

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

Краткое сообщение

УДК 556.3.01.06:553.31

EDN: RAFZNQ

DOI: 10.21285/2686-9993-2023-46-3-282-288

Типизация гидрогеологических условий на месторождениях
полезных ископаемых методом системного анализаЛ.И. Аузина^а^а*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

Резюме. В работе представлен нестандартный подход к типизации месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири (Россия) по гидрогеологическим обстановкам в условиях недостаточности и неравномерности исходной информации. Наиболее рационально решить эту задачу на начальных стадиях исследований путем выделения ряда легко определяемых косвенных показателей, обуславливающих выбор участков, перспективных для бурения гидрогеологических скважин. Автором использовался метод системного анализа, включающий два основных этапа: анализа и синтеза, в результате реализации которых исследуемые объекты типизировались в соответствии с поставленными задачами. Разработанная методика получила применение при структурно-гидрогеологическом районировании Илим-Ленского плато, к которому приурочены основные железорудные месторождения Восточной Сибири, типизации россыпных месторождений Ленского золоторудного района по степени сложности инженерно-гидрогеологических условий, при выделении участков повышенной водообильности на месторождениях нефтегазового комплекса Восточной Сибири и т. д.

Ключевые слова: гидрогеологические условия, месторождения Восточной Сибири, системный анализ, модель

Для цитирования: Аузина Л.И. Типизация гидрогеологических условий на месторождениях полезных ископаемых методом системного анализа // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 3. С. 282–288. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-3-282-288>. EDN: RAFZNQ.

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION
OF SOLID MINERALS, MINERAGENY

Brief report

Typification of hydrogeological conditions
in mineral deposits by system analysis methodLarisa I. Auzina^а^а*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

Abstract. The paper presents a non-standard approach to the typification of mineral deposits in Eastern Siberia (Russia) according to hydrogeological conditions under insufficiency and unevenness of the initial information. The most rational way to solve this problem at initial research stages is to identify a number of easily determined indirect indicators that determine the selection of sites promising for drilling hydrogeological wells. The author uses the method of system analysis including two main stages of analysis and synthesis, which result in the typification of the objects under study in accordance with the assigned tasks. The developed methodology is used for various purposes: structural hydrogeological zoning of the Ilim-Lena plateau with associated main iron ore deposits of Eastern Siberia, typification of alluvial deposits of the Lena gold ore region according to the complexity degree of engineering hydrogeological conditions, identification of the sites with high water abundance in the oil and gas fields of Eastern Siberia.

© Аузина Л.И., 2023



Keywords: hydrogeological conditions, deposits in Eastern Siberia, system analysis, model

For citation: Auzina L.I. Typification of hydrogeological conditions in mineral deposits by system analysis method. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2023;46(3):282-288. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-3-282-288>. EDN: RAFZQN.

Введение

В условиях сложной структурно-тектонической обстановки, недостаточности и неравномерности геолого-гидрогеологической изученности, которые характерны для месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири, значительные трудности возникают при схематизации природных условий, оптимизации видов и объемов гидрогеологических исследований. В этих случаях весьма эффективно применение метода системного анализа, главным инструментом которого является модель месторождения.

Под системным анализом понимается исследование реальных объектов и явлений с точки зрения системного подхода, состоящее из двух этапов: анализа и синтеза.

Разработанная для реализации поставленной задачи методика анализа данных базируется на методах многомерной статистики [1, 2].

Материалы и методы исследования

При превалировании качественных (описательных) признаков над количественными (коэффициентов фильтрации, водопроницаемости, уровне- и пьезопроводности, трещиноватости, дебита скважин и т. д., то есть показателей, которые оцениваются при бурении и опробовании гидрогеологических скважин и которые напрямую указывают на степень водообильности водовмещающих пород, но требуют достаточно больших финансовых, временных и трудовых затрат), что характерно для геолого-гидрогеологической информации месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири, использовался эвристический алгоритм, включающий два основных этапа работы.

Первый этап (этап анализа) – обучение, в процессе которого создаются два файла:

F1 – файл, представляющий собой совокупность исходных данных по всем точкам объектов-эталонов (то есть участков, наиболее полно изученных в гидрогеологическом

отношении и имеющих максимум количественных показателей);

F2 – файл градаций, являющийся комплексом пронумерованных диапазонов изменений всех параметров.

В результате совместной работы файлов F1 и F2 создается файл F, в котором вся исходная информация представляется в индексированном виде по номерам градаций файла F2.

