

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОЗДАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРНОЙ 3D ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

А. А. Басаргин✉

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н. В. Мельникова» Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

✉ abaspirant@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты применения алгоритма для создания стохастической структурной 3D геологической модели с использованием Марковских процессов для ограничения результирующих серий вероятностных моделей. Приведен анализ методов создания многомерных моделей цепей Маркова с использованием приближенного байесовского подхода к вычислениям, чтобы избежать спецификации функции правдоподобия для цифровой модели месторождения. Обоснован подход вероятностного геомоделирования для определения неопределенности путем автоматического построения серии геомodelей из возмущенных входных данных, отобранных из распределений вероятностей на месторождении полезного ископаемого. Детально описан алгоритм создания стохастической структурной 3D геологической модели, который может вывести апостериорные распределения параметров модели с использованием топологической информации о месторождении полезного ископаемого. Это может привести к ненадежным оценкам полученных цифровых моделей месторождения, таким как недооценка малых классов (то есть классов с площадями меньше среднего) в моделируемых реализациях.

Ключевые слова: структурное геомоделирование, Марковские процессы, геостатистика, матрица меток топологии, складчатая стратиграфия

Благодарности, признательность, финансирование: работа выполнена при поддержке темы «Разработка фундаментальных основ моделирования, автоматизации и роботизации процессов горного производства для обеспечения оптимального управления и устойчивого функционирования горнотехнических систем» при ИПКОН РАН.

Для цитирования: Басаргин АА. Разработка алгоритма создания стохастической структурной 3D геологической модели с использованием Марковских процессов. *Маркиейдерия и недропользование*. 2025;25(2):69-75. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-69-75>.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CREATING A STOCHASTIC STRUCTURAL 3D GEOLOGICAL MODEL USING MARKOV PROCESSES

A. A. Basargin✉

Federal State Budgetary Institution of Science «Institute for Problems of Comprehensive Development of Subsoil Academician N. V. Melnikov» of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ abaspirant@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of applying an algorithm for creating a stochastic structural 3D geological model using Markov processes to constrain the resulting series of probability models. The analysis of methods for creating multivariate Markov chain models using an approximate Bayesian computational approach is presented to avoid specifying the likelihood function for a digital deposit model. A probabilistic geomodeling approach is justified for capturing uncertainty by automatically constructing a series of geomodels from perturbed input data sampled from probability distributions at the mineral deposit. An algorithm for creating a stochastic structural 3D geological model that can infer posterior distributions of the model parameters using topological information about the mineral deposit is described in detail. This may lead to unreliable estimates of the

resulting digital deposit models, such as underestimation of small classes (i.e. classes with areas smaller than the average) in the simulated realizations.

Keywords: structural geomodeling, Markov processes, geostatistics, topology label matrix, fold stratigraphy

Acknowledgments, funding, financial support: the work was carried out with the support of the theme “Development of fundamental principles for modeling, automation and robotization of mining production processes to ensure optimal control and sustainable operation of mining engineering systems” at the IPKON RAN.

For citation: Basargin AA. Development of an algorithm for creating a stochastic structural 3D geological model using Markov processes. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):69-75. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-69-75>.

Введение

Известно, что структурное геомоделирование является основной частью для визуализации и количественной оценки геологических систем. При этом каждая уникальная интерпретация (модель) геологической обстановки месторождения полезного ископаемого имеет определенную топологию.

Использование топологических отношений в геологических системах (например, как слои связаны друг с другом стратиграфически, или как происходит их связь через разломы), является основой для определения вероятностных результатов трехмерного геомоделирования сложной природы геологических систем.

Условное моделирование широко признано и все чаще используется не только для прогнозирования пространственного распределения, но и для анализа неопределенности посредством стохастической визуализации (то есть генерации альтернативных условных реализаций) и вероятностного картирования дискретных пространственных переменных.

Так, одним из подходов являются алгоритмы, основанные на многомерных условных имитационных моделях цепей Маркова. Многомерные условные имитационные модели цепей Маркова имеют большой потенциал для более точного прогнозирования и моделирования категориальных переменных, таких как показатели месторождения полезных ископаемых [1, 2].

