

История развития отечественных горно-геологических информационных систем

О.В. Наговицын✉, С.В. Лукичев

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация

✉ o.nagovitsyn@ksc.ru

Резюме: История применения компьютерных технологий в горнодобывающей промышленности насчитывает более полувека. В 60–70-е годы прошлого века исследования были сосредоточены на моделировании месторождений, машинном представлении горно-геологической информации и создании математических моделей карьеров и подземных рудников. В этот период начали формироваться первые автоматизированные системы управления на горных предприятиях. К 1980-м годам выявились основные направления применения компьютерных технологий, включая геологическое моделирование, маркшейдерское обеспечение и проектирование, планирование горных работ. В СССР в 1980-е годы были реализованы несколько отраслевых программ по созданию систем автоматизированного проектирования для горнодобывающей отрасли. Однако несмотря на значительные достижения развитие этих систем столкнулось с рядом проблем, таких как отсутствие унификации программного обеспечения и недостаток технических средств на рабочих местах. С распадом СССР многие научные коллективы распались, и прежние наработки были утрачены. Современные разработки в области горно-геологических информационных систем (ГИС) на постсоветском пространстве были инициированы новыми коллективами в 1990-е годы. Уход из России зарубежных ГИС, с одной стороны, открыл окно возможностей российским разработчикам, но, с другой стороны, поставил перед ними сложную задачу – в кратчайший срок – в течение 2–3 лет – создать отечественные полнофункциональные ГИС.

Ключевые слова: ГИС, геологическое моделирование, проектирование карьеров, проектирование рудников, планирование горных работ, САПР, маркшейдерия, цифровизация горных работ

Для цитирования: Наговицын О.В., Лукичев С.В. История развития отечественных горно-геологических информационных систем. *Горная промышленность*. 2024;(5):46–51. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-46-51>

History of development of the Russian mining and geological information systems

O.V. Nagovitsyn✉, S.V. Lukichev

Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation

✉ o.nagovitsyn@ksc.ru

Резюме: The history of applying computer technologies in the mining industry goes back for more than half a century. Research activities in the 60s-70s of the last century were focused on modeling of deposits, machine representation of mining and geological information and creation of mathematical models of surface and underground mines. The first automated control systems started to emerge at mining enterprises during this period. The main trends in application of computer technologies, including geological modeling, support of surveying and design, as well as planning of mining operations, were established by the 1980s. Several industry programs to create computer-aided design systems for the mining industry were implemented in the USSR in the 1980s. However, despite significant achievements, the development of these systems faced a number of challenges, such as a lack of software unification and a shortage of technical means at workplaces. With the collapse of the Soviet Union, many scientific teams fell apart, and the previous developments were lost. Modern developments in the mining and geological information systems (MGIS) in the post-Soviet countries were initiated by new teams in the 1990s. The withdrawal of foreign MGIS from Russia, on the one hand, opened a window of opportunities for the Russian developers, but, on the other hand, challenged them with a difficult task to create a domestic full-featured MGIS in the shortest time possible, i.e. within 2-3 years.

Ключевые слова: mining and geological information systems, geological modeling, surface mine design, ore mine design, mine planning, CAD, mine surveying, digitalization of mining operations

Для цитирования: Nagovitsyn O.V., Lukichev S.V. History of development of the Russian mining and geological information systems. *Russian Mining Industry*. 2024;(5):46–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-46-51>

Введение

История применения компьютерных технологий в горном деле имеет более чем 50-летнюю историю [1–5]. В самом начале (1960–1970 гг.) работы в этой области были посвящены вопросам: моделирования месторождений статистическими методами; способам машинного представления горно-геологической информации; алгоритмам моделирования карьеров, подземных рудников и технологических процессов; оптимизации границ карьеров [6]; определения режима горных работ [7]; решения задач горно-геометрического анализа и выбора главных параметров карьеров [8; 9]. В те годы начало складываться представление о том, какое место занимают компьютерные методы решения задач горной технологии при добыче полезных ископаемых (ПИ), были созданы первые автоматизированные системы управления (АСУ) на горных предприятиях [10; 11]. И если первые попытки использования электронно-вычислительных машин (ЭВМ) ограничивались единичными решениями частных задач, то к настоящему времени проникновение компьютерных технологий в практику горного дела стало повсеместным – от геологоразведки и горного производства до переработки минерального сырья. Во многом этот процесс следовал тенденциям развития средств вычислительной техники, математического и алгоритмического аппарата решения задач аналитической геометрии, теории графов, методов оптимизации, линейного и динамического программирования, машинной графики, систем управления базами данных (СУБД).

