ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
УДК 528.71.952
https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-30-35

ORIGINAL ARTICLE
UDC 528.71.952

Разработка алгоритма моделирования месторождений полезных ископаемых на основе пространственной цепи Маркова с фиксированным путем

А. А. Басаргин[1, 2]✉

[1]*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н. В. Мельникова» Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация*
[2]*Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск, Российская Федерация*
✉ *abaspirant@mail.ru*

Резюме. Приведены результаты разработки алгоритма моделирования месторождений полезных ископаемых на основе пространственной цепи Маркова с фиксированным путем с включением межклассовых зависимостей. Приведен анализ методов моделирования случайных полей цепи Маркова для создания трансиограмм, которые позволяют воспроизводить пространственную структуру месторождения полезных ископаемых. Обоснован подход для использования трансиограмм при моделировании крупномасштабной структуры месторождения полезных ископаемых и пространственно-временного анализа неопределенности дискретных пространственных переменных. Детально описан алгоритм моделирования месторождений полезных ископаемых для эффективного определения причинно-следственных связей и пространственных закономерностей качественных и количественных показателей залежи. Одним из преимуществ данного подхода является то, что смоделированные трансиограммы имеют тренд следовать экспериментальным. Результаты исследований могут быть полезными при определении пространственных характеристик залежи полезных ископаемых.

Ключевые слова: трансиограммы, цепи Маркова, кокригинг, матрица меток топологии, стохастическое моделирование

Благодарности, 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 А.А. Разработка алгоритма моделирования месторождений полезных ископаемых на основе пространственной цепи Маркова с фиксированным путем. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (5): 30-35. https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-30-35.

Development of an algorithm for modeling mineral deposits based on a spatial Markov chain with a fixed path

A. A. Basargin[1, 2]✉

[1]*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*
[2]*Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Siberian State University of Geosystems and Technologies", Novosibirsk, Russian Federation*
✉ *abaspirant@mail.ru*

Abstract. The article presents the results of developing an algorithm for modeling mineral deposits based on a spatial Markov chain with a fixed path and incorporating interclass dependencies. An analysis of Markov chain random field modeling methods for creating transiograms that allow for the reproduction of the spatial structure of a mineral deposit is presented. An approach for using transiograms in modeling the large-scale structure of a mineral deposit and for spatiotemporal uncertainty analysis of discrete spatial variables is substantiated. An algorithm for modeling mineral deposits for the efficient determination of cause-and-effect relationships and spatial patterns in the qualitative and quantitative parameters of a deposit is described in detail. One of the advantages of this approach is that the modeled transiograms tend to follow experimental data. The research results can be useful in determining the spatial characteristics of a mineral deposit.

© Басаргин А. А., 2026

Keywords: transiograms, Markov chains, cokriging, topology label matrix, stochastic modeling

Acknowledgments, 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 A.A. Development of an algorithm for modeling mineral deposits based on a spatial Markov chain with a fixed path. *Mine Surveying and Subsurface Use.* 2026; 26 (5): 30-35. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-30-35.

Введение

В практике маркшейдерского мониторинга месторождений полезных ископаемых давно используются одномерные цепи Маркова (или вероятности перехода). При этом более ранние модели цепей Маркова не могли выполнять условное моделирование, и долгое время было сложно определить цепь Маркова наблюдаемыми данными.

Кроме того, условное моделирование должно выполняться с помощью подходов индикаторного кригинга, и при этом будет наблюдаться тенденция недооценивать малые классы из-за исключения нежелательных переходов, вызванных использованием нескольких цепей и полной независимости геопространственной информации, а также обусловленности точечных выборок.

Существующие геостатистические методы изначально применялись для моделирования минералов, которые не включали сильно коррелированные полиномиальные классы. При этом метод кокригинга широко использовался для включения вторичной информации в геостатистическое моделирование. Известно, что геостатистические методы кригинга могут быть применены для работы с геологическими переменными, и при моделировании приходится игнорировать межклассовые зависимости при корегионализации большого набора задействованных моделей. Таким образом, основные проблемы будут заключаться в трудностях включения межклассовых зависимостей и работы с большим количеством классов, существующих в категориальных геологических переменных.