Заканчивается процесс обучения составлением классификационной таблицы объектов-эталонов (начало этапа синтеза).

Второй этап (окончание этапа синтеза) – распознавание или прогноз, то есть выявление принадлежности объектов-аналогов (слабо или вообще не охарактеризованных в гидрогеологическом отношении) к тому или иному классу, в результате чего объекты-аналоги типизируются.

Результаты исследования и их обсуждение

Описанная методика разрабатывалась и использовалась в процессе структурно-гидрогеологического районирования Илимско-Ленского плато, к которому приурочены основные железорудные месторождения Восточной Сибири, при типизации россыпных месторождений Ленского золоторудного района по степени сложности гидрогеологических условий, а также выделению участков повышенной водообильности на месторождениях нефтегазового комплекса Восточной Сибири.

Илимско-Ленское плато (тектоническая структура второго порядка), в пределах которого находится более 50 железорудных месторождений и рудопроявлений, расположено в центральной части Ангаро-Ленского краевого прогиба (структура первого порядка) (рис. 1). В распределении и формировании подземных вод региона ведущую роль играют геолого-структурные факторы, обусловившие различное положение разновозрастных толщ в пространстве, что привело к достаточно четкому разделению зон свободного и затруднен-

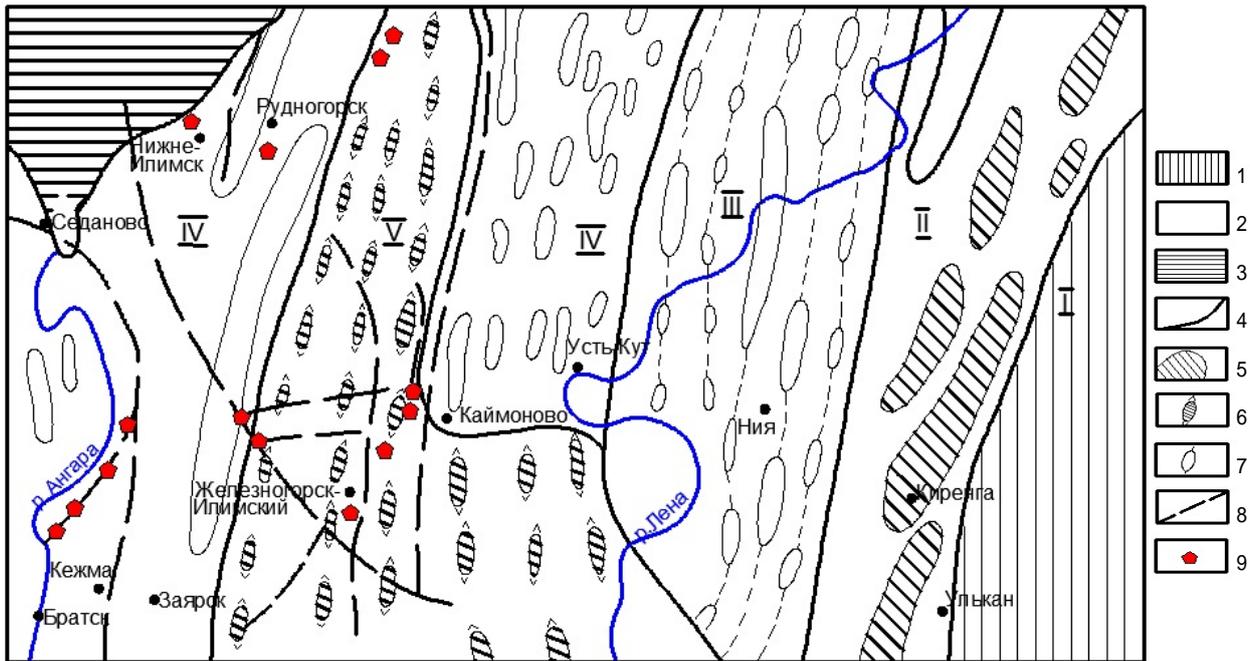


Рис. 1. Схема структурно-тектонического районирования центральной части Ангаро-Ленского краевого прогиба (масштаб 1:3000000) [3]:

1–3 – геологические структуры первого порядка: 1 – Байкальская складчатая область, 2 – Ангаро-Ленский краевой прогиб, 3 – Тунгусская синеклиза; 4 – границы структур второго порядка: I – Прибайкальский синклинал, II – Лено-Киренгский антиклинал, III – Марковско-Ичерская зона брахиформных складок, IV – Непское сводовое поднятие, V – Илимо-Ленская зона брахиформных структур; 5–7 – геологические структуры третьего порядка: 5 – линейные антиклинальные складки, 6 – брахиформные антиклинальные складки, 7 – изолированные антиклинальные складки; 8 – разломы, инъецированные траппами; 9 – трубки взрыва

