy, calculation time, and stability. This approach allows us to represent all imprecisely defined parameters as membership functions and utilize the proposed fuzzy operations to analyze real field data. The fuzzy operations for map generation include fuzzy overlay operations, which can be employed to create maps that illustrate the uncertainty of calculated parameters and reserves. We also provide a comparison with the "traffic light" map-building method.

Key words: conditions of information uncertainty, Subsoil Management Monitoring System, intelligent geoinformation technologies, calculation of oil and gas reserves, probabilistic methods, "traffic light" mapping method, Monte Carlo method

For citation: Shpilman, A. V., & Altunin, A. E. (2025). Intelligent geoinformation technologies for probabilistic and fuzzy calculations and optimization for GEOTEP and SMN in determining the optimal location, ranking of exploration wells, and mapping. Oil and Gas Studies, (2), pp. 69-84. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2025-2-69-84

Введение

Эффективность геологоразведочных работ (ГРП) на нефть и газ определяется их результативностью и стоимостью разведки единицы запасов углеводородного сырья. Источниками повышения эффективности являются: сосредоточение работ в наиболее перспективных районах и структурах с благоприятными транспортно-экономическими условиями выявления и разведки запасов, совершенствование организации и методики проведения ГРП, повышение качества работ и достоверности оценки запасов за счет полноты геологической характеристики месторождений и изучения качества сырья, горно-геологических условий вскрытия, рациональной эксплуатации месторождений.

Объект и методы исследования

При оценке запасов обычно применяется детерминистский подход, использующий объемный метод. Авторы предлагают задействовать вероятностный подход, используя аппарат нечетких множеств.

Разработанный компонентный состав и архитектура программного комплекса, принципы и подходы web-компоненты легли в основу и были использованы при создании ряда программных продуктов для ГЕОТЭП и СМН [1, 2]. Исходя из основных функционально-технических требований, можно выделить следующие задачи разрабатываемой системы планирования и мониторинга геологоразведочных работ — планировать геологоразведочные работы с учетом всей имеющейся на данной территории информации и контролировать выполнение проектных решений.

С учетом технологических процессов проведения геологоразведочных работ и описанных выше функционально-технических требований, предлагается спроектировать трехкомпонентную систему, модули которой будут логически взаимосвязанными и информационно дополняют друг друга. Основным будет геоинформационный модуль [3], обеспечивающий принятие решений по планированию и мониторингу выполнения текущих работ. Интеллектуальным ядром этой геоинформационной системы планирования, мониторинга и анализа геологоразведочных работ является программный комплекс интеллектуального анализа данных и расчета и оптимизации в условиях неопределенности информации. Базовые алгоритмы этого комплекса были описаны нами в статье [1] о вероятностных, нечетких и гибридных моделях оценки неопределенностей и рисков при оценке запасов углеводородов с использованием программных комплексов ГЕОТЭП и СМН с получением вероятностного распределения запасов по методу Монте-Карло (рис. 1).

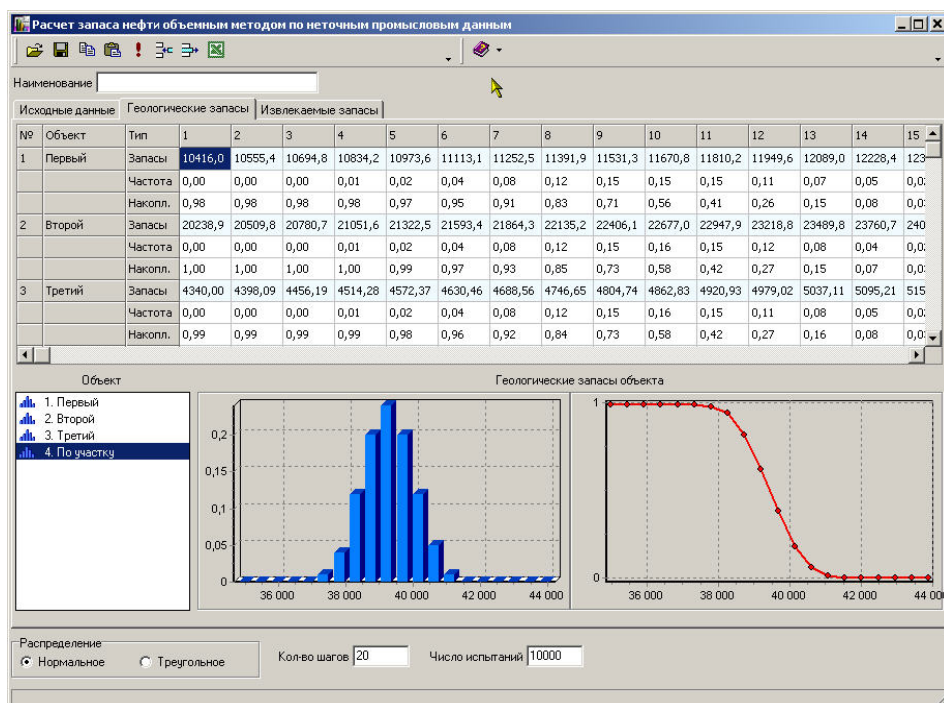


Рис. 1. Пример гистограммы и вероятностного распределения запасов нефти по методу Монте-Карло

В реализации метода Монте-Карло необходимо учесть коэффициент риска. Результаты расчета запасов без учета коэффициентов риска и с заданными коэффициентами риска существенно отличаются (рис. 2).

