ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2023;(12):96-110
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 550.81 DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_96

ПОСТРОЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОГЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

А.А. Тедикова[1], М.Д. Климоченков[1], И.А. Мельниченко[1], В.В. Мосейкин[1], М.В. Щёкина[1]

[1] НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: kors-ilay@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены методы отбора проб на техногенных месторождениях, проведен краткий анализ современных подходов к изучению и оценке техногенных массивов, а также предложен способ создания геоинформационной модели хранилища автоклавного кека в горно-геологической информационной системе Micromine. Представленная методика моделирования основывается на формировании базы данных из результатов лабораторных исследований и координат, отражающих пространственное расположение точек отбора проб, импорте информации в программное обеспечение, подборе параметров блочных моделей (размер ячейки, форма эллипсоида поиска) и интерполяции данных в блоках модели по методу обратных взвешенных расстояний (ОВР). Показатель степени в формуле ОВР подбирается с использованием метода кросс-валидации.Для намывных массивов, сложенных отходами горно-обогатительных предприятий, описанный подход к моделированию позволяет оценить среднее содержание и анизотропию свойств полезного компонента, запасы участка, а также степень обводненности массива. Применение специализированных геологических программ для обработки и визуализации трехмерных моделей техногенных залежей во многом сокращает временные и ресурсные затраты на анализ объектов подобного генезиса, что в свою очередь способствует их вовлечению в отработку.

Ключевые слова: геоинформатика, техногенный массив, горнопромышленные отходы, опробование, геостатистика, переработка отходов, намывной массив, инженерно-геологическое районирование.

Для цитирования: *Тедикова А. А., Климоченков М. Д., Мельниченко И. А., Мосейкин В. В., Щёкина М. В.* Построение геоинформационной модели техногенного месторождения для получения дополнительных источников минерального сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12. – С. 96–110. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_96.

Geoinformation model construction for manmade deposits to obtain additional sources of mineral raw materials

A.A. Tedikova[1], M.D. Klimochenkov[1], I.A. Melnichenko[1], V.V. Moseykin[1], M.V. Shchekina[1]

[1] National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
e-mail: kors-ilay@mail.ru

© А.А. Тедикова, М.Д. Климоченков, И.А. Мельниченко, В.В. Мосейкин, М.В. Щёкина. 2023.

Abstract: The methods of sample collection at manmade deposits are discussed, a brief analysis of modern approaches to studying and evaluating manmade masses is performed, and a method to create a geoinformation model of a steam-and-pressure cake storage in geological and mining information system Micromine is proposed. In the presented modeling procedure, data bases are integrated using the laboratory-scale testing results and the coordinates of special locations of sampling points, the information is imported to software program, the parameters of block models (mesh size, search ellipsoid) are selected and the data in the model blocks are interpolated using the inverse distance weighting (IDW). The exponential quantity in the IDW formula is selected from the cross-validation. For the hydraulic fills composed of mining and processing waste, the described modeling approach allows evaluating the average content of useful components and the anisotropy of their properties, the site reserves and the water content. The dedicated geological applications used to process and visualize 3D models of manmade deposits reduce the time and resources spent for the analysis of objects of such genesis, which promotes their development.

Key words: geoinformation science, manmade deposit, mining waste, assaying, geostatistics, waste processing, engineering-geological zoning.

For citation: Tedikova A. A., Klimochenkov M. D., Melnichenko I. A., Moseykin V. V., Shchekina M. V. Geoinformation model construction for manmade deposits to obtain additional sources of mineral raw materials. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(12):96-110. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_96.

Введение

Постепенное истощение минерально-сырьевой базы и потребность в поиске новых источников ресурсов обосновывают повышенное внимание к техногенным месторождениям.

Площади, занятые техногенными массивами, оцениваются в 1 млн га, а площади земель, изъятых из продуктивного оборота под хранение отходов добычи и переработки полезных ископаемых, в более, чем 5 млн га [1]. Помимо этого, отвалы и хвостохранилища оказывают влияние на окружающую экологию и требуют постоянного мониторинга [2].

Для вовлечения в отработку техногенных залежей необходима проверенная методика оценки их запасов. Сложный химический и минеральный состав сырья, неоднородное распределение полезных компонентов, высокая степень обводненности массивов — причины, по которым горные работы на данных объектах не могут быть начаты повсеместно. И, несмотря на увеличение числа исследований, направленных на анализ техногенных месторождений, единого подхода к их разработке сегодня не существует.

В данной статье представлен обзор современных исследований и методик в области отбора и анализа проб на техногенных залежах, а также рассмотрен способ создания блочных моделей намывных массивов.

Методы

Современное состояние горнодобывающей промышленности и минерально-сырьевого сектора экономики диктует новые условия поиска и отработки месторождений: с истощением запасов, снижением объема ресурсной базы стратегия исследований альтернативных источников полезных ископаемых становится обязательным звеном любой про-

изводственной цепочки. А техногенные залежи и отвалы являются одними из перспективных объектов для оценки, разведки и извлечения ценных компонентов. Главной особенностью, позволяющей причислять эти объекты к техногенным минеральным скоплениям, является наличие в их вещественном составе минералов и горных пород, пригодных для промышленного использования в текущих условиях и с применением доступных технологий [3].

По морфологическим признакам техногенные залежи классифицируются как насыпные и намывные (наливные). К первой группе относят: породные отвалы, сформированные из материала, извлеченного на рудниках и карьерах цветных, редких и черных металлов; терриконы; шлакоотвалы и отходы фабрик. А ко второй — гидроотвалы и хвостохранилища, образованные при заполнении впадин и котловин вскрышными породами и техногенными отходами обогащения руд [4].