Fig. 1. Diagram of structural-tectonic zoning of the central part of the Angara-Lena foredeep (map scale 1:3000000) [3]:

1–3 – first order geological structures: 1 – Baikal folded region, 2 – Angara-Lena foredeep, 3 – Tunguska syneclise; 4 – boundaries of the second order structures: I – Baikal syncline, II – Lena-Kirenga anticline, III – Markovo-Icherskaya zone of brachiform folds, IV – Nepa arched uplift, V – Ilim-Lena zone of brachiform structures; 5–7 – third order geological structures: 5 – linear anticlinal folds, 6 – brachiform anticlinal folds, 7 – isolated anticlinal folds; 8 – trap-injected faults; 9 – diatremes

ного водообменов, резкой фильтрационной неоднородности водовмещающих пород, различиям в химическом составе и т. д.

На первом этапе исследования (этапе обучения) в результате анализа данных по объектам-эталонам в районах были выделены гидрогеологические бассейны высоких порядков, массивы, обводненные и экранирующие разломы.

При составлении файла градаций F2 в качестве наиболее значимых характеристик (факторов-предикторов) определены: морфология гидрогеологических структур, мощность и уровень подземных вод верхней гидродинамической зоны, дебиты родников, коэффициенты водопроницаемости вмещающих пород, коэффициенты динамичности родникового стока.

В каждом таксоне второго порядка в соот-

ветствии с перечисленными предикторами были выделены более мелкие структуры. Так, в пределах Илимо-Ленского плато оговорены брахиформные (синклинальные и антиклинальные) структуры и отдельные тектонические нарушения. Далее по той же схеме детализировались районы ряда железорудных месторождений (Коршуновского, Капаевского, Нерюндинского, Поливского, Байкальского).

На втором этапе работы анализировались точки наблюдения, слабо охарактеризованные в гидрогеологическом отношении (объекты-аналоги). В результате выполнения второго этапа моделирования были составлены схемы структурно-гидрогеологического районирования участков ряда железорудных месторождений, что позволило оптимизировать структуру дренажных систем.

Месторождения Ленского золоторудного района, находящиеся на площади Бодайбинского синклиория, приурочены к поверхностным водотокам различного порядка. Рудовмещающими породами являются песчано-гравийно-галечные четвертичные отложения, перекрывающие коренные породы архейско-протерозойского возраста. В соответствии с разработанной методикой определены ведущие предикторы: гипсометрическое положение россыпи относительно уреза воды, процент мерзлых пород, абсолютные отметки точек наблюдения, порядок водотока, к кото-

рому приурочена россыпь, на основании чего сформированы файлы F1 и F2. На втором этапе выделены три основных типа месторождений, характеризующихся различной степенью сложности инженерно-гидрогеологических условий [3]: россыпи с простыми условиями, россыпи с инженерно-гидрогеологическими условиями средней сложности и объекты со сложными условиями. На основании выполненной работы составлена схема типизации месторождений Ленского золоторудного района по сложности инженерно-гидрогеологических условий (рис. 2).