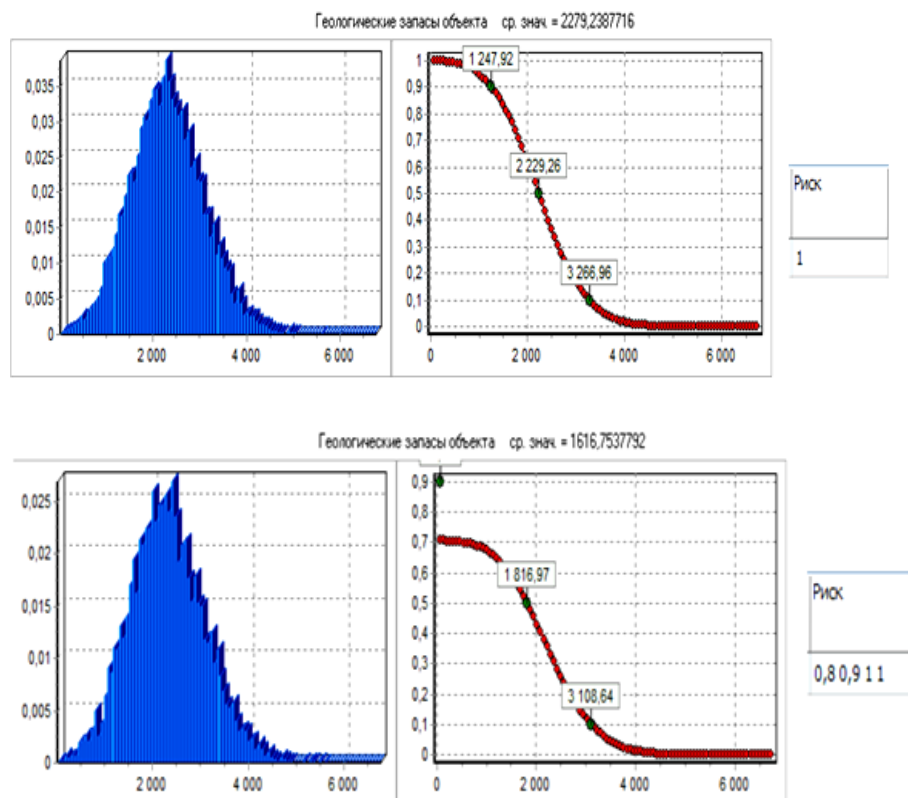


Рис. 2. Результат расчета запасов без учета коэффициентов риска и с заданными коэффициентами риска

Вероятность геологической успешности оценивается как: $P_g = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4$, где P_1 — вероятность существования природного резервуара, P_2 — вероятность существования ловушки УВ, P_3 — вероятностью заполнения ловушки углеводородами, P_4 — вероятность сохранности залежи УВ.

На основе вероятностных условий геологической успешности открытия месторождений могут быть построены карты рисков [4, 5],

Алгоритм дает возможность построить, представить в цвете [6, 7] и нанести уровни риска на карту. Для светофорной модели белый цвет указывает на отсутствие залежей, красным представляются районы высокого риска, желтым — неопределенного риска, зеленым — низкого риска.

Подобным же образом, при помощи цвета, на карту наносится вероятность наличия прочих параметров, включая объемы генерации нефти в нефтематеринской породе и порового пространства.

Затем полученные карты риска различных параметров перемножаются друг на друга, то есть происходит их совмещение, при котором участки с наиболее высокими значениями указанных параметров будут соответствовать зонам наиболее низкого риска.

Можно использовать также возможностьную интерпретацию карт рисков отдельных параметров. Применение нечеткой логики для построения цветных карт позволяет построить непрерывную по цветам карту рисков. Уровни риска представлены в цвете и нанесены на карту, а пространственный анализ выполняется с использованием функционалов Fuzzy Sets и Fuzzy Logic для географических информационных систем (ГИС). Анализ совмещенной карты позволяет уточнить наиболее перспективные области скопления углеводородов.

При этом для совмещения отдельных карт используются минимаксные операции. Это позволяет получить более жесткие условия формирования результирующей карты риска — «светофорная карта» (рис. 3). Так, если хотя бы один из исследуемых параметров на выделенной области имеет красный цвет, то и на результирующей карте для этой области будет красный цвет.

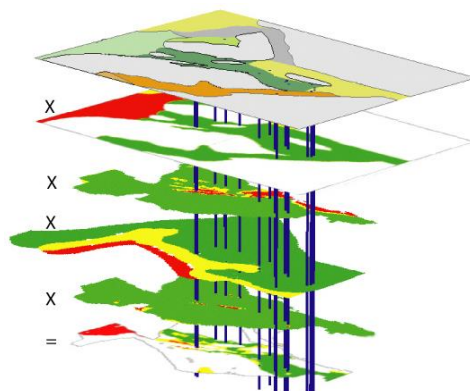


Рис. 3. Результирующая карта, полученная путем умножения карт исходных параметров

На рисунке 4 представлена процедура оверлея (интегрирования) карт равного риска различных пластовых параметров.