Разработка горных САПР в СССР

Уже к началу 1980-х годов сформировались основные направления развития цифровых методов решения задач горной технологии, проявились тенденции к интегрированным решениям, объединяющим на единой информационной основе решение таких задач, как: геологическое моделирование и подсчет запасов ПИ, маркшейдерское обеспечение, проектирование и планирование горных работ, контроль и управление технологическими процессами.

В период с начала по конец восьмидесятых годов XX в. в СССР было реализовано несколько отраслевых программ по созданию систем автоматизированного проектирования (САПР) для горнодобывающей отрасли. Работы в основном проводились в исследовательских, проектных институтах горного профиля и вузах: Южгипрошахт, Гипроруда, ИПКОН, Гипроникель, ВИОГЕМ, Унипромедь, СГИ, ВНИИцветмет, Казгипроцветмет, КазПТИ, Институт кибернетики АН УзССР, ИГД УрО АН СССР, ИГД АН КазССР, Криворожский горнорудный институт, Кузбасгипрошахт, Сибгипрошахт [12–17].

Тогда же были предложены несколько классификаций моделей месторождений [18–20], начали формироваться методы имитационного моделирования технологических процессов, были разработаны основные принципы построения систем автоматизированного планирования горных работ, предложены способы построения моделей пластовых месторождений, методы и алгоритмы решения горно-геометрических задач. Были сделаны первые попытки решения оптимизационных задач с использованием цифровых моделей месторождений, нашедших применение в задачах перспективного, текущего и оперативного планирования горных работ. Рассматривались общие вопросы теории построения САПР открытых и подземных горных работ.

В те же годы появились первые учебные пособия, в кото-

рых приводились сведения о принципах организации, средствах и методах САПР карьеров [19; 21]. В них были изложены вопросы теории математического описания горно-геометрических объектов и приведены основы машинной графики применительно к решению горных задач. Рассматривались конкретные примеры применения программных средств для горно-геометрического анализа этапов разработки месторождений различного минерального сырья с разными условиями залегания, решения задач автоматизированного проектирования буровзрывных работ (БВР) и транспортных коммуникаций, планирования отвальных работ и технико-экономической оценки проектных решений. Вопросам автоматизации управления, использования вычислительной техники для поиска оптимальных решений были посвящены разделы учебников горного дела [22; 23]. К сожалению, в дальнейшем появилось не так много учебных пособий, освещающих проблематику цифровой трансформации горного производства. Среди них можно упомянуть [24–26], в которых даны основные понятия и теоретические основы геоинформатики горного производства, описаны функциональные возможности существовавших на то время программных продуктов, рассмотрены отдельные аспекты моделирования горно-геологических объектов, приведены примеры решения некоторых задач горной технологии с помощью различных прикладных программ.

Проблемы и тенденции развития горного программного обеспечения

Достижения зарубежных исследователей и горнодобывающих предприятий в области применения компьютеров и систем управления были обобщены в [27], где рассмотрены геостатистические методы подсчета запасов ПИ, приведены примеры проектирования и планирования горных работ, АСУ горного производства.

В конце 1980-х – начале 1990-х годов было проведено несколько научно-технических совещаний и конференций, изданы труды, отдельные монографии [28–31], которые фактически подвели итоги советского этапа развития геоинформационных систем в горном деле. Состояние САПР горного производства на тот момент отражено в [15], где отмечалось, что уровень оснащения средствами вычислительной техники растет за счет использования ЭВМ серии СМ, но развитых САПР в отраслях горного производства нет. Оснащение средствами для обработки графической информации недостаточно, программное обеспечение (ПО) представлено отдельными разработками и создается разрозненными группами или специалистами, нет унификации ПО, единой терминологии и доступной документации. В научных исследованиях работы по геоинформатике и автоматизации заняли достойное место, однако не достигли уровня, необходимого для обеспечения научно-технического прогресса на горных предприятиях. Было отмечено малое количество защит кандидатских и докторских диссертаций по разработке САПР горного производства. Отмечался низкий уровень математизации и слабость теоретической базы, а также примитивность математических моделей, что приводило к разработке алгоритмов и программ низкого качества.