Растущее развитие алгоритмов неявного моделирования позволяет создавать обширные структурные серии цифровых моделей месторождений, используя функции интерполяции, что делает возможным анализ и визуализацию неопределенности с использованием подходов вероятностного моделирования.

Традиционная геостатистика для условного моделирования дискретных переменных показателей залежи полезного ископаемого обычно использует модели автоковариации и алгоритмы моделирования индикаторного кригинга. Теория случайного поля цепи Маркова поддерживает нелинейную геостатистику цепи Маркова. Главными достоинствами модели цепи Маркова являются ее простота и идея обусловленности (то есть обусловленность будущим состоянием), которые были сохранены моделью. Главным недостатком модели цепи Маркова являются направленный эффект (диагональный тренд) и недооценка малых классов. Проблема направленного эффекта на самом деле была давней проблемой в безусловных многомерных симуляциях цепей Маркова, которая была вызвана асимметричными окрестностями, используемыми в симуляциях. Попытки использования многомерных цепей Маркова для условного моделирования дискретных переменных появились только в последние годы.

Однако эти многомерные условные имитационные модели цепей Маркова имеют некоторые ограничения. Например, они имеют тенденцию недооценивать малые классы из-за исключения нежелательных переходов, вызванных использованием нескольких цепей и полной независимости предположения, а также обусловленность точечных выборок, что является трудностью [3–5].

Цифровые модели месторождения, построенные с использованием Марковских процессов, не будут иметь проблемы недооценки малого класса. Они смогут работать с любыми типами выборочных данных в условном моделировании и таким образом будут составлять теоретическую основу нелинейной геостатистики цепей Маркова.

Цель исследований: разработка алгоритма создания стохастической структурной 3D геологической модели с использованием Марковских процессов.

Объект исследований

Алтае-Саянская складчатая область занимает юго-западное обрамление Сибирского кратона и представляет одну из крупнейших горно-складчатых систем Центральной Азии. Область является западной частью Алтае-Монголо-Охотского сегмента рифейско-палеозойского Центрально-Азиатского складчатого пояса, располагается в районе смены субмеридионального – Уральское простирается на субширотное – Монголо-Охотское. На северо-востоке по Главному Восточно-Саянскому разлому область граничит с Енисейско-Саянской складчато-наползневой областью, а на юго-западе – по Восточно-Чингизскому разлому, с палеозойской складчатой областью Казахского нагорья. Складчатые структуры Алтае-Саянской области продолжаются на юго-восток в Монголию и Северный Китай, а на северо-западе скрываются под чехлом мезо-кайнозойских отложений Западно-Сибирской плиты. Это сложно построенная рифейско-палеозойская аккреционно-коллизонная структура состоит из множества террейнов (микроконтинентов, фрагментов островных дуг, океанических островов), сформированных в результате развития Палеоазиатского океана.

Набор геологических комплексов, сформированных в самых различных геодинамических обстановках, указывает, что Алтае-Саянская складчатая область представляет собой аккреционно-коллизонную структуру, образованную на месте океана, просуществовавшего с начала рифея до середины палеозоя. Каледонские структуры Алтае-Саянской складчатой области – это продукт аккреции древних сиалических блоков (микроконтинентов) и островных дуг, которые в разное время прицленились к окраине Сибирского кратона. Более молодые герцинские складчатые сооружения, вероятно, являются следствием столкновения Казахстанского и Сибирского континентов, между которыми оказались зажаты среднепалеозойские системы (рис. 1).



Рис. 1. Алтай-Саянская складчатая область /
Fig. 1. Altai-Sayan folded region

Материал и методы исследования

В настоящее время существует несколько методов к созданию структурных 3D геологических моделей месторождений полезных ископаемых, которые можно разделить на три основные категории:

- интерполяционные методы;
- кинематические методы;
- создание цифровой модели месторождения с помощью Марковских процессов.