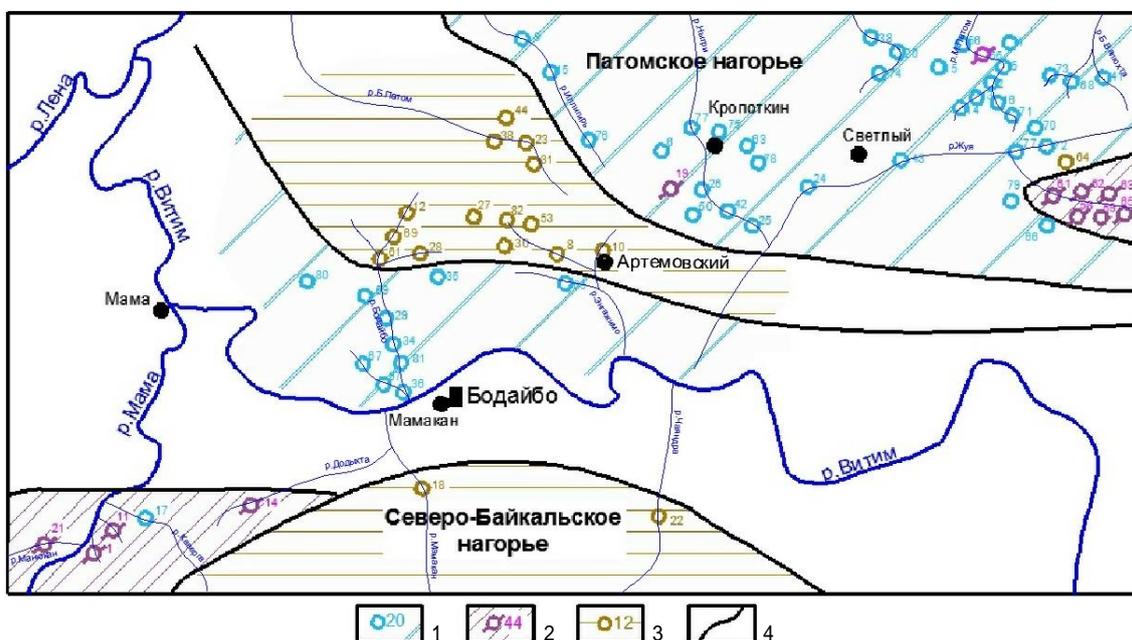


Рис. 2. Схема районирования месторождений Ленского золоторудного района по сложности инженерно-гидрогеологических условий [3] (масштаб 1:2000000):

1 – месторождения первой группы сложности; 2 – месторождения второй группы сложности; 3 – месторождения третьей группы сложности (цифра – модельный номер россыпи: 1 – Малый Патом (верх), 2 – Малый Патом (низ), 3 – Большой Баллаганах, 4 – Васильевский, 5 – Павловский, 7 – Нирокам, 8 – Камустяг, 9 – Большой Иллигирь, 10 – Большой Макалак, 11 – Тесса, 12 – Левая Накатами, 13 – Большая Бижухта, 14 – Додыхта (Мамакан), 15 – Кевакта, Большая Безымянка, 16 – Крещенский, 17 – Каверга, 18 – Икибзьяк (низ), 19 – Угахан (низ), 20 – Большая Таймендра, 21 – Монокан, 22 – Чаянгро, 23 – Маракан, 24 – Кадаликан, 25 – Вача (среднее течение), 26 – Большая Безымянка (Ныгра), 27 – Большой Догалдын, 28 – Аканак-Накатами, 29 – Каменский (дражный полигон), 30 – Тактыкан-Берикан, 31 – Веселяевский, 32 – Большой Патом (дражный полигон), 83 – Горбылях (низ), 85 – Горбылях (верх)); 4 – условные границы между районами с различной сложностью инженерно-гидрогеологических условий

Fig. 2. Zoning diagram of Lena gold ore region fields according to the complexity of engineering and hydrogeological conditions [3] (map scale 1:2000000):

1 – first group complexity deposits; 2 – second group complexity deposits; 3 – third group complexity deposits (figure – model number of the placer: 1 – Malyi Patom (top), 2 – Malyi Patom (bottom), 3 – Bolshoi Ballaganach, 4 – Vasilievsky, 5 – Pavlovsky, 7 – Nirokam, 8 – Kamustyag, 9 – Bolshoi Illigir, 10 – Bolshoi Makalak, 11 – Tessa, 12 – Levaya Nakatami, 13 – Bolshaya Bizhuikhta, 14 – Dodykhta (Mamakan), 15 – Kevakta, Bolshaya Bezymyanka, 16 – Kreshchensky, 17 – Kaverga, 18 – Ikiabyak (bottom), 19 – Ugakhan (bottom), 20 – Bolshaya Taimendra, 21 – Monokan, 22 – Chayangro, 23 – Marakan, 24 – Kadalikan, 25 – Vacha (middle course), 26 – Bolshaya Bezymyanka (Nygra), 27 – Bolshoi Dogaldyn, 28 – Akanak-Nakatami, 29 – Kamensky (dredging site), 30 – Takhtykan-Berikan, 31 – Veselyaevsky, 32 – Bolshoi Patom (dredging site), 83 – Gorbylyakh (bottom), 85 – Gorbylyakh (top)); 4 – conditional boundaries between the areas with different complexity of engineering and hydrogeological conditions



Аналогичная работа, направленная на оптимизацию размещения поисково-разведочных скважин на воду, реализована на месторождениях углеводородов Чонской группы, расположенных в пределах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции и характеризующихся весьма сложными геолого-гидрогеологическими условиями [4], в значительной степени обусловленными разломно-блоковым строением.