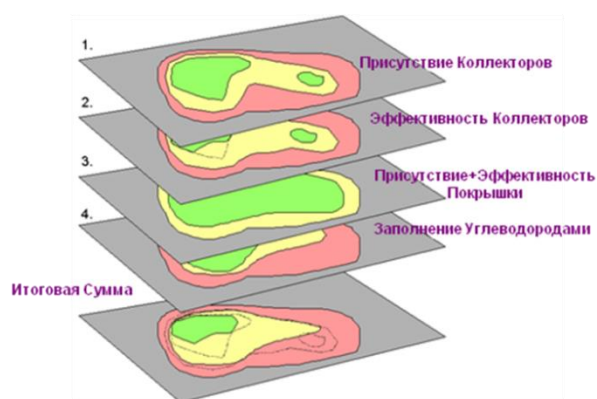


Рис. 4. Процедура оверлея (интегрирования) карт равного риска различных пластовых параметров [6, 7]

Изучение интегрированной карты (рис. 5) дает возможность выделить зоны с максимальными запасами нефти и газа и определить оптимальные стратегии поиска перспективных залежей в этом районе.

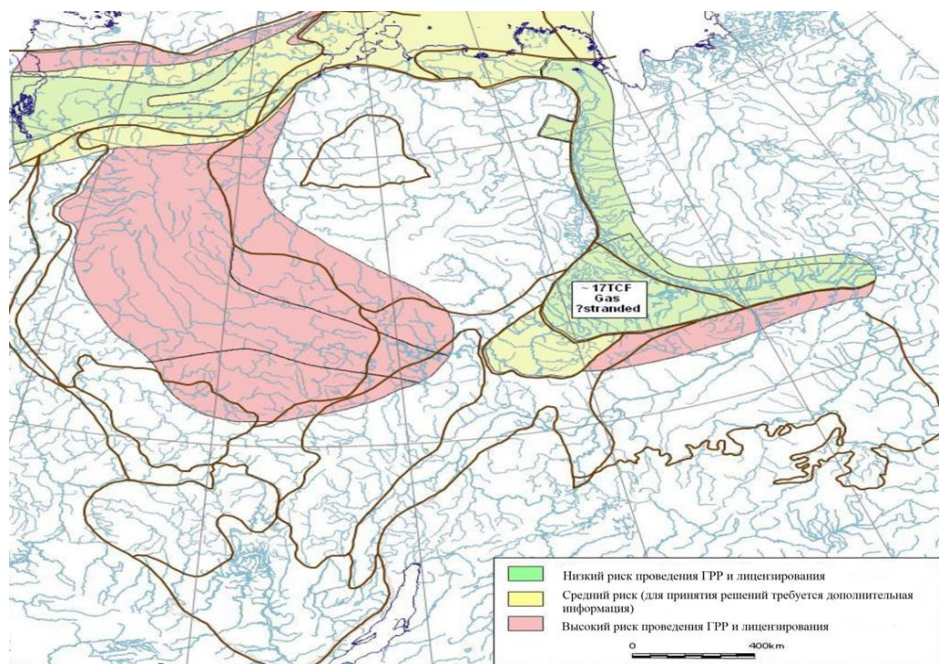


Рис. 5. Пример сводной карты равных рисков

Характер распределения цветов «светофорной» палитры позволяет точно выделить регионы, на которых компания должна сосредоточить основные усилия при проведении сейсморазведки, приобретении лицензионных участков и бурении. Такой подход эффективен, прост и дает возможность легко фиксировать результаты оценки и повторно их анализировать, поскольку значения параметров можно легко изменять для проработки различных вариантов прогноза [7].

Опишем более подробно некоторые нечеткие алгоритмы расчета и оптимизации этого интеллектуального комплекса (рис. 6).

Причины неполноты геолого-промысловой информации:

- Невозможность наблюдения ряда необходимых для проектирования и управления параметров объекта и происходящих в нем процессов.
- Большие, неоправданные затраты на получение полных данных (например, нецелесообразно бурить в водоносной зоне большое количество наблюдательных скважин).
- Неосуществимость (ввиду больших объемов) одновременной регистрации параметров, характеризующих процесс разработки.

- Отсутствие достаточных знаний о закономерностях процессов, происходящих в пластовой фильтрационной системе.
- Случайные или непреднамеренные искажения информации в процессах ее сбора, передачи и обработки.