Интерполяционные методы, а также кинематические являются широко используемыми для создания цифровых моделей месторождений из пространственных данных и обладают рядом недостатков. Одним из недостатков этих методов является то, что они требуют надежных знаний геологической обстановки и обширных объемов данных для точного приближения к реальности. Кроме того, очень сложные структуры месторождения, такие как обширные сети разломов и многократно складчатые области, сложно воссоздать с использованием существующих методов интерполяции [6–8].

При этом использование Марковских процессов для создания цифровых моделей месторождений отличается от классического подхода. В данном случае применяется Байесовский вывод для создания вероятностных стохастических геологических моделей месторождений. Такой подход осно-

ван на определении вероятности как степени определенности моделируемого параметра, который, по своей сути, считается случайной величиной.

В этом исследовании для разработки алгоритма использовалась топологическая информация в форме топологического графа смежности в качестве наблюдаемых данных.

Чтобы определить топологию цифровой модели месторождения с необходимой вычислительной эффективностью для проведения возможного стохастического моделирования был разработан алгоритм, который позволяет выполнять вычисление топологии вместе с интерполяцией модели [9–11].

Для разработки алгоритма создания стохастической структурной 3D геологической модели месторождения с топологической информацией с использованием Марковских процессов будет использоваться теорема Байеса:

$$p(y|\theta) = \frac{p(y|\theta)p(\theta)}{\int p(y|\theta)p(\theta)d\theta}, \quad (1)$$

где $p(y|\theta)$ – условная вероятность наблюдаемых данных y с учетом априорной вероятности базового параметра и теоретической связи происходящего события;

$p(\theta)$ – параметр после наступления связанного события.

На основе теории Марковских процессов топологические отношения геологических моделей можно представить графом смежности, который представляет топологические единицы как отдельные узлы, так и их соединения ребрами (рис. 2).

Таким образом, алгоритм для создания стохастической структурной 3D геологической модели с топологической информацией с использованием Марковских процессов будет содержать следующие этапы:

1. Матрица литологии и суммированные матрицы разломов объединяются в матрицу, в которой каждая литология, в каждом блоке разлома, представлена своим собственным уникальным целым числом, называемым матрицей меток топологии.

2. Матрица меток топологии затем сдвигается дважды (вперед и назад) вдоль каждой оси X, Y и Z. Две полученные смещенные матрицы S1 и S2 вдоль каждой оси затем вычитаются друг из друга, чтобы получить матрицу разности, в которой только ячейки вдоль литологии или границы разлома являются ненулевыми (рис. 3).

3. Затем матрица меток топологии оценивается во всех ненулевых ячейках для получения двух меток топологии каждой топологической связи (называемой ребром) геотела, которые хранятся в наборе уникальных ребер, представляющих топологию геомодели [11–13].