Более конкретно проблемы, с которыми столкнулись разработчики и пользователи систем автоматизированного проектирования и планирования горных работ, охарактеризованы в [32]. Среди множества причин низкой эффективности использования вычислительной техники были выделены следующие:

1. Нет единых принципов в организации АСУ, и, как следствие – применяются различные типы ЭВМ, что вызывает несовместимость большей части ПО.

2. Отсутствуют средства связи и устройства, позволяющие осуществить информационную связь даже на уровне Рудник-ГОК.

3. Отсутствуют устройства, регистрирующие и собирающие информацию непосредственно на машинных носителях.

4. Сосредоточение ЭВМ на уровне управления ГОКами обуславливает незаинтересованность в компьютеризации работы основных исполнителей на рудниках.

5. Нет унифицированного представления результатов геолого-технологических исследований (например, объемных моделей).

6. Не ведутся работы по формированию баз данных (БД), ориентированных на единую идеологию работы с информацией. Практически все организации, занимающиеся САПР горных работ, используют различные типы СУБД.

7. Отсутствует преемственность в формировании БД геологоразведкой и её последующего использования проектировщиками и производственниками.

Основной проблемой, приведшей к недостаточной эффективности внедрения компьютерных технологий на тот период, стало сочетание п. 2 и п. 4. Крайний дефицит и неразвитость технических средств на рабочих местах усугубились отсутствием ПО, решающего задачи так, чтобы можно было говорить о хоть каком-то преимуществе компьютерных технологий. Отсутствие возможности пополнять исходную информацию «снизу» приводило к неэффективной работе тех немногих автоматизированных систем, которые внедрялись на уровне ГОКов.

Советскими теоретиками и разработчиками САПР было совершенно упущено бурное развитие персональных компьютеров, начавшееся в начале 1980-х годов в США, странах западной Европы, Японии. Во многом это было обусловлено геополитическим противостоянием и санкционным давлением, проявившимся в виде ограничений на поставки высокотехнологического оборудования в СССР со стороны западных государств. Вследствие этого важной проблемой для развития горного САПР стало недостаточное внимание к разработке интерактивных графических программ класса «электронного кульмана», позволяющих выполнять элементарные чертежные операции, автоматизирующие, с одной стороны, формирование графической документации и, с другой, облегчающие процесс построения геометрических моделей, составляющих основу для продвинутой оптимизационных алгоритмов всего многообразия задач проектирования, планирования и управления горными работами. Контраст между неразвитостью элементарных графических инструментов и далеко продвинувшимся фронтом теоретических исследований в области оптимизационных алгоритмов и расчетов был характерен не только для горных САПР, но, в общем, для большинства отраслей народного хозяйства, разрабатывающих и применяющих средства автоматизированного проектирования в СССР¹.

Переход на персональные компьютеры и ГГИС

Преодолеть вышеуказанные противоречия смогло только массовое появление персональных компьютеров в середине 1990-х годов, однако к этому времени практически все прежние наработки в области САПР и АСУ горных работ

были потеряны в процессе распада СССР, угасания проектных и исследовательских организаций горного профиля, прекращения финансирования и закрытия отраслевых программ по разработке САПР. Многие научные коллективы, занимавшиеся этой тематикой, распались, поэтому практически все современные разработки в области автоматизированного проектирования и планирования горных работ были инициированы новыми, постепенно формируемыми коллективами разработчиков. Тогда же вместо термина САПР в употребление вошёл термин Горно-геологические информационные системы (ГГИС), который более точно передавал функциональную направленность ПО данного класса. К таким ГГИС, получившим развитие на постсоветском пространстве, можно отнести MINEFRAME, GEOMIX, K-MINE, САМАРА.