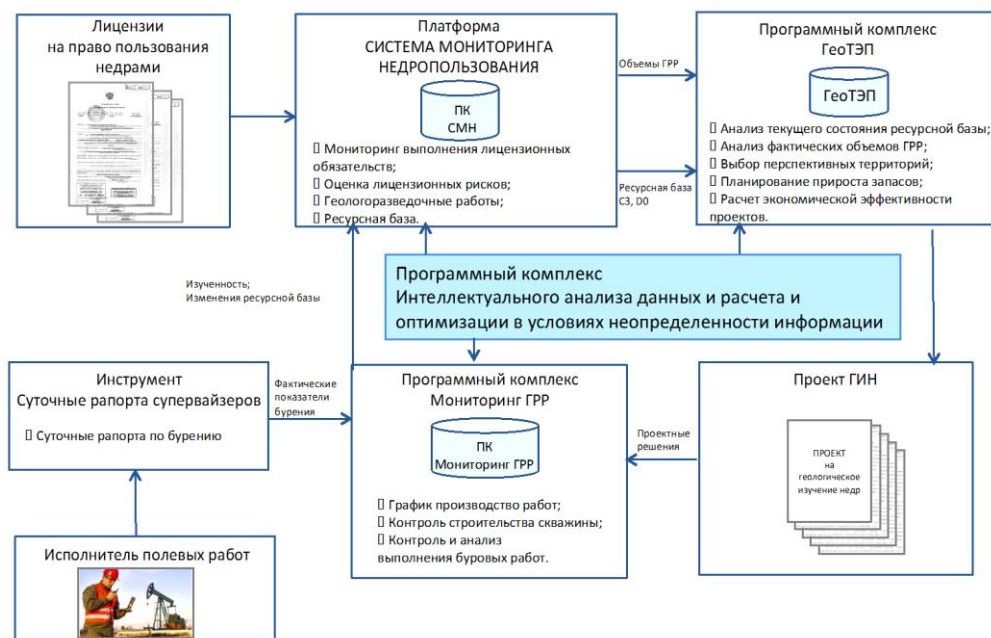


Рис. 6. Функциональная схема программных модулей геоинформационной системы планирования, мониторинга и анализа геологоразведочных работ

Неполнота данных о сложных нефтегазопромысловых системах вынуждает разрабатывать для их описания и моделирования математические структуры, которые позволяли бы в комплексе использовать все виды мультидисциплинарных данных о строении и функционировании таких систем. Для этих целей вполне подходит аппарат нечетких множеств, позволяющий отразить для реальных сложных нефтегазопромысловых систем наличие одновременно разнородной информации:

- точечных замеров и значений параметров;
- допустимых интервалов их изменения;
- статистических законов распределения для отдельных величин;
- экспертных критериев и ограничений, полученных от специалистов-экспертов.

Объемный метод подсчета запасов — основной метод подсчета запасов.

- Параметры определяются на основании тщательного изучения комплекса данных по пробуренным скважинам, включающим материалы геофизических исследований скважин, лабораторных исследований керна и пластовых флюидов и т. д.

- При недостатке и отсутствии данных, при затруднительных условиях (тонкослоистые коллекторы, недостаток разрешающей способности ГИС, отсутствие четкой границы коллектор — неколлектор) возможно применение разработанных нечетких методик и алгоритмов.

Площадь нефтеносности определяется на основе структурных карт залежей, с нанесенными на них границами распространения нефти или газа.

Эффективная нефтенасыщенная толщина пласта определяется на основании комплекса геофизических исследований и результатов исследования керна [4, 8].

Коэффициент открытой пористости определяется по данным лабораторных исследований образцов керна или результатам геофизических исследований скважин.

Коэффициент нефтенасыщенности определяется на основании результатов расчета по керну или по геофизическим исследованиям скважин.

Пересчетный коэффициент наиболее точно определяется по данным лабораторных исследований глубинных проб нефти, отобранной из пласта.

Алгоритм расчета для ГИС при определении оптимального расположения поисково-разведочных скважин с использованием нечетких множеств

Применение детерминированного и вероятностного алгоритмов, приведенных в [62], и нечетких алгебраических операций позволяет представить детерминированный алгоритм подсчета запасов в виде нечеткого алгоритма [4, 5].

По определенным месторождениям-аналогам производится их ранжирование по степени близости к исследуемому IR району. Рассчитывается мера близости (степень сходства, характеризующаяся функцией принадлежности) и выполняется оценка возможного прироста запасов для каждой точки в анализируемой области с расчетом соответствующих функций принадлежности [4, 9].

Определяется нечеткая плотность ресурсов R_n оцениваемого объекта с учетом применения нечетких алгебраических операций.

Имея карты толщин $h_n(x, y)$, потенциально содержащих углеводороды (УВ), составляем карты нечеткого распределения ресурсов, перемножив нечеткую карту толщин на нечеткую плотность ресурсов и нечеткую площадь ячейки грида по объектам ($Q_n(x, y)$).

С учетом нечеткого радиуса дренирования скважины оценивается нечеткий потенциальный прирост запасов на каждую скважину путем нечеткого суммирования карт возможных ресурсов по имеющимся объектам с дальнейшей оценкой суммарного нечеткого прироста запасов в каждой ячейке по всем объектам. Далее находим координаты ячейки с максимальным значением функции принадлежности по приросту запасов для выбора места заложения скважины, которая обеспечивает потенциально возможный максимальный прирост запасов и в центре ячейки располагается скважина.

Тогда математическая постановка для алгоритма расположения и ранжирования скважин для бурения с использованием нечеткой логики будет выглядеть следующим образом [4,10]:

1) Каждый геологический критерий задается как объединение нечетких точечных (или интервальных) множеств, полученных экспертным путем

$$\mu(x) = \mu_1 / x_1 + \dots + \mu_n / x_n, \quad (1)$$

или в виде сигмоидальной функции принадлежности (ФП)

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}}, \quad (2)$$

где a — крутизна сигмоиды, b — сдвиг сигмоиды по оси X , x — выбранный показатель, относительно которого строится ФП.