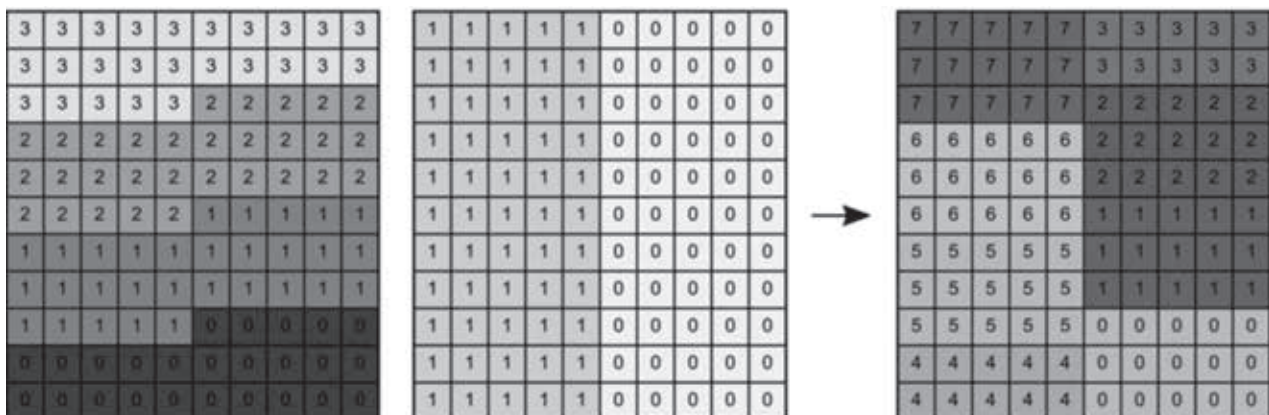


Рис. 2. Граф смежности / Fig. 2. Adjacency graph

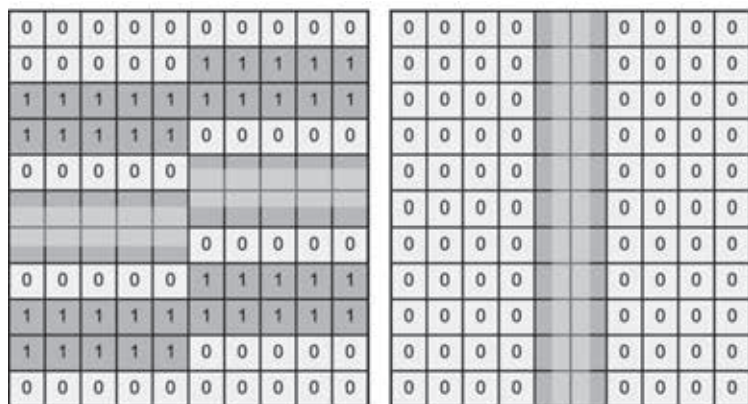


Рис. 3. Матрица разности меток топологии /
Fig. 3. Topology Label Difference Matrix

Результаты исследований и их обсуждение

На основании проведенных исследований был разработан алгоритм для создания структурных 3D геологических моделей с топологической информацией с использованием Марковских процессов. На основе алгоритма была создана структурная 3D геологическая модель разлома, которая представлена на рисунке 4.

Эта модель представляет собой складчатую стратиграфию, которая разрезана нормальным разломом, простирающимся с севера на юг (рис. 4а).

Поскольку исследование сосредоточено на разработке алгоритма, то были определены два различных вида неопределенных параметров, при создании модели:

– вертикальное расположение слоев и разрезов разлома (рис. 4б);

– боковое расположение разрезов разломов, с конкретной параметризацией.

В нашем случае неопределенность индивидуально применялась к каждому набору точек поверхности, чтобы сохранить форму поверхности в каждом из двух блоков разломов.

Важно отметить, что разработанный алгоритм был выполнен с использованием исходного топологического графа, основанного на Марковских процессах (рис. 4в) для представления наших геологических данных [14]. Предполагается, что этот топологический граф инкапсулирует важные аспекты геологических данных, используемых при его построении, и геометрические конфигурации, более похожие на этот граф, можно считать более вероятными.

Таким образом, граф представляет нашу «базовую» неопределенность без каких-либо топологических ограничений, и моделирование является только прямым распространением неопределенности в исходных данных.

При этом геометрические конфигурации цифровой модели будут похожи на этот граф и их можно считать более вероятными в качестве ограничения в вероятностной модели.

Для создания цифровой модели были экспортированы соответствующие данные сейсмической интерпретации. Затем интерпретации поверхности были прорежены до 725 точек поверхности и 190 ориентаций поверхности с помощью целевого сокращения 85 % на блок разлома или поверхность с использованием функциональности прореживания. Это показано на (рис. 5а).