В структурном отношении территория приурочена к Непско-Ботуобинской антиклинали, находящейся в центральной части Непского свода. В геологическом строении исследуемой площади принимают участие образования архея, протерозоя, кембрийской системы, четвертичные отложения, а также триасовые интрузивные образования [5].

В силу слабой изученности выделение зон повышенной водообильности для последующего бурения по прямым гидрогеологическим признакам практически невозможно. В связи с этим разработан принцип оптимизации поисково-разведочного бурения на базе оценки комплексного показателя водообильности

с применением системно-модельного анализа, определение которого производится по косвенным признакам [3, 6, 7] и заключается в анализе, количественной дифференциации перечисленных показателей методом экспертных оценок и их последующем суммировании.

Анализ исходной информации на этапе обучения позволил выделить ряд факторов-предикторов, имеющих косвенный, часто расчетный характер, в наибольшей степени влияющих на водообильность перспективных подразделений и не представляющих особой сложности при их определении: модуль трещиноватости, линейный и площадной модули подземного стока, ряд аквальных и морфоскульптурных показателей, в том числе превышение и расстояние точек наблюдения над главной и ближней дренами, угол уклона рельефа, индекс пересеченности рельефа. На основе рассчитанного комплексного показателя водоносности выделены наиболее перспективные для бурения разведочных скважин участки (рис. 3) [7, 8].

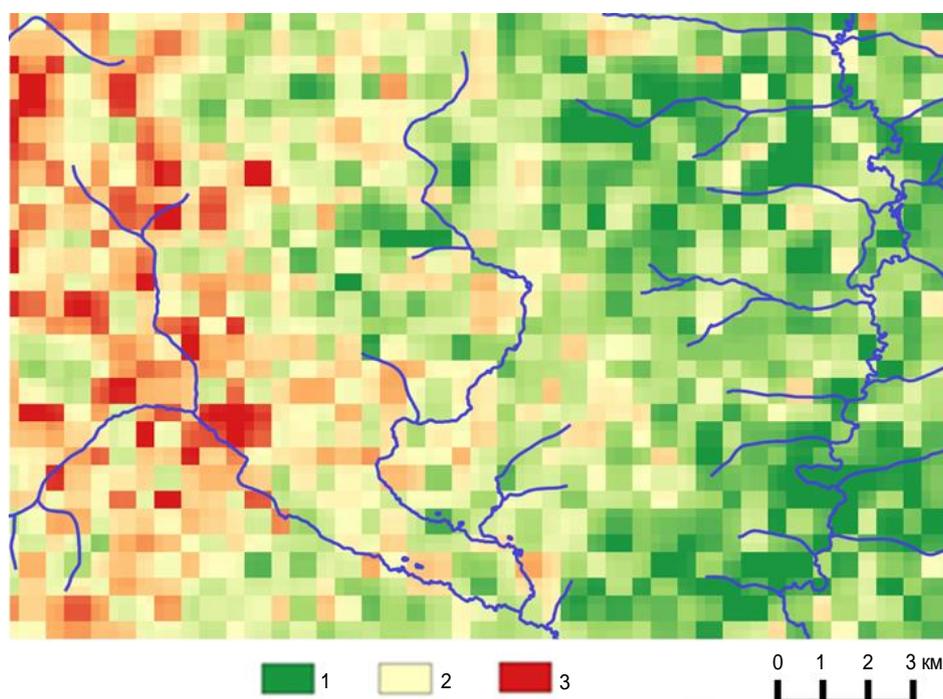


Рис. 3. Картографическое представление расчетного комплексного показателя водообильности в пределах территории Тымпучиканского нефтегазоконденсатного месторождения (фрагмент) [8]:
Комплексный показатель водообильности: 1 – низкие значения (неперспективные участки), 2 – нейтральная зона, 3 – высокие значения (перспективные участки)

Fig. 3. Core mapping of the calculated complex indicator of water abundance within the Tympuchikanskoye oil and gas condensate field (a fragment) [8]:
Complex indicator of water abundance: 1 – low values (unpromising areas), 2 – neutral zone, 3 – high values (promising areas)



Заключение

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что реализация системного подхода к оценке гидрогеологической обстановки на месторождениях полезных ископаемых, апробированная на достаточно крупных объ-

ектах Восточной Сибири, позволяет рекомендовать его к широкому внедрению в практику гидрогеологических исследований на начальных стадиях проведения геологоразведочных работ.