2) По анализируемой скважине выбираются исходные данные $x_1, \dots, x_n$ по геологическим критериям и определяются значения соответствующих значений ФП $\mu_1(x_1), \dots, \mu_n(x_n)$ (рис. 7).

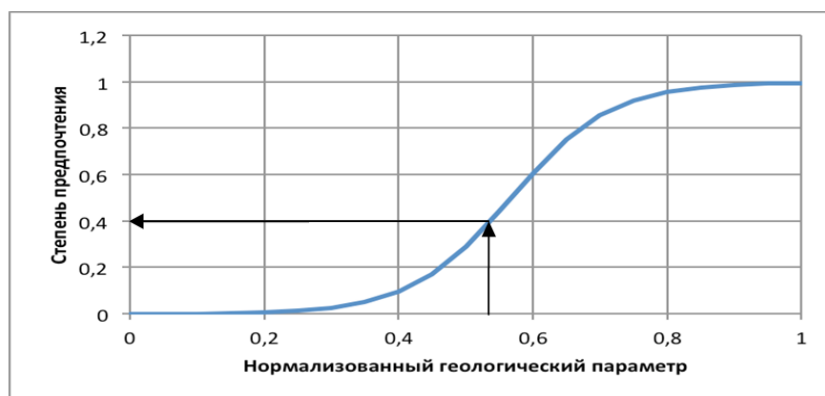


Рис. 7. Выбор точечных значений степени предпочтения по функции принадлежности

3) Наиболее правильно выбрать операцию «И» для комплексирования. Эта операция может быть записана для n критериев с учетом комплексного геологического критерия λ_i и его функции принадлежности μ_i с учетом весовых коэффициентов w_i в виде

$$\lambda_i = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n w_i \mu_i(x_i)^{w_i}}. \quad (3)$$

Заметим, что обратная величина характеризует степень риска $r = 1 - \lambda$.

4) После обработки всего перечня скважин и отбраковки заведомо неподходящих (при $\mu_i(x_i) = 0$) получаем список скважин $y_1, \dots, y_n$, ранжированный по общему комплексному критерию λ .

Для этого алгоритма появляется возможность учета нечетких параметров и расчетных величин:

1) Если есть необходимость представить входные данные как нечеткие величины с распределенной функцией принадлежности, то в этом случае и результат получается в виде нечеткой величины как пересечение нечеткой оценки параметра А и нечеткого критерия К:

$$\mu_i(x_i) = \mu_A(x_i) \wedge \mu_K(x_i). \quad (4)$$

2) Для алгоритма ранжирования необходимо конкретное значение ФП. Поэтому для выбора точечного значения ФП определяем максимум пересечения нечеткой оценки параметра и нечеткого критерия:

$$\mu_i(x'_i) = \max_{x_i} \{ \mu_A(x_i) \wedge \mu_K(x_i) \}. \quad (5)$$

3) Если в критериях фигурируют расчетные величины, например, запасы, то они определяются из нечеткого уравнения объемного метода подсчета запасов [1, 2]

$$\mu_O(Q_n) = \max_U [\mu(F) \wedge \mu(h_{н.эф}) \wedge \mu(k_{н.о}) \wedge \mu(k_n)] \quad (6)$$

$$U = \{ (F, h_{н.эф}, k_{н.о}, k_n) \mid F \cdot h_{н.эф} \cdot k_{н.о} \cdot k_n \cdot \theta \cdot \rho = Q_n \}$$

где используются функции принадлежности по запасам нефти Q_n , площади нефтеносности/дренирования F , эффективной нефтенасыщенной толщины $h_{н.эф}$, коэффициента открытой пористости $k_{н.о}$, коэффициента нефтенасыщенности k_n , а также детерминированные константы — пересчетный коэффициент θ и плотность нефти при стандартных условиях ρ .

Для бурения скважин основными критериями являются: нефтенасыщенная толщина (Ннн), проницаемость продуктивной части пласта (Кпр), текущая выработка и величина остаточных запасов.

Общие условия формирования критериев подбора скважины кандидата для бурения:

- всем разработанным критериям должна быть присвоена весовая доля (значимость критерия);

- все разработанные критерии должны иметь диапазон изменения значений (0-1);
- в диапазоне значений для каждого критерия должно присутствовать крайнее значение, при котором скважина не будет удовлетворять условиям применения какой-либо технологии (условие исключения скважин);
- для каждого интервала изменения значения присваивается балл с целью возможности дальнейшего ранжирования.

Для упрощения восприятия экспертами-практиками принимаем диапазон шкалы весовой доли критерия — от 0 до 1; бальной системы значений — от 0 до 1 (0 — для условия исключения скважины, ближе к 1,0 — большее предпочтение кандидата на бурение этой скважины).

Диапазон значений для каждого критерия должен приниматься пользователем индивидуально для конкретных горно-геологических условий и особенностей эксплуатации месторождения.