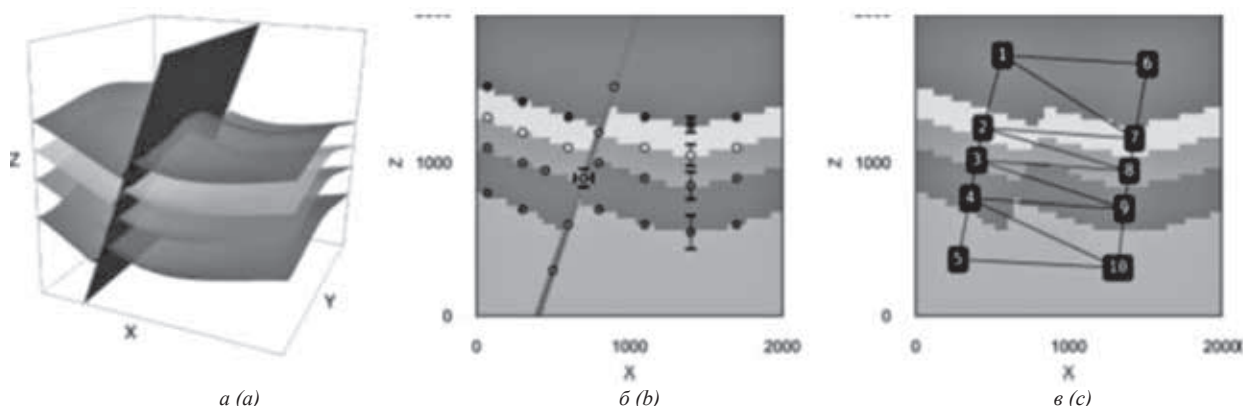


Рис. 4. Структурная 3D геологическая модель разлома: а – 3D вид синтетической модели разлома; б – X-Z срез через центр дискретизированной модели; в – модель, наложенная на ее граф топологии /
Fig. 4. Structural 3D geological model of a fault: a – 3D view of a synthetic fault model; b – X-Z slice through the center of a discretized model; c – model superimposed on its topology graph

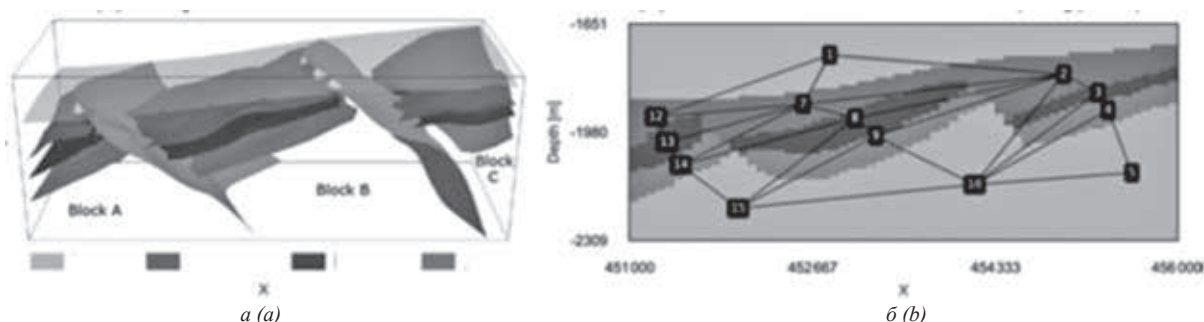


Рис. 5. Стохастическая геологическая модель месторождения: а – трехмерный вид геомодели; б – геомодель с наложенным графом топологии, показывающим межразломные и внутриразломные блочные отношения геотел /
Fig. 5. Stochastic geological model of the deposit: a – three-dimensional view of the geomodel; b – geomodel with a superimposed topology graph showing interfault and intrafault block relationships of geobodies

Такая интерпретация была выбрана, чтобы продемонстрировать, как даже несколько неопределенных параметров в рабочем процессе моделирования неопределенности могут привести к крайне неопределенным результатам, особенно в отношении графов топологии, полученных из серии цифровых моделей в реальных условиях.

Также было проведено исследование чувствительности топологического распространения относительно разрешения цифровой модели месторождения [15]. Это позволило определить соответствующее разрешение геомодели при условии неопределенности, которая индивидуально применялась к каждому набору точек поверхности, чтобы сохранить форму в каждом из двух блоков разломов (рис. 56).

В результате эксперимента установлено, что априорные и апостериорные распределения для неопределенностей параметров латерального и вертикального разлома не показывают существенной разницы. Визуализация разницы энтропии между предшествующим и последующим сериями цифровых моделей показывает самое высокое снижение энтропии для двух внутренних разрезов (рис. 6а), а не вокруг поверхности разлома.

По результатам анализа цифровых моделей получено, что все три раздела в модели четко показывают неопределенность положения разреза слоя и самую высокую неопределенность вокруг поверхности разлома.