По способу образования и условиям формирования техногенные месторождения могут быть разделены на три типа: месторождения горнодобывающих предприятий, месторождения горнообогатительных предприятий, месторождения горноперерабатывающих предприятий.

Отвалы некондиционных руд, хвостохранилища, металлургические шлаки и шламы, характеризующиеся сложным химическим и минеральным составом, по многим свойствам и параметрам отличаются от природного сырья, технология добычи которого проработана и регламентируется действующим законодательством [5, 6]. Меньшая степень изученности техногенных образований определяет низкую заинтересованность горнодобывающих компаний в их отработке. Так, случаи разведки и утверждения запасов техногенных месторождений в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых в настоящее время крайне редки, тогда же как в западных странах доля вовлечения вторичного сырья в производство отдельных цветных металлов достигает четверти от общего объема производства [7].

При этом современный, цифровой подход к моделированию такого типа месторождений способен в значительной степени повлиять на популяризацию вовлечения отходов горного производства в технологические процессы добычи. В свою очередь, для создания геоинформационной модели техногенного месторождения или его участка необходимо предварительное изучение объекта исследований: районирование, опробование, анализ химического состава и пр. [8].

Сегодня к отбору и подготовке проб из отходов минерального происхождения существуют различные рекомендации. Так, Государственным комитетом РФ по охране окружающей среды в 1999 г. был подготовлен документ «Отходы минерального происхождения. Рекомендации по отбору и подготовке проб. Общие положения», в котором приведены основные требования к местам пробоотбора: визуальная оценка однородности участка, крупности и влажности материала для зонирования сегментов разнородных свойств; включение в общие исследования не менее чем одной объединенной пробы из каждого сегмента, выделенного на предыдущем этапе; отбор проб с определенных площадей (непосредственно с поверхности, из расчисток, закопушек, канав, шурфов или скважин); составление акта отбора проб со схемой их размещения.

В этом документе рассматривается и периодичность пробоотбора — не менее одного раза в год для действующих объектов и не менее одного раза в три года — при инвентаризации в местах хранения отходов.

Выделяются и методы отбора проб: ручной (лопатами, бурами и прочими инструментами) и механизированный (с применением пробоотборников и отсекающих рам). А при подготовке проб к лабораторному анализу следует сбор точечных проб в объединенную (пробу сегмента, зоны, участка или всего объекта, при этом массы точечных проб должны быть пропорциональны площадям объединения), дробление, перемешивание и сокращение, повторяющиеся на разных этапах.

Федеральной службой по надзору в сфере природопользования в 2014 г. также были подготовлены «Методические рекомендации. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления», где основным требованием к методам отбора и хранения проб является обеспечение неизменности состава проб во временном интервале между отбором и выполнением анализа, а масса (объем) пробы определяется как «достаточная». К примеру, для техногенных россыпей «достаточной» или «достоверной» пробой будет являться проба объемом не менее 0,05 м^3, а с возрастанием в отвалах доли металла крупных классов — до 0,1 м^3 [9].

Для отвалов, лежалых хвостов, по свойствам значительно отличающихся от руды, к наиболее приемлемым способам пробоотбора относят: шурфовой, закопушкой, канавный, бороздовой и точечный (керновый), при этом выбор метода зависит от наличия технических средств опробования, условий, вида и качества минерального сырья [10].

Объемы опробования на техногенных объектах значительны, особенно если проводить сравнение с природными месторождениями. Такая потребность возникает из-за перераспределения полезных компонентов в отвалах и на хвостохранилищах, из-за перемешивания частиц в результате различных процессов. Велико и число лабораторных исследований, которые необходимы для изучения химического состава слагающего техногенные образования вещества [11].

Для проведения анализа может применяться группа ядерно-физических методов исследований: нейтронно-активационный, рентгеноспектральный, гамма-спектрометрический и др. [12]. Нейтронно-активационный метод позволяет определять как сравнительно большие, так и малые концентрации отдельных элементов (Mn, V, Al, Si, In) в образцах сложного химического состава [13], рентгеноспектральный служит для анализа состава твердых, жидких и газообразных веществ без их разрушения, а гамма-спектрометрический позволяет идентифицировать радионуклиды в пробах различного состава.

Отходы промышленных производств различного цикла, классифицируемые как техногенные объекты, могут быть исследованы с использованием рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) [14]. И метод РФА, и СЭМ сегодня являются наиболее доступными в техническом и экономическом отношении для проведения исследований. Кроме того, результаты применения данных видов анализа апробированы для условий техногенных образований [15].

В свою очередь, техногенные месторождения, ассоциированные с хвостохранилищами, могут представлять интерес для изучения и последующего освоения в большей степени, чем объекты, связанные с отвалами, из-за большей однородности по гранулометрическому составу [16].

В методическом подходе к оценке эффективности использования техногенного сырья выделяют четыре стадии:

геолого-минералогическую, технологическую, экологическую и экономическую.

На первом этапе оценивается состав и строение ресурсов, условия их формирования, хранения и пространственного размещения, постоянство физического и химического составов, масштабы образования и накопления ресурсов, выстраиваются первичные выводы о содержании полезных компонентов и их запасах. Второй период — технологический — отводится для исследования способов, разработки и обоснования технологии переработки сырья, получения выводов о технических возможностях его применения. Стадия экологической оценки необходима для изучения ущерба окружающей природе, возникающего из-за хранения и размещения отходов на определенной территории, а также для анализа наносимого и предотвращаемого ущерба от внедрения технологии переработки сырья [17, 18]. Потребность в такой оценке возникает в первую очередь из-за нарушения режима подземных вод, химизма и общего ухудшения гидрогеологической обстановки в районах отвалов и хвостохранилищ [19—21]. Финальная фаза — экономическая оценка — включает финансовые вопросы: себестоимость, затраты на добычу и переработку техногенного сырья, обоснование перспективных объемов извлечения полезных компонентов и сроки окупаемости проекта [22].