Одним из решений данной проблемы будет являться алгоритм моделирования месторождений полезных ископаемых на основе пространственной цепи Маркова с фиксированным путем. При моделировании месторождений полезных ископаемых на основе пространственной цепи Маркова с фиксированным путем можно применить способ трансиограммы (то есть диаграммы вероятности перехода) для представления пространственных взаимозависимостей (то есть автокорреляций) между показателями залежи полезного ископаемого. Трансиограммы оцениваются по выборкам и подгоняются под модель для предоставления входных параметров для алгоритма моделирования [1].

Данный подход условного моделирования с помощью цепи Маркова показывает, что межклассовые зависимости могут быть легко и эффективно включены в моделирование сложных категориальных переменных через вероятности перехода. Чтобы модель цепи Маркова работала с данными выборочных точек, необходимо напрямую оценивать диаграммы вероятности перехода из выборочных разреженных точечных геологических данных. Трансиограммы не требуют марковского предположения первого порядка, которое необходимо при вычислении вероятностей многошагового перехода из вероятностей одношагового перехода.

Таким образом, трансиограммы будут служить пространственными мерами для геостатистики цепей Маркова, а модели цепей Маркова могут напрямую извлекать необходимые вероятности перехода с различными задержками из непрерывных моделей трансиограмм, подходящих к экспериментальным трансиограммам. Фактически использование трансиограмм вместо матриц вероятностей одношагового перехода имеет одно очевидное преимущество – во включении сложной пространственной вариации многочленных классов.

Цель исследований: разработка алгоритма моделирования месторождений полезных ископаемых на основе пространственной цепи Маркова с фиксированным путем.

Объект исследований

В настоящее время на территории Республики Бурятии осуществляется добыча угля, золота (рудного и россыпного), нефрита, урана и сырья для производства строительных материалов. Кроме разрабатываемых месторождений, на стадии подготовки к освоению находятся месторождения полиметаллических руд, вольфрама и молибдена. В нераспределенном фонде недр имеются крупнейшие месторождения калийно-глиноземного сырья и особо чистого кварца, перспективные, но требующие доразведки либо переоценки в современных экономических условиях месторождения полиметаллов [2–5].

В целях вовлечения месторождений полезных ископаемых в хозяйственный оборот и обнаружения новых месторождений на территории Республики Бурятии проводятся работы по геологическому изучению и воспроизводству минерально-сырьевой базы. Так, среди осваиваемых месторождений находится разрез «Тугнуйский» – одно из крупнейших в России предприятий по добыче каменного угля. Здесь осуществляется разработка открытым способом Олонь-Шибирского каменноугольного месторождения, расположенного в Петровск-Забайкальском районе Забайкальского края, в Мухоршибирском районе Бурятии. Центральная часть месторождения находится в 90 км к юго-востоку от г. Улан-Удэ. Месторождение представлено 21 угольным пластом, из которых промышленное значение имеют четыре: № 6, 8, 15, 18. Основным рабочим пластом является пласт № 18 (64 % всех запасов). Глубина его залегания – от 3 до 169 м.

Материал и методы исследования

В данном исследовании разработка алгоритма моделирования месторождений полезных ископаемых проводилась на площади размером 4 × 1,7 км. Площадь месторождения полезных ископаемых была разбита в сетку 50 × 40 с размером пикселя 20 × 20 м.

Для моделирования использовались два набора данных. Первый набор данных выборки состоял из 236 точек (20 % от общего числа пикселей), а разреженный набор данных выборки – из 62 точек (6,6 % от общего числа пикселей) [6].

Пространственная цепь Маркова определяется как слу-

чайное поле, которое перемещается или «прыгает» в пространстве, подчиняясь разным (или тем же) правилам вероятности перехода в разных направлениях. При этом его состояние полностью меняется в зависимости от его ближайших известных соседей, найденных в разных направлениях.