Для сравнения, применение одного топологического графа в качестве сводной статистики приводит к значительному снижению неопределенности для всей серии моделей. Начальный топологический граф используется в качестве ограничивающей сводной статистики с использованием выборки отклонения и порогового значения. Абсолютное пороговое значение будет прямо пропорционально чувствительности геометрии модели по отношению к стохастическим параметрам.

В этом исследовании пороговое значение было выбрано эмпирическим путем выполнения нескольких прогностических симуляций. Результаты оценивались на основе их соответствия геологической обстановке, как это оценивается экспертными знаниями. Результаты показывают, что этот подход приводит к снижению неопределенности, как показано на сечении энтропии (рис. 6б). При этом значении приближительной серии геомodelей содержит только примененный начальный топологический граф.

Заключение

В статье приведены результаты разработки алгоритма для создания стохастической структурной 3D геологической модели с топологической информацией с использованием Марковских процессов. Данный алгоритм позволит выполнять вычисление топологии вместе с интерполяцией цифровой модели на основе Марковских процессов, что образует нефиксированную систему соседства. Таким образом, цифровая модель месторождения подчиняется правилам вероятности перехода в разных направлениях и имеет свои состояния в любом неизвестном месте, полностью зависящие от его ближайших известных соседей, вычисленных в разных направлениях.

Установлено, что топология смежности геологических структур приводит к различным связям в графе, что позволит выбирать конкретные пути и направления моделирования на разных этапах и участках исследуемой области.

Выявлено, что использование Марковских процессов позволит решить проблему направленного эффекта (т.е. наклона шаблона) при моделировании многомерных авторегрессионных процессов. Такой путь означает, что моделирование должно проводиться попеременно вдоль противоположных направлений с одной стороны на другую сторону в области моделирования.