Результаты

Для анализа состояния техногенного массива, для изучения распределения в нем полезных компонентов, для подбора оптимальной стратегии его переработки на этапах геолого-минералогической и технологической оценки могут быть использованы современные программные средства — горно-геологические информационные системы.

Горно-геологические информационные системы (ГГИС) — это комплексные, интегрированные решения, позволяющие автоматизировать расчеты и построения, создавать двух- и трехмерные модели, оценивать геостатистические параметры размещения пространственных данных. К наиболее популярным ГГИС относятся: Micromine, Surpac, Datamine, Leapfrog, а также ГЕОМИКС и Mineframe, являющиеся отечественными продуктами. Несмотря на популярность этих систем в сфере моделирования и подсчета запасов твердых полезных ископаемых (ТПИ), их использование для изучения техногенных месторождений сегодня встречается не так часто.

Для создания геоинформационной модели техногенной залежи предварительно должна быть подготовлена база данных, включающая: координаты точек отбора проб, нумерацию проб, результаты лабораторных анализов — содержание полезных компонентов (и / или другие параметры, например, влажность [23]), всестороннее описание пространственного распределения мест отбора проб и всего участка.

Координаты (пространственное расположение точек отбора проб) записываются на этапе проведения работ. Впоследствии они могут быть перенесены в файл формата Microsoft Excel, так как расширение .xlsx воспринимается большинством горно-геологических информационных систем.

Так, для хранилищ автоклавного кека — трех прудков — были сохранены координаты, впоследствии вошедшие в базу данных, необходимых для создания геоинформационной модели техногенного месторождения. Визуализация точек и съемка участка, на котором производился отбор проб, представлена на рис. 1 и 2.

Отбор проб производился «ручным» способом с использованием бензобура

Рис. 1. Участок, с которого отбирались пробы
Fig. 1. Site from which samples were taken

(диаметр 150 мм). Данный процесс проиллюстрирован на рис. 3. Для каждой скважины фиксировалась глубина и характеристики техногенных отложений (рис. 4). Впоследствии для подготовки проб к химическому анализу использовался метод квартования материала — масса, извлеченная из пробуренной скважины, перемешивалась и квартовалась, то есть распределялась на четыре части из ровного слоя. Две части из четырех удалялись, а две оставшиеся — снова перемешивались. Процесс квартования повторялся до тех пор, пока объем пробы не снижался до необходимого, и не происходило полное перемешивание материала.

Для трех прудков, из которых производился пробоотбор, в геоинформационной системе была создана карта (рис. 5).

Каждая проба высушивалась в электрошкафу с обязательным замером мас-

Рис. 2. Точки отбора проб
Fig. 2. Sampling points

Рис. 3. Отбор проб с использованием бензобура
Fig. 3. Sampling using a gasoline drill