Теория пространственной цепи Маркова дает общее решение для условного распределения вероятностей дискретной случайной величины Z в невыбранном местоположении u как:

$$P_r\big(Z(u)\big) = K(z(u_1) = l_1, \Lambda, Z(U_m) = l_m) = \\ = \frac{\prod_{i=2}^{m} P_{\mathrm{kl}}^{i}(h_i) P_{\mathrm{lk}}^{l}(h_1)}{\sum_{f=1}^{n} \left[\prod_{i=2}^{m} P_{\mathrm{kl}}^{i}(h_i) P_{\mathrm{lk}}^{l}(h_1)\right]} \quad (1)$$

где P^i – представляет вероятность перехода в i-м направлении;

u_l представляет соседа, из которого или через которого марковская цепь перемещается в текущее местоположение u;

m представляет количество ближайших известных соседей;

k, l_i и f – все представляют классы в пространстве состояний $S = (1, \ldots, n)$;

h_i – расстояние от текущего местоположения до ближайшего известного соседа u_i.

При увеличении лага h_i от нуля до определенного расстояния $P_{\mathrm{kl}}^{i}(h_i)$ цепь образует трансиограмму (непрерывную диаграмму вероятности перехода) из класса k в класс l_i в i-м направлении.

Если рассматривать только четыре ортогональных направления – 1, 2, 3 и 4, уравнение (1) выглядит как

$$P_r\big(Z(u)\big) = k|Z(U_1) = l,\ Z(U_2) = q,\ Z(U_3) = m, \\ Z(U_4) = o,\ | = \frac{P_{\mathrm{lk}}^{1}(h_1) P_{\mathrm{kq}}^{2}(h_2) P_{\mathrm{km}}^{3}(h_3) P_{\mathrm{ko}}^{4}(h_4)}{\sum_{f=1}^{n} P_{\mathrm{ik}}^{1}(h_1) P_{\mathrm{kq}}^{2}(h_2) P_{\mathrm{km}}^{3}(h_3) P_{\mathrm{ko}}^{4}(h_4)}, \quad (2)$$

где k – представляет состояние невыбранного местоположения, которое необходимо оценить, *a l, q, m* и *o* представляют состояния четырех ближайших известных соседей в соответствующих направлениях.

В данном случае степени 1, 2, 3 и 4 могут представлять направления влево, вправо, вверх и вниз соответственно в любой последовательности.

Уравнение (2) является основной моделью пространственной цепи Маркова, которое будет использоваться в разработке алгоритма.

Предположим, что для моделирования пространственного распределения n взаимоисключающих классов геологических данных будет обусловлено набором выборки в N узлах сетки. N классов могут быть в любой случайной последовательности, обозначенной как любые метки 1, 2, . . ., n или $A, B, C, \ldots$ При этом выборка Монте-Карло используется для получения меток из кумулятивного условного распределения вероятностей для каждого узла.

Таким образом, моделирование месторождений полезных ископаемых на основе пространственной цепи Маркова с фиксированным путем выполняется следующим образом (рис. 1) [7–11]:

1. Первым делом необходимо соединить периферийные наблюдаемые точки в исследуемой области. В результате получатся моделируемые линии, используя модели цепи Маркова, – в зависимости от количества ближайших известных соседей, найденных в ортогональных направлениях. Если эти моделируемые линии не накладываются на внешние границы исследуемой области, внешние границы можно представить путем создания условий.

2. Далее требуется соединить все пары точек наблюдаемых данных, которые не были соединены на первом этапе, в моделируемые линии, используя модель пространственной цепи Маркова, заданную в уравнении (2), следуя симметричному (или квазисимметричному) пути. Эти моделируемые линии образуют сеть, состоящую из множества ячеек с известными (уже моделируемыми) границами.

3. В итоге в каждой ячейке будет получено значение узла на основе четырех ближайших известных соседей, следуя симметричному (или квазисимметричному) пути.