Функция принадлежности для запасов строится на основе нечеткого уравнения (7)

$$\mu(Q_n) = \max_U [\mu(V) \wedge \mu(P) \wedge \mu(k_n) \wedge \mu(k_n) \wedge \mu(\rho) \wedge \mu(\theta)] \quad (7)$$

$$U = \{(V, P, k_n, k_n, \rho, \theta) | V \cdot P \cdot k_n \cdot k_n \cdot \rho \cdot \theta = Q_n\}.$$

Результаты

Примеры работы алгоритма расчета по картам функций принадлежности для подсчетных параметров приведены на рисунке 8.

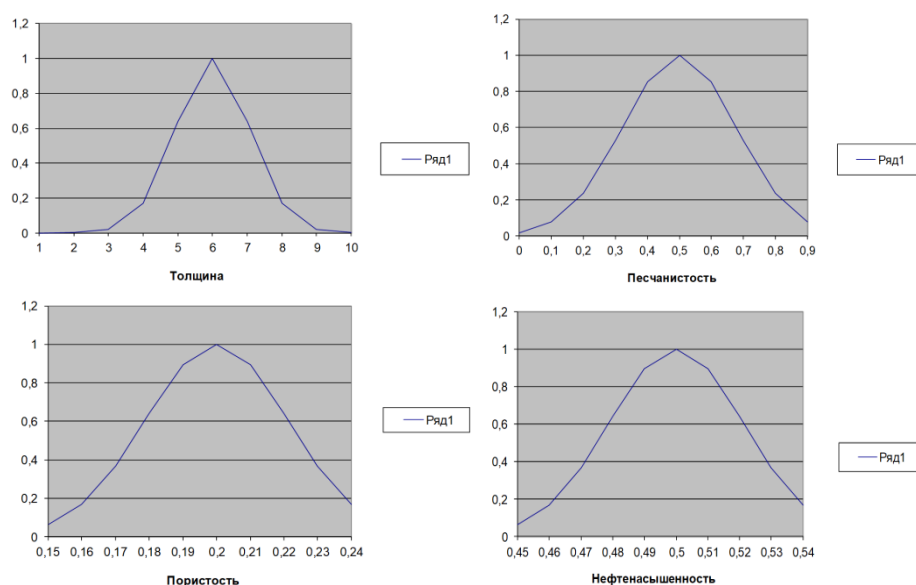


Рис. 8. Функции принадлежности подсчетных параметров

Причем для вычисления $\mu(Q_n)$ могут применяться различные аналитические и численные методы [5], например, с помощью алгебраической операции по дискретным τ -уровням исходных функций (рис. 9).

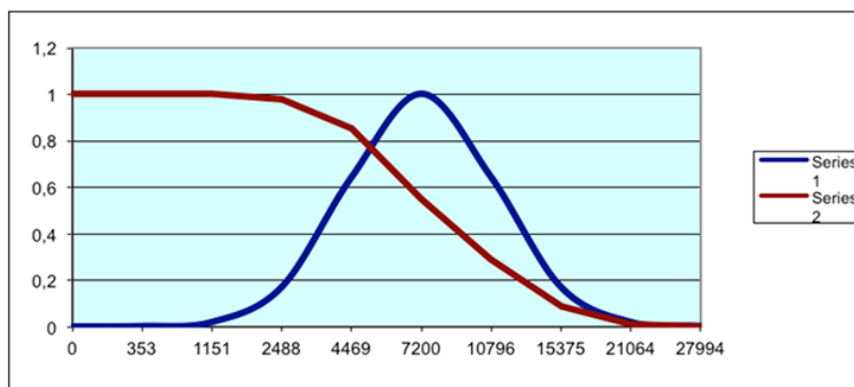


Рис. 9. Пример функции принадлежности для запасов нефти

Применение нечеткого алгоритма дает возможность определить параметры, которые более сильно влияют на неопределенность [4]. Для этого строятся диаграммы чувствительности неопределенности запасов к основным расчетным параметрам (рис. 10).

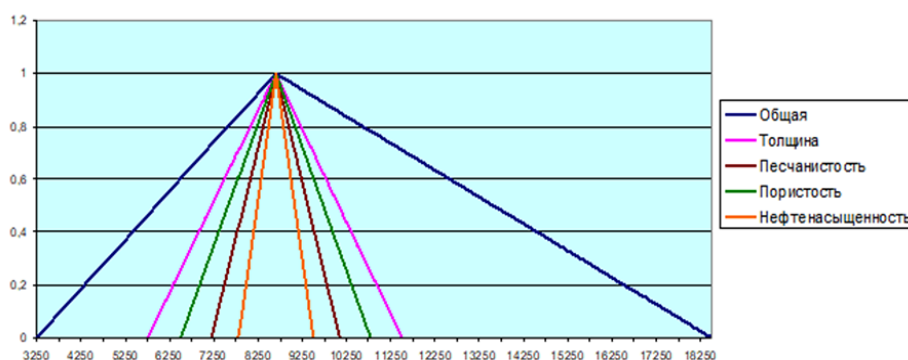


Рис. 10. Чувствительность функции принадлежности для линейного запаса

Для задачи оценки нечетких запасов одной из основных проблем является построение карт рисков и неопределенностей.