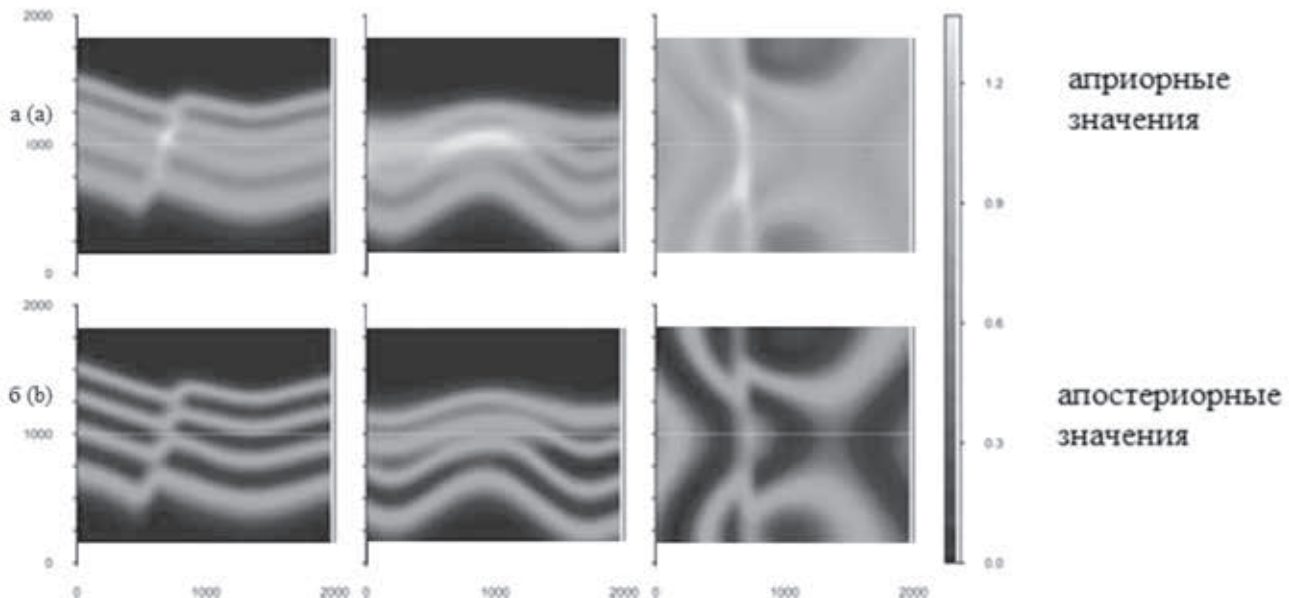


Рис. 6. Срезы энтропии Шеннона в плоскости: а – априорные значения в плоскости разлома; б – апостериорные значения в плоскости разлома / Fig. 6. Shannon entropy slices in the plane: a – prior values in the fault plane; b – posteriori values in the fault plane

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Басаргин АА. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий. *Вестник СГГА*. 2014;1(25):34-40. [Basargin AA. Creation of digital models of mineral deposits using modern technologies. *Bulletin of the SSGA*. 2014;1(25):34-40 (In Russ.)]
2. Басаргин АА. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы Micromine. *ГЕО-Сибирь-2015: Сб. мат-лов Межд. науч. конгресса: Т. 1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия*. Новосибирск, 2015: 15-20. [Basargin AA. Methodology for creating three-dimensional geological models of deposits using the Micromine geographic information system. *Collection of materials international. Scientific Congr. «GEO-Siberia-2015»: Vol. 1 «Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying»*. Novosibirsk, 2015:15-20 (In Russ.)]
3. Урумов ВА, Босиков ИИ. 3D-модель и закономерности распределения полезных компонентов залежи Анненская жезказганского месторождения. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2015;7(1):11-16. [Urumov VA, Bosikov II. 3D model and patterns of distribution of useful components of the Annenskaya deposit of the Zhezkazgan deposit. *Sustainable development of mountain territories*. 2015;7(1):11-16 (In Russ.)]
4. Шульга ЕС. Чем порадует 2018 год пользователей программы Micromine. *Золото и технологии*. 2017;4(38):50-3. [Shulga ES. What will 2018 please users of the Micromine program. *Gold and Technologies*. 2017;4(38):50-3 (In Russ.)]
5. Выстрчил МГ, Гусев ВН, Сухов АК. Методика определения погрешностей сегментированных GRID-моделей открытых горных выработок, построенных по результатам аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна. *Записки Горного института*. 2023;262:562-70. [Vystrechil MG, Gusev VN, Sukhov AK. A method of determining the errors of segmented GRID models of open-pit mines constructed with the results of unmanned aerial photogrammetric survey. *Journal of Mining Institute*. 2023;262, 562-70 (In Russ.)]
6. Шевкун ЕБ, Лешинский АВ, Галимьянов АА. Короткая комбинированная забойка взрывных скважин высокой запирающей способностью. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;4:331-6. [Shevkun EB, Leshchinsky AV, Galimyanov AA. Short combined driving of blast holes with high locking ability. *Mining information and analytical bulletin*. 2015;4:331-6 (In Russ.)]
7. Долгачева АС, Долгачева ТА, Самаевская ВД. Методы интерполяции в vertical mapper для создания цифровых моделей рельефа. *Ogarov-Online*. 2023;187(2):10. [Dolgacheva AS, Dolgacheva TA, Samayevskaya VD. Interpolation methods in vertical mapper to create digital terrain models. *Ogarov-Online*. 2023; 187(2):10 (In Russ.)]
8. Нурмухаметова АТ. 3-х мерное моделирование при подсчете объемов полезного ископаемого. *Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина*. Томск, 2017:582-3. [Nurmukhametova AT. 3-dimensional modeling in calculating the volumes of minerals. *Problems of geology and subsoil development: Proceedings of the XXI International Symposium named after Academician M. A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 130th anniversary of the birth of Professor M. I. Kuchin*. Tomsk, 2017:582-3 (In Russ.)]
9. Бесимбаева ОГ, Хмырова ЕН, Бедарев АС и др. Исследование возможности 3D моделирования для маркшейдерского обеспечения ведения горных работ. Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. мат-лов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). Новосибирск, 2014: 178-83. [Besimbaeva OG, Khmyrova EN, Bedarev AS, et al. Study of the possibility of 3D modeling for surveying support for mining operation. *Interexpo GEO-Siberia-2014. X International scientific Congr.: Int. scientific conf. «Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying»: collection. materials in 2 volumes*. Novosibirsk, 2014:178-83 (In Russ.)]