Рис. 4. Измерение глубины скважины
Fig. 4. Measuring the well depth

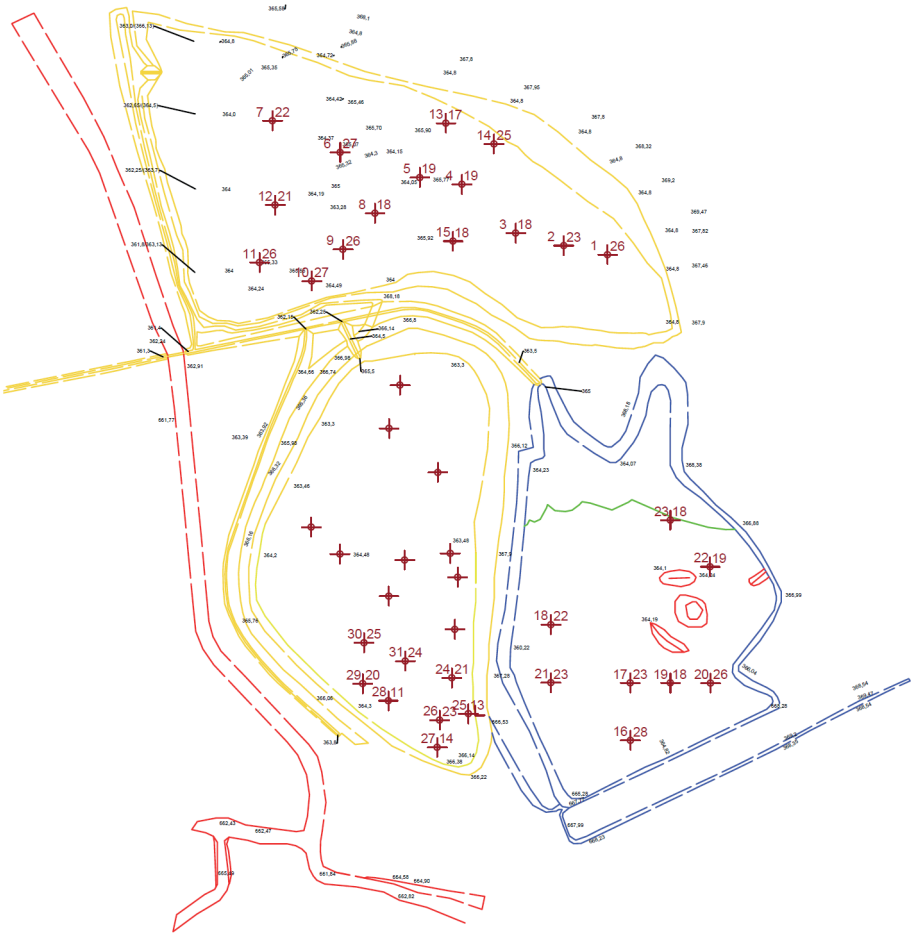

Рис. 5. Карта точек отбора проб
Fig. 5. Map of sampling points

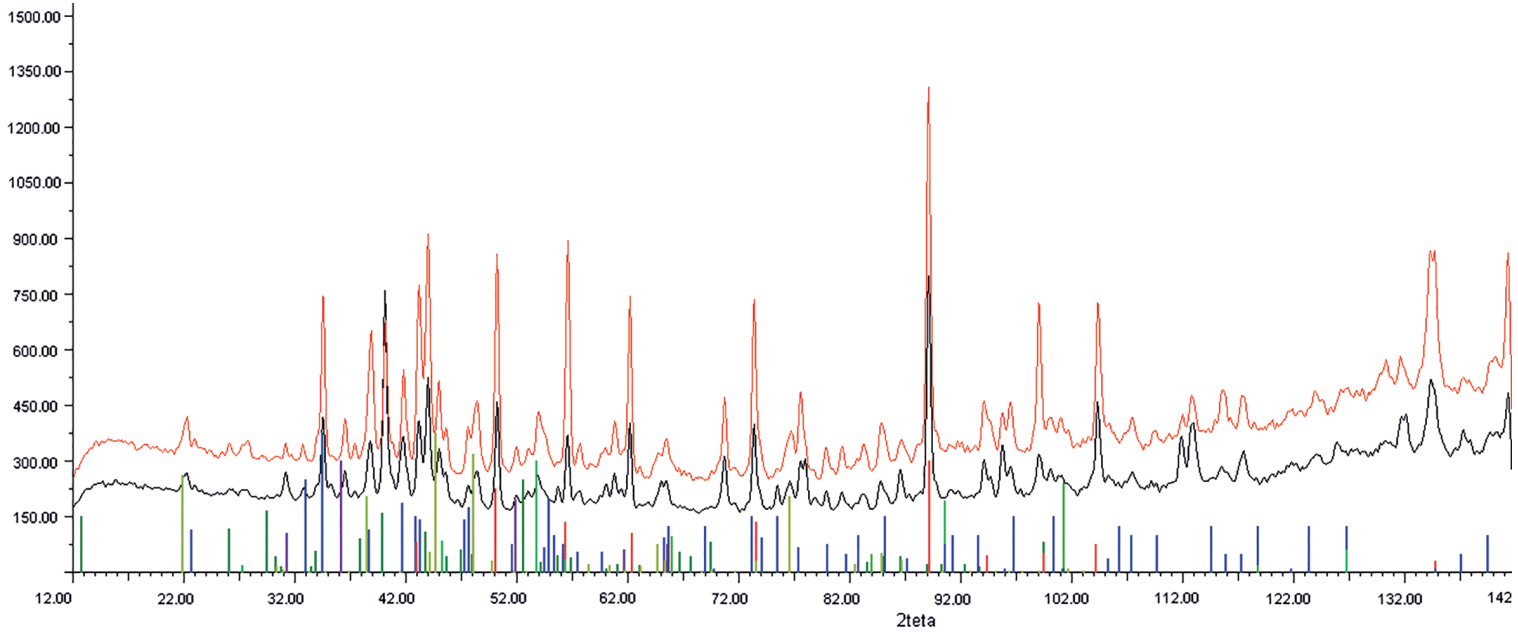

Рис. 6. Результат химического анализа на примере образцов 1в, 1х
Fig. 6. Result of chemical analysis on the example of samples 1c, 1x

сы до и после сушки для оценки влажности пробы. Проведенный на следующим этапе анализ позволил определить содержания полезных компонентов в материале — Cu, S, Zn, Ba, Fe, Pb, Sr и S.

Химический анализ был представлен спектроскопическим методом (рентгенофлуоресцентный анализ). С помощью настольного прибора «Дифрей 401» (ЗАО «Научные приборы», Россия) — рентгеновского дифрактометра — при комнатной температуре использованием Cr-Kα излучения (λ = 2,2909 Å) были получены дифрактограммы исследуемых образцов (см. рис. 6).

Все значения, зафиксированные на стадии анализа, заносятся в исходную базу данных.

Этапу блочного моделирования чаще всего предшествует определение области — границ модели, которые могут быть представлены каркасами. Для создания каркасной модели рудной залежи нередко используются методы эксплицитного (традиционного) моделирования — последовательное оконтуривание руд по разрезам. Выявить грань между составляющей, содержащей полезные компоненты, и «пустыми» частицами при подготовке каркасной модели техногенного месторождения не представляется возможным. В подобных ситуациях либо производится построение всей зоны, с которой проводился отбор проб, либо применяются методы имплицитного (неявного) моделирования, позволяющие создавать триангулированные каркасы по информации, полученной напрямую из базы данных, минуя этап ручного оконтуривания [24].

При этом определение размера блока (ячейки) блочной модели, выбор способа интерполяции данных, определение размеров и наклона осей поискового эллипсоида (параметры моделирования) при работе с техногенными объектами во многом отличаются от работы с ТПИ, несмотря на схожую последовательность действий. В этом случае размер блока не может напрямую зависеть только от горизонтального расстояния между скважинами, шурфами или канавами из-за сложного и неоднородного строения моделируемого объекта в вертикальном направлении. Поисковый эллипсоид и вовсе способен принимать сферическую форму в случае отсутствия четкого направления анизотропии свойств в техногенных пробах.

В качестве способа интерполяции данных в блоках модели наиболее применимым для техногенных массивов является метод обратных взвешенных расстояний (OBP или IDW — inverse distance weighting), поскольку подбор вариограмм удовлетворительного качества, необходимых для проведения кригинга, не всегда может быть осуществлен в силу специфики исследуемых объектов. Показатель степени в формуле OBP для расчета значений параметра подбирается эмпирическим путем или на основании проведения проверки кросс-валидацией.