Список источников

1. Burges C.J.C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition // *Data Mining and Knowledge Discovery*. 1998. Vol. 2. P. 121–167. <https://doi.org/10.1023/A:1009715923555>.
2. Bateman R.M. *Openhole log analysis and formation evaluation*. Society of Petroleum Engineers, 2012. 668 p.
3. Аузина Л.И. Опыт применения системно-модельного анализа в гидрогеологии // *Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых: сб. науч. тр.* Иркутск: ИПИ, 1990. С. 138–145.
4. Коробова И.В., Макеев В.М. Оценка неотектонических движений в центральной части Восточно-Европейской платформы // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2021. № 6. С. 17–27. <https://doi.org/10.31857/S0869780921060047>. EDN: WJQQZV.
5. Самсонов В.В., Ларичев А.И. Перспективные нефтегазоносные комплексы и зоны южной части Сибирской платформы // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2008. Т. 3. № 4. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/43_2008.pdf (05.07.2023). EDN: JUTGIR.
6. Budyak A., Parshin A. GIS mapping of geological features of the Baikal mountain region based on integrated geochemical indicators // *Goldschmidt Conference Abstracts. Mineralogical Magazine*. 2013. Vol. 77. Iss. 5. P. 788.
7. Паршин А.В., Аузина Л.И., Просекин С.Н., Блинов А.В., Костерев А.Н., Лоншаков Г.С. [и др.] Геоинформационный подход к оценке ресурсной перспективности площадей (на примере месторождений подземных вод Восточной Сибири) // *Геоинформатика*. 2017. № 1. С. 11–20. EDN: YHWLYB.
8. Аузина Л.И. Один из подходов к оптимизации поисково-оценочных работ на воду на месторождениях нефтегазового комплекса Восточной Сибири // *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2014. № 6. С. 82–88. EDN: ULNYOH.

References

1. Burges C.J.C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*. 1998;2:121-167. <https://doi.org/10.1023/A:1009715923555>.
2. Bateman R.M. *Openhole log analysis and formation evaluation*. Society of Petroleum Engineers; 2012, 668 p.
3. Auzina L.I. Practical use of system-model analysis in hydrogeology. *Geologiya, poiski i razvedka mestorozhdenii rudnykh poleznykh iskopaemykh = Geology, prospecting and exploration of ore deposits*. Irkutsk: Irkutsk Polytechnic Institute; 1990, p. 138-145. (In Russ.).
4. Korobova I.V., Makeev V.M. Assessment of neotectonic movements in the central part of the eastern European platform. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*. 2021;6:17-27. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780921060047>. EDN: WJQQZV.
5. Samsonov V.V., Larichev A.I. Promising oil-gas complexes and zones of southern Siberian platform. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika = Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies*. 2008;3(4). Available from: http://www.ngtp.ru/rub/4/43_2008.pdf [Accessed 5th July 2023]. (In Russ.). EDN: JUTGIR.
6. Budyak A., Parshin A. GIS mapping of geological features of the Baikal mountain region based on integrated geochemical indicators. *Goldschmidt Conference Abstracts. Mineralogical Magazine*. 2013;77(5):788.
7. Parshin A.V., Auzina L.I., Prosekin S.N., Blinov A.V., Kosterev A.N., Lonshakov G.S., et al. GIS-based approach to estimating area prospects for mineral deposits (on example of groundwater deposits of eastern Siberia territory). *Geoinformatika*. 2017;1:11-20. (In Russ.). EDN: YHWLYB.
8. Auzina L.I. An approach to groundwater exploration optimization at oil and gas fields of eastern Siberia. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2014;6:82-88. (In Russ.). EDN: ULNYOH.

**Информация об авторе / Information about the author****Аузина Лариса Ивановна,**

кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
доцент кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем,
руководитель лаборатории гидрогеологии,
институт «Сибирская школа геонаук»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,

✉ lauzina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4702-7863>

Larisa I. Auzina,

Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Applied Geology,
Geophysics, and Geoinformation Systems,
Head of the Hydrogeology Laboratory,
Siberian School of Geosciences,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,

✉ lauzina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4702-7863>

Вклад автора / Contribution of the author

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати.

The author performed the research, made a generalization on the basis of the results obtained and prepared the copyright for publication.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 16.08.2023; одобрена после рецензирования 29.08.2023; принята к публикации 08.09.2023.

The article was submitted 16.08.2023; approved after reviewing 29.08.2023; accepted for publication 08.09.2023.