10. Уорсли, Дж, Дрейф Дж. PostgreSQL для профессионалов. Санкт-Петербург, 2003: 496. [Worsley J, Drake J. PostgreSQL for professionals. St. Petersburg, 2003 (In Russ.)]
11. Дроздов АЮ. Решение задач сетевого анализа с применением PostgreSQL / PostGIS. *Строительство и архитектура – 2015. Современные информационно-экономические технологии: тенденции и перспективы развития: мат-лы Межд. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону*, 2015: 71-2. [Drozdov AYU. Solving network analysis problems using PostgreSQL/PostGIS. «Construction and Architecture – 2015». *Modern information and economic technologies: trends and development prospects. Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Rostov on Don, 2015:71-2 (In Russ.)]
12. Вальков ВА, Валькова ЕО, Мустафин МГ. Методика уточнения цифровых моделей рельефа открытых горных выработок по материалам лазерного сканирования и аэрофотосъемки. *Маркшейдерия и недропользование*. 2023;3(125):40–52. [Valkov VA, Valkova EO, Mustafin MG. Methodology of refining digital models of the relief of open-cut mine workings based on the materials of laser scanning and aerial photography. *Mine surveying and subsurface use*. 2023;3(125), 40-52 (In Russ.)]
13. Пашковская ОВ, Новоселов ОВ, Потапенко ИА. Анализ данных в геоинформационной системе QGIS. *Решетневские чтения: мат-лы XXIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (10–13 нояб. 2020, г. Красноярск): в 2 ч*. Красноярск, 2020: 345-6. [Pashkovskaya OV, Novoselov OV, Potapenko IA. Data analysis in the geoinformation system QGIS. *Reshetnev Readings: materials of the XXIV International. scientific-practical conf., dedicated in memory of the general designer of rocket and space systems, academician M. F. Reshetnev*: at 2 o'clock. Krasnoyarsk, 2020:345-6 (In Russ.)]
14. Кравцова ВИ, Другов МД. Типы динамики дюнного рельефа Анапской пересыпи: исследование по материалам воздушного лазерного сканирования. *Геодезия и картография*. 2019;2:32-45. [Kravtsova VI, Drugov MD. Types of dune terrain dynamics of Anapa bay bar: research based on airborne LIDAR data. *Geodesy and cartography*. 2019;80(2):32-45 (In Russ.)]. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-944-2-32-45.
15. Хританькова АА, Ковальчик НВ. Сравнение возможностей программных средств ArcGis и QGIS для сетевого анализа в сфере транспортной логистики (на примере г. Минска). *ГИС-технологии в науках о Земле: мат-лы республ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых*. Минск, 2020: 9-13. [Khritankova AA, Kovalchik NV. Comparison of the capabilities of ArcGis and QGIS software for network analysis in the field of transport logistics (using the example of Minsk). *GIS technologies in Earth sciences: materials of the republican scientific and practical seminar of students and young scientists*. Minsk, 2020:9-13 (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



*Андрей Александрович Басаргин –
старший научный сотрудник № 3.1
лаборатории геологоструктурного
моделирования ИПКОН РАН, 111020, г. Москва,
Российская Федерация,
e-mail: abaspirant@mail.ru*

ABOUT THE AUTHOR

*Andrey A. Basargin –
Senior Researcher No. 3.1 Laboratory
of Geological-Structural Modeling, Institute
of Comprehensive Exploitation of Mineral
Resources of the Russian Academy of Sciences,
111020, Moscow, Russian Federation,
e-mail: abaspirant@mail.ru*

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.02.2025.

Поступила после рецензирования: 30.03.2025.

Принята к публикации: 31.03.2025.

Article info

Received: 18.02.2025.

Revised: 30.03.2025.

Accepted: 31.03.2025.