Для хранилищ автоклавного кека — трех прудков — в ГГИС Micromine было построено три блочных модели, а интерполяция в блоках производилась по параметрам влажности (рис. 7).

Аналогичные модели могут быть получены и по другим параметрам — содержаниям элементов. Для показателя Cu — содержания меди в пробах — также создавались блочные модели, значения в которых интерполировались по методу обратных взвешенных расстояний (рис. 8).

По шести блочным моделям (три — модели прудков, интерполяция в которых проводилась по показателю влажности, и три — модели прудков, где интерполировались значения содержания Cu) была составлена отчетная таблица, отражающая изменение средних харак-

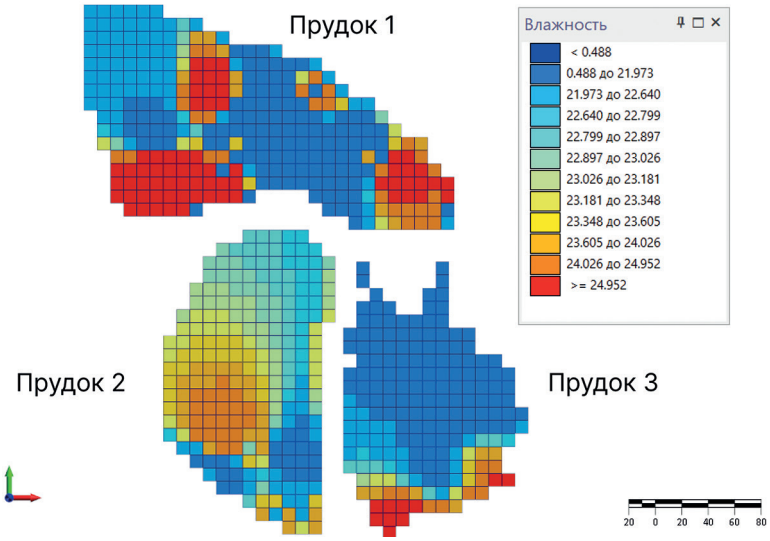

Рис. 7. Блочные модели прудков
Fig. 7. Block models of ponds

Средние значения показателей
Average values of indicators

	Прудок 1	**Прудок 2**	**Прудок 3**
Cu, %	3,916	3,548	4,418
Влажность, %	22,347	23,027	21,48

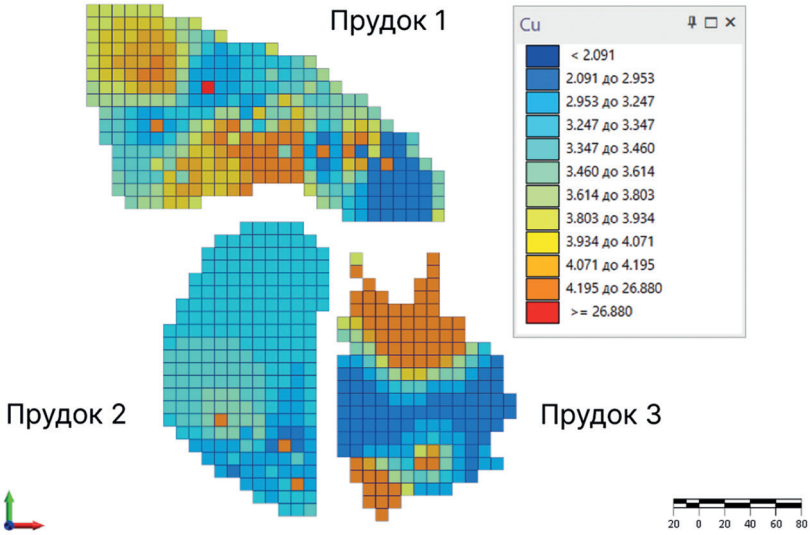

Рис. 8. Блочные модели прудков (интерполяция по Cu)
Fig. 8. Block models of ponds (Cu interpolation)

теристик по всем блочным моделям в зависимости от прудка.

Так, для условий намывных массивов (хранилищ автоклавного кека, где материал представлен тонкодисперсными частицами) — перспективных источников сульфидов (галенита, сфалерита, пирита) — с применением инструментов, представленных в горно-геологических и геоинформационных системах, могут быть получены не только объемы техногенного образования, но и выявлены закономерности пространственной изменчивости содержания полезных компонентов. Что может повлиять на вовлечение в переработку минерального сырья с требуемыми показателями качества [25—28].

Выводы

Метод создания геоинформационной модели техногенных залежей, описанный в данной статье, представляет собой важный инструмент для анализа и оценки техногенных ресурсов. Он позволяет эффективно использовать доступные данные и проводить интерполяцию значений параметров в блоках модели.

Метод обратных взвешенных расстояний (OBP или IDW) оказывается наиболее применимым в условиях техногенных массивов, так как в этом случае подбор вариограмм для кригинга может быть затруднен из-за специфики исследуемых объектов. Этот метод позволяет учесть пространственную изменчивость данных и получить более точные предсказания.

Применение OBP на примере хранилищ автоклавного кека позволяет выявить закономерности пространственной изменчивости содержания полезных компонентов. Эта информация может быть важной для определения объемов и качества техногенного сырья, что в свою очередь влияет на его вовлечение в производственные процессы.

Геоинформационные системы, такие как Micromine, предоставляют полезные инструменты для построения блочных моделей и интерполяции данных. Они позволяют удобно визуализировать информацию и проводить анализ.

Эта методика имеет потенциал для применения с целью оценки техногенных массивов и может способствовать более эффективному использованию техногенных ресурсов, что является важным аспектом в современных условиях, когда поиск и разработка природных месторождений становятся все более сложными и затратными задачами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Данилов А. С., Матвеева В. А., Пашкевич М. А.* Оценка техногенных массивов как источников экологической опасности // Мир русского слова. — 2017. — № 2. — С. 115—120.