Обсуждение

Практически предложенная операция представляет из себя **нечеткую оверлейную операцию** [11] — операцию наложения друг на друга двух или более слоев, результатом которой является графическая композиция

(графический оверлей) используемых слоев либо единственный результирующий слой, несущий в себе набор пространственных объектов исходных слоев, топологию этого набора и атрибуты, которые являются производными от значений атрибутов исходных объектов в пространственном оверлее векторной модели. Операции *оверлея* слоев — базовые операции пространственного анализа данных, изучения взаимосвязей географических объектов, пространственного моделирования в ГИС (Лурье, 2008). Для работы с такими оверлейными структурами могут использоваться как операции с картами, основанными на нечетких множествах, так и современные операции оверлея в ArcGIS [12, 13, 14].

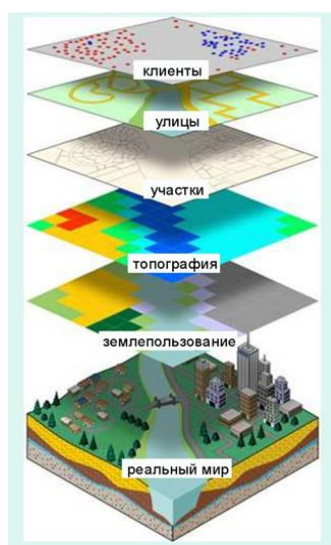


Рис. 11. Операция оверлея слоев модели

ПРИМЕР. Инструменты группы Наложение (Overlay) для растровых данных в ArcGIS	
Инструмент	Описание
Нечеткое множество (Fuzzy Membership)	Трансформирует входной растр по шкале от 0 до 1, указывая полноту принадлежности в наборе на основе заданного алгоритма подготовки задачи для решения методами нечеткой логики.
Нечеткое наложение (Fuzzy Overlay)	Комбинирует растровые данные по уровню принадлежности к нечеткому множеству на основе выбранного типа наложения.
Взвешенное наложение (Weighted Overlay)	Накладывает несколько растров с использованием общей шкалы измерений, при этом взвешивая каждый слой в соответствии с его значимостью.
Взвешенная сумма (Weighted Sum)	Наложение нескольких растров с умножением каждого на присвоенный им вес и общим суммированием.

Рис. 12. Примеры операций оверлея слоев модели

Выводы

Проведенный авторами анализ видов неопределенности оценки запасов при планировании геологоразведочных работ позволил сделать вывод о преимуществах использования нечетких множеств для расчета и картопостроения. Интерпретация вероятностных распределений как функций принадлежности наличие обратных операций в матричных расчетах позволяет решать целый ряд обратных задач (настройка на историю, корректировка исходных функций принадлежности для исходных данных — снижение неопределенности). Принципиальный недостаток детерминированных моделей систем заключается в отсутствии эффективных методов сравнения различных возможных моделей по назначению модели, ее погрешности и адекватности допущений, положенных в ее основу. Построение моделей в рамках нечеткого подхода позволяет сравнивать модели, проводить формализацию неточных знаний о предметной области и вносить в модель сведений о неполноте информации. За счет учета условий существования моделей, самих особенностей минимаксных операций Заде с помощью применения аппарата нечетких множеств удастся добиться их нечувствительности к малым отклонениям от предположений.

Для построения карт неопределенностей при оценке запасов создан оригинальный нечеткий алгоритм, который по возможностям, точности, времени счета и устойчивости расчетов превосходит стандартно применяемый метод Монте-Карло.

На основании анализа видов неопределенности при подсчете запасов сделан вывод о преимуществах использования нечетких множеств для расчета и картопостроения при создании ГИС.

Список источников

1. Шпильман, А. В. Информационный мониторинг бурения скважин и ГРП / А. В. Шпильман, О. В. Спирина. – Текст : непосредственный // *Neftegaz.RU*. – 2017. – № 6. – С. 44–45.
2. Шпильман, А. В. Вероятностные, нечеткие и гибридные модели оценки неопределенностей и рисков при подсчете запасов углеводородов с использованием программных комплексов ГЕОТЭП и СМН / А. В. Шпильман, А. Е. Алтунин. – Текст : непосредственный // *Бурение и нефть*. – 2022. – № 9. – С. 14–21.
3. Шпильман, А. В. Система мониторинга недропользования как компонент для создания интеллектуального месторождения / А. В. Шпильман, И. Ю. Погорельцева. – Текст : непосредственный // *Нефть. Газ. Новации*. – 2022. – № 11(264). – С. 42–47.
4. Алтунин, А. Е. Теоретическое и практическое применение методов принятия решений в условиях неопределенности : Т. 2. Геологическое моделирование и подсчет запасов нефтегазовых месторождений в условиях неопределенности на основе теории нечетких множеств / А. Е. Алтунин. – Екатеринбург : Издательские решения, 2019. – 208 с. – Текст : непосредственный.