Вместе с персональными компьютерами горнякам и геологам стали доступны и зарубежные ГГИС. Однако иностранные ГГИС в начале появления на российском рынке с трудом находили применение из-за своей дороговизны, высоких требований к квалификации персонала, проблем с русификацией интерфейсов программ и неприспособленностью к реалиям горного производства стран бывшего СССР. Поэтому наиболее массовое применение в 1990-е получили программы общего назначения, такие как электронные таблицы (Lotus 1-2-3, Quattro Pro, MS Excel), текстовые редакторы (WordPerfect, AmiPro, MS Word), чертежные программы (AutoCAD, Microstation, CorelDraw). Чуть позже ограниченное применение получили программные средства класса географических информационных систем (ГИС)² [33; 34], на платформе которых отдельные коллективы разработчиков создавали инструменты решения задач горной технологии. Преобладающим стало применение персональных компьютеров с операционной системой MS Windows, что во многом решило проблемы совместности ПО, а появление развитого сетевого ПО облегчило взаимодействие и обмен данными, что частично сняло проблемы передачи информации между инженерными подразделениями карьеров, рудников и шахт. Подробно подходы к моделированию и применение информационных технологий того времени в практике проектирования и планирования горных работ описаны в [24].

Достаточно продолжительный период времени (начиная с 1970-х годов) горные предприятия и проектные организации предпринимали попытки разработки ПО своими силами для решения собственных производственных задач. Можно констатировать, что практически все крупные горнодобывающие предприятия имели группы разработчиков ПО или финансировали такие разработки. В качестве примера можно привести: систему геолого-маркшейдерского обеспечения НПО «Джезказганцветмет» [35], в рамках которой была создана «геоматематическая» модель месторождения, позволяющая формировать варианты набора эксплуатационных блоков при планировании горных работ; комплекс прикладных программ ФОСФОРИТ-80, предназначенных для горно-геометрического анализа пластовых сложноструктурных месторождений большой протяженности (фосфоритовое месторождение Каратау) [19]; САПР «Подземный рудник», разработанный Читинским филиалом «Гипроцветмета» и предназначенный для автоматизированного расчета технико-экономического обоснования (ТЭО) кондиций [36]; САПР «Транспорта подземных

¹ Пристрастные заметки о русских разработчиках САПР. Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/nanosoft/blog/234221/> (дата обращения: 04.09.2024).

² Практический опыт применения ГГИС в горном деле. Режим доступа: http://www.esri-cis.ru/upload/iblock/903/Mining_BestPractice_RUS.pdf (дата обращения: 05.09.2024)

рудников», которая была разработана в КазПТИ и включала в себя модули для расчета параметров электровозного, конвейерного и самоходного транспортов [37]. Для комбината «Апатит» силами Горного института КФ АН СССР и ИПКОН АН СССР велись разработки в области имитационного моделирования вариантов развития горных работ на подземных рудниках [38]. Со временем пришло понимание, что разработка для предприятия собственного ПО класса ГИС является крайне сложным и долгим процессом, требующим больших финансовых затрат, которые могут окупиться только в случае превращения его в самостоятельный коммерческий продукт, востребованный рынком. В силу этого такие разработки были практически везде свернуты, а горнодобывающие предприятия и проектные организации сделали ставку на ПО компаний-разработчиков ГИС. К сожалению, на рынке ГИС к этому времени сложилось подавляющее преобладание зарубежных программных продуктов, которое продолжалось вплоть до последнего времени, когда под давлением санкций многие иностранные компании-разработчики ГИС стали уходить из России. Следует отметить, что немногочисленным российским разработкам сложно было конкурировать с зарубежными в силу менее развитой функциональности, что, в свою очередь, объясняется ориентацией горной промышленности (в особенности крупных горнодобывающих предприятий) на импортные технологии и слабой финансовой поддержкой российских разработчиков.

В середине 2000-х появились примеры внедрения отечественных ГИС, когда на уровне управлений горных предприятий действовали вычислительные центры, сосредоточившие вычислительные мощности для обработки и хранения данных, а связь с рабочими местами на рудниках осуществляется посредством локальных и глобальных сетей [39]. Применение клиент-серверных и появившихся облачных технологий в принципе размывает подчиненность связи «рудник-управление», предоставляя каждому рабочему месту средства доступа к данным и выполнения специализированных вычислительных задач, решая таким образом проблему совместной работы специалистов.

После почти двадцатилетнего перерыва (с конца 1980-х) в 2008 г. на Всероссийской научной конференции с международным участием «Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ» в г. Апатиты собрались специалисты, заинтересованные в тематике цифровой трансформации горнодобывающей отрасли³. С этого времени такие встречи стали регулярными и проходили в Екатеринбурге⁴ и Белгороде⁵, Санкт-Петербурге и продолжают проходить в Горном институте КНЦ РАН с периодичностью раз в два года. Конференции освещают современный уровень цифровой трансформации горного производства, результаты теоретических и прикладных исследований в области моделирования объектов горной технологии, использования отечественных и зарубежных разработок в практике проектирования, планирования и ведения горных работ, геомеханического моделирования при разработке месторождений в сложных горно-геологических условиях.

³ Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ: сб. тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, 23–26 сент. 2008 г. Апатиты; СПб.: Реноме; 2009. 328 с.

⁴ Информационные технологии в горном деле: доклады Всерос. науч. конф. с междунар. участием, 12–14 октября 2011 г. Екатеринбург: ИГД УрО РАН; 2012. 238 с.

⁵ Материалы 12-го Международного симпозиума «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях». Белгород: ГУП ВИОГЕМ; 2013.

В целом мировое состояние исследований в области информационных технологий горного дела можно проследить по тематике нескольких международных и российских симпозиумов – APCOM (International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry); «Mines and Technology»; MINEX; «Future of Mining»; конференции, проводимые The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (The AusIMM). В качестве примера можно привести тематику симпозиума APCOM. Его история насчитывает более 50 лет, и на сегодня он является местом для представления новых алгоритмов, технических решений и идей, посвященных оптимизации процессов горного производства. На симпозиуме освещаются как традиционные темы, такие как планирование и проектирование горных работ, геостатистическая оценка минеральных ресурсов, учет факторов неопределенности и количественной оценки рисков новых проектов, так и исследования в области разработок интернета вещей, использования больших данных, нейронных сетей и машинного обучения, автономного горнотранспортного оборудования и многое другое. Такие разработки не только показывают современное состояние исследований в области горных информационных технологий, но обозначают тенденции их развития.

Заключение

Если возвратиться к проблемам цифровой трансформации российской горнодобывающей отрасли, где ГИС являются ключевым элементом, ответственным за формирование цифрового пространства ведения горных работ, то можно отметить следующее:

1. Уход с российского рынка импортных ГИС, которые занимали до 95% от стоимости всех продаж создал, с одной стороны, проблемы для предприятий, строивших свои цифровые технологии на импортном ПО, но, с другой стороны, открыл окно возможностей для отечественных разработчиков.
2. Широкое использование импортных ГИС с развитым функционалом установило достаточно высокую планку для российского ПО, предлагаемого в качестве импортозамещения.
3. Время перехода на российские ГИС крайне ограничено в силу того, что на сегодня ПО для большинства предприятий является неотъемлемой частью процесса инженерного обеспечения и управления горными работами.
4. Разнообразие горно-геологических условий освоения месторождений твердых ПИ и разные масштабы производства для разных предприятий требует высоких адаптивных возможностей ГИС.

Таким образом, перед российскими разработчиками ГИС стоит задача – в течение 2–3 лет предложить горнодобывающим предприятиям, проектным и геологоразведочным организациям ПО с функциональностью как минимум не ниже зарубежного ПО. С учётом необходимости догонять импортных разработчиков необходимо использовать вариант интенсивного развития ГИС, обеспечивающий высокие темпы развития функционала ПО, что само по себе является достаточно сложной задачей.

История формирования рынка специализированного горного ПО, представленная в статье, показывает, что несмотря на существенные научные заделы в области цифровизации ориентация только на импортные технологии приводит к недофинансированию и отставанию отече-

ственных разработок. В связи с этим важную роль, особенно на данном этапе, играют предприятия, готовые на основе долгосрочных программ и под свои задачи обеспечить финансирование, а значит и развитие отечественных разработок. В качестве примера такого сотрудничества

можно привести стратегическое партнерство АК «АЛРОСА» и ООО «Лаборатория МАЙНФРЭЙМ», в рамках которого ведется работа по переводу рудников и подразделений крупнейшего горнодобывающего холдинга России на отечественную ГИС MINEFRAME.