2. *Игнатьева М. Н., Юрак В. В., Душин А. В., Стровский В. Е.* Техногенные минеральные образования: проблемы перехода к циркулярной экономике // Горные науки и технологии. — 2021. — № 6(2). — С. 73—89. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-73-89.

3. *Гальперин А. М., Кутепов Ю. И., Кириченко Ю. В., Киянец А. В., Круподеров В. С., Мосейкин В. В., Жариков В. П., Клапперих Х., Тамашкович Н., Чешлок Х.* Освоение техногенных массивов на горных предприятиях: Монография. — М.: Изд-во «Горная книга», 2012. — 336 с.

4. *Макаров А. Б.* О классификации техногенно-минеральных месторождений // Известия Уральской государственной горно-геологической академии. Серия: Геология и геофизика. — 2003. — № 18. — С. 158—163.

5. *Зверева В. П., Лысенко А. И., Фролов К. Р.* Химические реакции и условия минералообразования на хвостохранилищах Дальнего Востока России // Горные науки и технологии. — 2021. — № 6(3). — С. 171—191. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-3-181-191.

6. *Зверева В. П.*, *Лысенко А. И.*, *Фролов К. Р.* Влияние водной составляющей на формирование техногенных вод в горнопромышленных техногенных системах Дальнегорского района // Экологическая химия. — 2020. — Т. 29. — № 5. — С. 263—269.

7. *Ежов А. И.* Оценка техногенного сырья в Российской Федерации (Твердые полезные ископаемые) // Горные науки и технологии. — 2016. — № 4. — С. 62—71.

8. *Подтуркин Ю. А.*, *Коткин В. А.*, *Муслимов Р. Х.*, *Салиева Р. Н.* Правовое регулирование хозяйственной деятельности по разработке техногенных месторождений // Недропользование XXI век. — 2009. — № 6. — С. 15—20.

9. *Трубецкой К. Н.*, *Уманец В. Н.*, *Никитин М. Б.* Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // Горный журнал. — 1989. — № 12. — С. 9—14.

10. *Макаров В. А.* Условия формирования техногенных золотосодержащих объектов и особенности методики их геолого-технологической оценки: автореф. дис. д-р. геол.-минерал. наук. — Красноярк, 2001. — 33 с.

11. *Прокопьев С. А.*, *Прокопьев Е. С.*, *Кадесников И. В.*, *Черимичкина Н. А.* Актуальные способы отработки техногенных россыпных месторождений золота с технологией извлечения мелкого золота // Науки о Земле и недропользование. — 2020. — Т. 43. — № 4. — С. 458—466. DOI: 10.21285/2686-9993-2020-43-4-458-466.

12. *Пунишко О. А.*, *Катышева С. В.* Способы опробования лежалых хвостов золотоизвлекательных фабрик и некоторые закономерности распределения золота в хвостохранилищах // Вестник ИрГТУ. — 2011. — № 10(57). — С. 157—160.

13. *Макаров А. Б.*, *Хасанова Г. Г.*, *Талалай А. Г.* Техногенные месторождения: особенности исследований // Известия УГГУ. — 2019. — № 3(55). — С. 58—62. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-3-58-62.

14. *Талалай А. Г.*, *Макаров А. Б.*, *Зобнин Б. Б.* Техногенные месторождения Урала, методы их исследования и перспективы переработки // Известия вузов. Горный журнал. — 1997. — № 11/12. — С. 20—36.

15. *Лейпунская Д. И.*, *Гауэр З. Е.*, *Флеров Г. Н.* Нейтронный активационный анализ образцов горных пород и рудных концентратов // Атомная энергия. — 1959. — № 6(3). — С. 315—321.

16. *Миненко В. Г.*, *Макаров Д. В.*, *Самусев А. Л.*, *Селиванова Е. А.*, *Баюрова Ю. Л.*, *Силикова А. Р.* Исследование сорбционных свойств электрохимически модифицированного сапонитового продукта из техногенных вод предприятий ПАО «Севералмаз» // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения). — Красноярск, 2017. — С. 259—260.

17. *Seleznev A., Ilgasheva E., Yarmoshenko I., Malinovsky G.* Coarse technogenic material in urban surface deposited sediments (USDS) // Atmosphere. 2021, vol. 12, no. 6, article 754. DOI: 10.3390/atmos12060754.

18. *Machado C. A., Rodrigues S. C.* Environmental contamination by technogenic deposits in the urban area of Araguaína, Brazil / Urban Geomorphology, Chapter 7. Elsevier, 2018, pp. 114—125. DOI: 10.1016/B978-0-12-811951-8.00007-2.

19. *Бортникова С. Б.*, *Гаськова О. Л.*, *Бессонова Е. П.* Геохимия техногенных систем. — Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2006. — 169 с.

20. *Argimbaev K. R.* Technogenic deposit reclamation as an environmental protection factor // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019, vol. 14, no. 17, pp. 6342—6345. DOI: 10.36478/jeasci.2019.6342.6345.

21. *Vezzone M., Cesar R., Polivanov H., Lourenço R., Teixeira M., Serrano A., Castilhos Z., de Campos T.* Technogenic deposits formed from dredged sediments deposition: toxic effects on earthworms // Journal of Soils and Sediments. 2020, vol. 20, no. 11, pp. 3994—4006. DOI: 10.1007/s11368-020-02737-6.

22. *Рассказов И. Ю.*, *Грехнев Н. И.*, *Александрова Т. Н.* Техногенные месторождения в отвалах горно-обогатительных комбинатов Дальневосточного региона // Тихоокеанская геология. — 2014. — № 33(1). — С. 102—114.