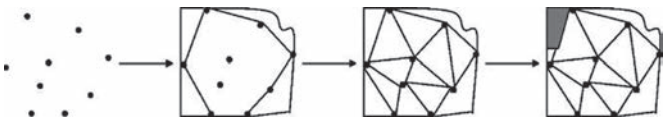


Рис. 1. **Иллюстрация процесса моделирования от создания сетки до ее заполнения /**
Fig. 1. **Illustrating the simulation process from netting to mesh-filling**

Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенных исследований были оценены экспериментальные трансиограммы по 216 точкам и подгонялись по экспоненциальным и сферическим моделям. Подогнанные модели трансиограмм использовались для моделирования с обоими наборами данных. При этом разреженный набор данных из 62 точек был слишком мал для оценки надежных экспериментальных трансиограмм. Если учитывать, что разреженный набор данных был мал, то частоты перехода в четырех ортогональных направлениях были объединены, чтобы получить только один набор экспериментальных трансиограмм.

Рисунок 2 иллюстрирует подмножество экспериментальных автокросс-трансиограмм, которые разделяют один и тот же головной класс и их подгоночные модели [12].

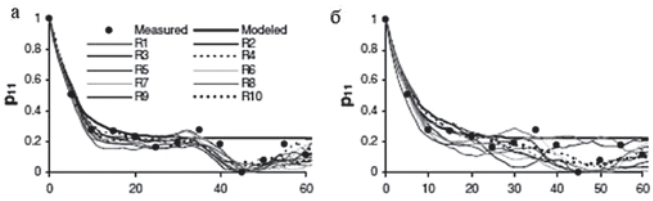


Рис. 2. **Подмножество экспериментальных автокросс-трансиограмм: а – экспериментальная трансиограмма p(h), смоделирована уравнением (2); б – трансиограммы, основанные на стационарном марковском предположении первого порядка /**
Fig. 2. **Subset of experimental autocross-transiograms: a – experimental transiogram p(h), modeled by equation (2); b – transiograms based on the first-order stationary Markov assumption**

Анализ исследований показал, что большинство этих экспериментальных трансиограмм можно «подогнать» с помощью экспоненциальной или сферической модели. При этом доля соответствующего хвостового класса служит порогом модели. На рисунке 2а экспериментальная трансиограмма *p(h)*, смоделирована уравнением (2), имеет очевидные колебания. Это может быть вызвано недостаточностью наблюда-

емых данных и не марковским эффектом реальных данных. При этом трансиограммы, основанные на стационарном марковском предположении первого порядка, являются гладкими кривыми (рис. 2б). Это означает, что только часть особенностей экспериментальных трансиограмм зависят от сложности используемых математических моделей, а анизотропия и направленная асимметрия может охватывать больше деталей при моделировании месторождений полезных ископаемых.

В результате для каждого набора исходных геологических данных было смоделировано 50 вариантов на основе пространственной цепи Маркова с фиксированным путем. Карты прогноза геологического распределения качественного показателя месторождения полезного ископаемого были оценены для каждого набора смоделированных реализаций. На основе карты максимальной вероятности прогноза появления качественного показателя месторождения полезного ископаемого для соответствующего набора данных была сгенерирована оптимальная карта прогнозирования, представленная на рисунке 3.



Рис. 3. **Карта прогнозирования показателей залежи /**
Fig. 3. **Deposit indicator forecast map**

Данная карта прогнозирования также представляет собой оптимально интерполированный результат разреженного набора данных выборки [13–15]. В результате видно, что все семь классов геологических данных хорошо охвачены. Небольшие классы данных, такие как класс 2 и класс 4, хорошо получены, даже с разреженным набором, в зависимости от их корреляционных связей. Одной из значимых характеристик смоделированных реализаций является то, что крупномасштабные образцы геологических данных генерируются как полигоны, а не фрагментарные пиксели, как в обычных геостатистических методах.

В результате анализа получено, что модели, основанные на одном и том же наборе данных, показывают похожие закономерности. Это значит, что включение межклассовых отношений (то есть кросс-корреляций) среди различных классов данных зависит от нелинейности пространственной цепи Маркова с фиксированным путем.