5. Алтунин, А. Е. Теоретическое и практическое применение методов принятия решений в условиях неопределенности : Том 1. Общие принципы принятия решений в условиях различных видов неопределенности / А. Е. Алтунин. – Екатеринбург : Издательские решения, 2019. – 484 с. – Текст : непосредственный
6. Dolson J. Understanding oil and gas shows and seals in the search for hydrocarbons. – Cham, Switzerland : Springer. – 2016. – 486 p. – Text : direct.
7. Dolson, J. Introducing CCRS Risk Mapping Process to TNK-BP Exploration / J. Dolson. – Text : direct // Innovator, TNK-BP. – 2004. – P. 7–8.
8. Билибин, С. И. Анализ погрешностей при оценке запасов нефти и газа / С. И. Билибин, Б. Е. Лухминский. – Текст : непосредственный // Каротажник. – 2010. – № 3(192). – С. 37–45.
9. Zadeh, L. A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility / L. A. Zadeh. – Text : direct // Fuzzy Sets and Systems. – 1978. – Vol. 1, Issue 1. – P. 3–28.
10. Zadeh, L. A. Generalized theory of uncertainty (GTU) – principal concepts and ideas / L. A. Zadeh. – Text : direct // Computational Statistics & Data Analysis. – 2006. – Vol. 51, Issue 1. – P. 15–46.
11. Дюбрул, О. Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных / Оливье Дюбрул; перевод с английского. – [Zeist] : Europ. assoc. of geoscientists a. engineers (EAGE). – 2002. – 296 с. – Текст : непосредственный.
12. Kainz, W. The Mathematics of GIS / W. Kainz. – Text : electronic. – URL : <https://docplayer.net/19499479-The-mathematics-of-gis-wolfgang-kainz.html>
13. Target for ArcGIS Pro enhances integration of mining and exploration data. URL : <https://arcreview.esri-cis.ru/2020/09/29/target-for-arcgis-pro-improves-integration/> – Text : electronic.
14. Target for ArcGIS Pro. Image Analysis for Petroleum. 2023. URL : <https://www.exprodat.com/exprodat-services-support/arcgis-training/arcgis-image-analysis-for-petroleum/> – Text : electronic.

References

1. Shpilman, A. V., & Spirina, O. V. (2017). Information monitoring of well drilling and GRR. Neftegaz.RU, (6), pp. 44-45. (In Russian).
2. Shpilman, A. V., & Altunin, A. E. (2022). Probabilistic, fuzzy and hybrid models for estimating uncertainties and risks in estimating hydrocarbon reserves using the GEOTEP and SMN software packages. Burenie i neft, (9), pp. 14-21. (In Russian).
3. Shpilman, A. V. & Pogoreltseva, I. Yu. (2022). Subsoil Management System - the Essential Component for Digital Field Design. Neft. Gas. Novacii, 11(264), pp. 42-47. (In Russian).
4. Altunin, A. E. (2019). Theoretical and practical application of decision-making methods under conditions of uncertainty: Vol. 2. Geological modeling and calculation of reserves of oil and gas fields under conditions of uncertainty based on the theory of fuzzy sets. Ekaterinburg, Publishing solutions Publ., 208 p. (In Russian).
5. Altunin, A. E. (2019). Theoretical and practical application of decision-making methods under conditions of uncertainty: Vol. 1. General principles of decision-making under conditions of various types of uncertainty. Ekaterinburg, Publishing solutions Publ., 484 p. (In Russian).
6. Dolson, J. (2016). Understanding oil and gas shows and seals in the search for hydrocarbons. Cham, Switzerland: Springer , 486 p. (In English).
7. Dolson, J. (2004). Introducing CCRS Risk Mapping Process to TNK-BP Exploration. Innovator, TNK-BP, p.7-8. (In English).

8. Bilibin, S. I., & Lukhminsky, B. E. (2010). Analysis of errors in oil and gas reserves evaluation. *Karotazhnik*, 3(192), pp. 37-46. (In Russian).
9. Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), pp. 3-28. (In English).
10. Zadeh, L. A. (2006). Generalized theory of uncertainty (GTU) - principal concepts and ideas. *Computational Statistics & Data Analysis*, 51(1), pp. 15-46. (In English).
11. Dubrul, O. (2002). Using geostatistics to include seismic data in a geological model. *Zeist : Europ. assoc. of geoscientists a. engineers (EAGE)*, 296 p. (In English).
12. Kainz, W. The Mathematics of GIS. (In English). Available at: <https://docplayer.net/19499479-The-mathematics-of-gis-wolfgang-kainz.html>
13. Target for ArcGIS Pro enhances integration of mining and exploration data. (In English). Available at: <https://arcreview.esri-cis.ru/2020/09/29/target-for-arcgis-pro-improves-integration/>
14. Target for ArcGIS Pro. Image Analysis for Petroleum. 2023. (In English). Available at: <https://www.exprodat.com/exprodat-services-support/arcgis-training/arcgis-image-analysis-for-petroleum/>

Сведения об авторах / Information about the authors

Шпильман Андрей Владимирович, генеральный директор ООО «Сиб-ГеоПроект», г. Тюмень, shpilman@sibgeoproject.ru

Алтунин Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, эксперт, ООО «СибГеоПроект», г. Тюмень

Andrei V. Shpilman, General Director, LLC Sibgeoproject, Tyumen, shpilman@sibgeoproject.ru

Alexander E. Altunin, Candidate of Engineering, Expert, LLC Sibgeoproject, Tyumen

Статья поступила в редакцию 10.02.2025; одобрена после рецензирования 18.02.2025; принята к публикации 21.02.2025.

The article was submitted 10.02.2025; approved after reviewing 18.02.2025; accepted for publication 21.02.2025.