23. *Левченко Е. Н.*, *Веремеева Л. И.*, *Горлова О. Е.* Техногенное минеральное сырьё: особенности вещественного состава и технологических свойств, геолого-технологическое картирование // Руды и металлы. — 2018. — № 1. — С. 64—74.

24. *Jiateng Guo, Jiangmei Wang, Lixin Wu, Cuizhi Liu, Chaoling Li, Fengdan Li, Min Lin, Jessell M. W., Pengyu Li, Xinwei Dai, Jianrong Tang* Explicit-implicit-integrated 3-D geological modelling approach. A case study of the Xianyan Demolition Volcano (Fujian, China) // Tectonophysics. 2020, vol. 795, article 228648. DOI: 10.1016/j.tecto.2020.228648.

25. *Мельниченко И. А.*, *Кириченко Ю. В.* Разработка метода районирования техногенных массивов // Горная промышленность. — 2021. — № 3. — С. 116—122. DOI: 10. 30686/1609-9192-2021-3-116-122.

26. *Ческидов В. В.*, *Барабанов Н. Н.*, *Ложкин М. О.*, *Смирнов П. А.*, *Лагутина А. А.* Анализ закономерностей распределения соединений серы и железа на примере намывных техногенных массивов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 3. — С. 142—153. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-142-153.

27. *Ермолов В. А.*, *Щёкина М. В.*, *Салтанова Е. А.* Совершенствование методики и технических средств натурных исследований техногенных месторождений // Материалы IV Международной экологической конференции студентов и молодых ученых. — М.: МГГУ, 2001. — С. 86—89.

28. *Гальперин А. М.*, *Мосейкин В. В.*, *Ларичев Л. Н.*, *Щёкина М. В.* Освоение техногенных месторождений хвостохранилищ // Сборник трудов научной конференции (Двадцатые Сергеевские чтения). — М.: РУДН, 2018. — С. 102—106. ГИАБ

REFERENCES

1. Danilov A. S., Matveeva V. A., Pashkevich M. A. Assessment of technogenic massifs as sources of environmental hazard. *The World of Russian word*. 2017, no. 2, pp. 115—120. [In Russ].

2. Ignatieva M. N., Yurak V. V., Dushin A. V., Strovsky V. E. Technogenic mineral formations: problems of transition to a circular economy. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, no. 6(2), pp. 73—89. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-73-89.

3. Gal'perin A. M., Kutepov Yu. I., Kirichenko Yu. V., Kiyanets A. V., Krupoderov V. S., Moseykin V. V., Zharikov V. P., Klapperikh Kh., Tamashkovich N., Cheshlok Kh. *Osvoenie tekhnogennykh massivov na gornykh predpriyatiyakh*: Monografiya [Development of technogenic massifs at mining enterprises: Monograph], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2012, 336 p.

4. Makarov A. B. On the classification of technogenic mineral deposits. *Izvestiya Ural'skoy gosudarstvennoy gorno-geologicheskoy akademii. Seriya: Geologiya i geofizika*. 2003, no. 18, pp. 158—163. [In Russ].

5. Zvereva V. P., Lysenko A. I., Frolov K. R. Chemical reactions and conditions of mineral formation at tailings in the Russian Far East. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, no. 6(3), pp. 171—191. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-3-181-191.

6. Zvereva V. P., Lysenko A. I., Frolov K. R. Influence of the water component on the formation of technogenic waters in mining industrial technogenic systems of the Dalnegorsk region. *Ekologicheskaya khimiya*. 2020, vol. 29, no. 5, pp. 263—269. [In Russ].

7. Ezhov A. I. Assessment of technogenic raw materials in the Russian Federation (Solid minerals). *Mining Science and Technology (Russia)*. 2016, no. 4, pp. 62—71. [In Russ].

8. Podturkin Yu. A., Kotkin V. A., Muslimov R. Kh., Salieva R. N. Legal regulation of economic activity in the development of man-made deposits. *Nedropolzovanie XXI vek*. 2009, no. 6, pp. 15—20. [In Russ].

9. Trubetskoy K. N., Umanets V. N., Nikitin M. B. Classification of technogenic deposits, main categories and concepts. *Gornyi Zhurnal*. 1989, no. 12, pp. 9—14. [In Russ].

10. Makarov V. A. *Usloviya formirovaniya tekhnogennykh zolotosoderzhashchikh ob"ektov i osobennosti metodiki ikh geologo-tekhnologicheskoy otsenki* [Conditions for the formation of technogenic gold-bearing objects and features of the methodology for their geological and technological assessment], Doctor's thesis, Krasnoyark, 2001, 33 p.

11. Prokopyev S. A., Prokopyev E. S., Kadesnikov I. V., Cherimichkina N. A. Current methods for mining technogenic alluvial gold deposits with technology for extracting fine gold. *Earth sciences and subsoil use*. 2020, vol. 43, no. 4, pp. 458—466. [In Russ]. DOI: 10.21285/2686-9993-2020-43-4-458-466.

12. Punishko O. A., Katysheva S. V. Methods for sampling stale tailings of gold mining factories and some patterns of gold distribution in tailings. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2011, no. 10(57), pp. 157—160. [In Russ].

13. Makarov A. B., Khasanova G. G., Talalai A. G. Technogenic deposits: features of research. *News of the Ural State Mining University*. 2019, no. 3(55), pp. 58—62. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-3-58-62.

14. Talalai A. G., Makarov A. B., Zobnin B. B. Technogenic deposits of the Urals, methods of their research and prospects for processing. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 1997, no. 11/12, pp. 20—36. [In Russ].

15. Leipunskaya D. I., Gower Z. E., Flerov G. N. Neutron activation analysis of rock samples and ore concentrates. *Atomnaya energiya*. 1959, no. 6(3), pp. 315—321. [In Russ].