Карты вероятности появления отдельных классов геологических данных отображаются на рисунке 4 соответственно для плотного набора и разреженного набора. Карты четко показывают, где и с какой вероятностью класс имеет тенденцию встречаться в исследуемой области. Темная область на карте вероятности появления означает, что класс имеет высокую вероятность встречаться в этом месте как полигон.

Неглубокие серые полосы на двух картах максимальной вероятности появления указывают на переходные зоны, которые подразумевают приблизительные местоположения границ классов и неопределенность местоположения границ.

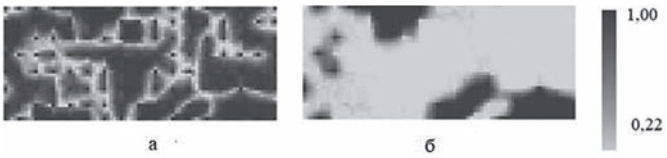


Рис. 4. **Карта вероятности появления отдельных классов:**
а – для плотного набора; б – для разреженного набора /
Fig. 4. **Map of the probability of occurrence of individual classes:**
a – for a dense set; b – for a sparse set

Постепенный переход от темного цвета к фоновому цвету подразумевает локальную неопределенность границы полигона. Таким образом, карты максимальной вероятности появления признака указывают на надежность соответствующих карт прогнозирования, то есть где прогнозируемый результат имеет более низкое качество, а где он имеет более высокое качество. В частности, переходные зоны (или неопределенные границы) между различными классами могут быть выявлены на карте максимальной вероятности появления.

Заключение

1. В статье представлен простой и эффективный алгоритм цепи Маркова с фиксированным путем для стохастического моделирования, обусловленный точечными выборками. Данный алгоритм позволит определить влияние интеграции неопределенных вторичных данных в процедуру моделирования ресурсов с использованием различных стратегий. Таким образом, в отличие от традиционных подходов данный алгоритм будет интегрировать неопределенность, присутствующую во вторичных данных, в результирующие модели месторождения полезного ископаемого.

2. Установлено, что данный алгоритм предоставляет явное решение для функции условной вероятности неизвестного местоположения с различными структурами ближайшего известного соседа, но с очевидной локационной неопределенностью, отраженной в картах вероятности появления.

3. Выявлено, что алгоритм цепи Маркова с фиксированным путем хорошо подходит для анализа пространственной неопределенности полиномиальных классов путем генерации большого количества реализаций и оценки карт вероятности появления. Использование моделей трансиограмм для предоставления вероятностей перехода при любых задержках представляет собой преимущество алгоритма для включения сложных особенностей пространственных вариаций дискретных переменных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Басаргин А.А. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий. *Вестник СГГА*. 2014; 1 (25): 34-40.
Basargin A.A. Creation of digital models of mineral deposits using modern technologies. *Bulletin of the SSGA.* 2014; 1 (25): 34-40 (In Russ.).
2. Басаргин А.А. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной

системы Micromine. *Сборник материалов Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2015»: Т. 1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия.* Новосибирск, 2015: 15-20.
Basargin A.A. Methodology for creating three-dimensional geological models of deposits using the Micromine geographic information system. *Collection of materials international. Scientific congr. "GEO-Siberia-2015". T. 1 "Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying".* Novosibirsk, 2015:15-20. (In Russ.).
3. Урумов В.А., Босиков И.И. 3D-модель и закономерности распределения полезных компонентов залежи Анненская Жезказганского месторождения. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2015; 7 (1): 11-16.
Urumov V.A., Bosikov I.I. 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 Е.С. Чем порадует 2018 год пользователей программы Micromine. *Золото и технологии.* 2017; 4 (38): 50-53.
Shulga E.S. What will 2018 please users of the Micromine program. *Gold and Technologies.* 2017; 4 (38): 50-53. (In Russ.).
5. Выстрчил М.Г., Гусев В.Н., Сухов А.К. Методика определения погрешностей сегментированных GRID-моделей открытых горных выработок, построенных по результатам аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна. *Записки Горного института*. 2023; 262: 562-570.
Vystrchil M.G., Gusev V.N., Sukhov A.K. 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: 562-570. (In Russ.).
6. Шевкун Е.Б., Лещинский А.В., Галимьянов А.А. Короткая комбинированная забойка взрывных скважин высокой запирающей способности. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015; 4: 331-336.
Shevkun E.B., Leshchinsky A.V., Galimyanov A.A. Short combined driving of blast holes with high locking ability. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal).* 2015; 4: 331-336. (In Russ.).
7. Долгачева А.С., Долгачева Т.А., Самаевская В.Д. Методы интерполяции в Vertical mapper для создания цифровых моделей рельефа. *Огарёв-Online*. 2023; 187 (2): 10.
Dolgacheva A.S., Dolgacheva T.A., Samayevskaya V.D. Interpolation methods in vertical mapper to create digital terrain models. *Ogarov-Online.* 2023; 2 (187): 10. (In Russ.).
8. Нурмухаметова А.Т. 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: 582-583.
Nurmukhametova A.T. 3-Dimensional Modeling in Calculating Mineral Resources Volumes. *Problems of Geology and Subsoil Development: Proceedings of the XXI International Symposium named after Academician M.A. Usov for Students and Young Scientists Dedicated to the 130-th Anniversary of Professor M.I. Kuchin.* Tomsk, 2017: 582-583.
9. Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Бедарев А.С. 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; 2: 178-183.
Besimbaeva O.G., Khmyrova E.N., Bedarev A.S. 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 vol. (Novosibirsk, April 8-18, 2014).* 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.тSt. Petersburg, 2003: 496. (In Russ.).
11. Дроздов А.Ю. 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: 71-72.
Drozdov A.Yu. 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: 71-72. (In Russ.).
12. Вальков В.А., Валькова Е.О., Мустафин М.Г. Методика уточнения цифровых моделей n рельефа открытых горных выработок по материалам лазерного сканирования и аэрофотосъемки. *Маркшейдерия и недропользование*. 2023; 3 (125): 40-52. https://doi.org/10.56195/20793332_2023_3_40_52.
Valkov V.A., Valkova E.O., Mustafin M.G. 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.). https://doi.org/10.56195/20793332_2023_3_40_52.
13. Пашковская О.В., Новоселов О.В., Потапенко И.А. Анализ данных в геоинформационной системе QGIS. *Решетневские чтения: мат-лы XXIV Межд. 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; 2: 345-346.
Pashkovskaya O.V., Novoselov O.V., Potapenko I.A. 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 (November 10–13, 2020, Krasnoyarsk): at 2 o'clock - Siberian State University named after. M. F. Reshetneva.* Krasnoyarsk, 2020; 2: 345-6. (In Russ.).
14. Кравцова В.И., Другов М.Д. Типы динамики дюнного рельефа Анапской пересыпи: исследование по материалам воздушного лазерного сканирования. *Геодезия и картография*. 2019; 2: 32-45. https://doi.org/10.22389/0016-7126-2019-944-2-32-45.
Kravtsova V.I., Drugov M.D. 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.). https://doi.org/10.22389/0016-7126-2019-944-2-32-45.
15. Хританькова А.А., Ковальчик Н.В. 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 A.A., Kovalchik N.V. 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 АВТОРАХ

Андрей Александрович Басаргин –
*старший научный сотрудник № 3.1 лаборатории геологоструктурного моделирования ИПКОН РАН, г. Москва, e-mail***:** *abaspirant@mail.ru;*
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск, Российская Федерация

Информация о статье
Поступила в редакцию: 04.06.2026
Поступила после рецензирования: 18.08.2026
Принята к публикации: 10.09.2026

ABOUT THE AUTHORS

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, e-mail: abaspirant@mail.ru;
Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

Информация о статье
Поступила в редакцию: 04.06.2026
Поступила после рецензирования: 18.08.2026
Принята к публикации: 10.09.2026