16. Minenko V. G., Makarov D. V., Samusev A. L., Selivanova E. A., Bayurova Yu. L., Silikova A. R. Study of the sorption properties of an electrochemically modified saponite product from technogenic waters of PJSC enterprises «Severalmaz». *Sovremennye problemy kompleksnoy pererabotki trudnoobogatimykh rud i tekhnogennogo syr'ya (Plaksinskie chteniya)* [Modern problems of complex processing of difficult-to-process ores and technogenic raw materials (Plaksinsky readings)], Krasnoyarsk, 2017, pp. 259—260. [In Russ].

17. Seleznev A., Ilgasheva E., Yarmoshenko I., Malinovsky G. Coarse technogenic material in urban surface deposited sediments (USDS). *Atmosphere*. 2021, vol. 12, no. 6, article 754. DOI: 10.3390/atmos12060754.

18. Machado C. A., Rodrigues S. C. Environmental contamination by technogenic deposits in the urban area of Araguaína, Brazil. *Urban Geomorphology*, Chapter 7. Elsevier, 2018, pp. 114—125. DOI: 10.1016/B978-0-12-811951-8.00007-2.

19. Bortnikova S. B., Gas'kova O. L., Bessonova E. P. *Geokhimiya tekhnogennykh sistem* [Geochemistry of technogenic systems], Novosibirsk, 2006, 169 p.

20. Argimbaev K. R. Technogenic deposit reclamation as an environmental protection factor. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019, vol. 14, no. 17, pp. 6342—6345. DOI: 10.36478/jeasci.2019.6342.6345.

21. Vezzone M., Cesar R., Polivanov H., Lourenço R., Teixeira M., Serrano A., Castilhos Z., de Campos T. Technogenic deposits formed from dredged sediments deposition: toxic effects on earthworms. *Journal of Soils and Sediments*. 2020, vol. 20, no. 11, pp. 3994—4006. DOI: 10.1007/s11368-020-02737-6.

22. Rasskazov I. Yu., Grekhnev N. I., Aleksandrova T. N. Technogenic deposits in the dumps of mining and processing plants of the Far Eastern region. *Russian Journal of Pacific geology*. 2014, no. 33(1), pp. 102—114. [In Russ].

23. Levchenko E. N., Veremeeva L. I., Gorlova O. E. Technogenic mineral raw materials: features of material composition and technological properties, geological and technological mapping. *Ores and Metals*. 2018, no. 1, pp. 64—74. [In Russ].

24. Jiateng Guo, Jiangmei Wang, Lixin Wu, Cuizhi Liu, Chaoling Li, Fengdan Li, Min Lin, Jessell M. W., Pengyu Li, Xinwei Dai, Jianrong Tang Explicit-implicit-integrated 3-D geological modelling approach. A case study of the Xianyan Demolition Volcano (Fujian, China). *Tectonophysics*. 2020, vol. 795, article 228648. DOI: 10.1016/j.tecto.2020.228648.

25. Melnichenko I. A., Kirichenko Yu. V. Development of a method for zoning technogenic massifs. *Russian Mining Industry*. 2021, no. 3, pp. 116—122. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-3-116-122.

26. Cheskidov V. V., Barabanov N. N., Lozhkin M. O., Smirnov P. A., Lagutina A. A. Distribution of iron and sulfur compounds: A case study of hydraulic waste fills. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 3, pp. 142—153. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-142-153.

27. Ermolov V. A., Shchekina M. V., Saltanova E. A. Improvement of methods and technical means for field research of technogenic deposits. *Materialy IV Mezhdunarodnoy ekologicheskoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh* [Materials of the IV International Ecological Conference of Students and Young Scientists], Moscow, MGGU, 2001, pp. 86—89. [In Russ].

28. Galperin A. M., Moseykin V. V., Larichev L. N., Shchekina M. V. Development of technogenic deposits of tailings. *Sbornik trudov nauchnoy konferentsii (Dvadtsatye Sergeevskie chteniya)* [Collection of proceedings of the scientific conference (Twentieth Sergeev Readings)], Moscow, RUDN, 2018, pp. 102—106. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тедикова Анита Аркадьевна[1] — аспирант,
e-mail: anita_t@inbox.ru,
ORCID ID: 0009-0008-3343-280X,
Климоченков Максим Дмитриевич[1] — аспирант,
e-mail: klimochenkov98@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0001-1276-9285,
Мельниченко Илья Ашотович[1] — канд. техн. наук,
ассистент кафедры, e-mail: kors-ilay@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0205-6425,
Мосейкин Владимир Васильевич[1] — д-р техн. наук,
профессор, e-mail moseykin@inbox.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2286-1480,
Щёкина Марина Владимировна[1] — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: mshchekina@misis.ru,
ORCID ID: 0009-0007-2684-450X,
[1] НИТУ «МИСиС».
Для контактов: Мельниченко И.А., e-mail: kors-ilay@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.A. Tedikova[1], Graduate Student,
e-mail: anita_t@inbox.ru,
ORCID ID: 0009-0008-3343-280X,
M.D. Klimochenkov[1], Graduate Student,
e-mail: klimochenkov98@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0001-1276-9285,
I.A. Melnichenko[1], Cand. Sci. (Eng.),
Assistant of Chair, e-mail: kors-ilay@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0205-6425,
V.V. Moseykin[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail moseykin@inbox.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2286-1480,
M.V. Shchekina[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: mshchekina@misis.ru,
ORCID ID: 0009-0007-2684-450X,
[1] National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.
Corresponding author: I.A. Melnichenko, e-mail: kors-ilay@mail.ru.

Получена редакцией 02.10.2023; получена после рецензии 07.11.2023; принята к печати 10.11.2023.
Received by the editors 02.10.2023; received after the review 07.11.2023; accepted for printing 10.11.2023.