Список литературы / References

1. Хохряков В.С. Технико-экономические основы создания математической модели карьера. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 1963;(11):59–63.
Khokhryakov V.S. Technical and economic foundations of creating a mathematical model of an open pit mine. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 1963;(11):59–63. (In Russ.)
2. Ржевский В.В. (ред.). *Опыт применения современных математических методов и ЭВМ в планировании и проектировании открытых горных работ*. М.: ЦНИЭИуголь; 1967. 71 с.
3. Винницкий К.Е., Реентович Э.И. *Применение математических методов при проектировании карьеров*. М.: ЦНИЭИуголь; 1968. 113 с.
4. Матерон Ж. *Основы прикладной геостатистики*. М.: Мир; 1968. 408 с.
5. Симкин Б.А., Шкута Ю.К. *Аналитическое моделирование месторождений и их открытой разработки*. М.: Наука; 1976. 152 с.
6. Lerchs H., Grossmann I.F. Optimum design of open-pit mines. *Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy*. 1965;68:17–24.
7. Хохряков В.С., Ткачев А.Ф. Аналитическое исследование режима горных работ с применением вычислительных машин. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 1964;(1):36–40.
Khokhryakov V.S., Tkachev A.F. Analytical studies of mining operations mode using computing machines. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 1964;(1):36–40. (In Russ.)
8. Васильев Е.И., Танайно А.С. Использование ЭВМ для решения горно-геометрических задач открытых горных работ. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 1977;(3):48–57.
Vasiliev E.I., Tanayno A.S. Use of computers to solve mining geometrical problems for open-pit mining operations. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopaemykh*. 1977;(3):48–57. (In Russ.)
9. Квитка В.В., Левин Е.Л. Моделирование открытых горных работ в подсистеме выбора главных параметров полиметаллических карьеров. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 1978;(11):3–5.
Kvitka V.V., Levin E.L. Modeling of open-pit mining operations as a subsystem for selecting the main parameters of polymetallic open pits. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 1978;(11):3–5. (In Russ.)
10. Табакман И.Б. *Принципы построения АСУ на карьерах*. Ташкент: Фан; 1977. 140 с.
11. Астафьев Ю.П., Давидкович А.С., Бевз Н.Д. и др. *Автоматизация планирования горных работ на железорудных карьерах*. М.: Недра; 1982. 280 с.
12. Грищенко С.П., Корнеев В.П., Воловик П.Н. Подсистема «Горно-технологический комплекс» в «САПР-Уголь». В кн.: Ракишев Б.Р. (ред.). *Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания, 24–27 сент. 1987 г.* Алма-Ата: КазПТИ; 1987. Ч. 1. С. 15–16.
13. Цой С.В., Торшин Г.Г., Молдахметов А.Б. Диалоговый вариант подсистемы «САПР-Вентиляция». В кн.: Ракишев Б.Р. (ред.). *Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания, 24–27 сент. 1987 г.* Алма-Ата: КазПТИ; 1987. Ч. 1. С. 61–63.
14. Каплунов Д.Р., Малышев В.А., Кремер В.П., Помельников И.И. Оценка горнотехнических возможностей подземных рудников в условиях автоматизации проектных расчетов. В кн.: Ракишев Б.Р. (ред.). *Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания, 24–27 сент. 1987 г.* Алма-Ата: КазПТИ; 1987. Ч. 1. С. 67–69.
15. Хохряков В.С. Геоинформатика. В кн.: Ракишев Б.Р. (ред.). *Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания, 24–27 сент. 1987 г.* Алма-Ата: КазПТИ; 1987. Ч. 2. С. 6–8.
16. Букейханов Д.Г. Автоматизированное проектирование горных работ в «САПР-ОГТ». В кн.: Ракишев Б.Р. (ред.). *Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания, 24–27 сент. 1987 г.* Алма-Ата: КазПТИ; 1987. Ч. 2. С. 12–13.
17. Грицай А.Л., Соловьева В.М., Румянцева О.Н. Совершенствование алгоритма определения направления развития горных работ на основе пространственной модели развития карьера. В кн.: Ракишев Б.Р. (ред.). *Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания, 24–27 сент. 1987 г.* Алма-Ата: КазПТИ; 1987. Ч. 2. С. 53–54.
18. Грицай А.Л. Основы классификации моделей месторождений. В кн.: Мельников Н.В. (ред.). *Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьере*. Л.: Наука; 1981.
19. Хохряков В.С., Неволин Г.А., Корнилков С.В., Андрейчик В.В., Каплан В.М. *Автоматизированное проектирование карьеров*. М.: Недра; 1985. 263 с.
20. Танайно А.С. *Автоматизация проектирования карьеров. Горно-геометрические расчеты*. Новосибирск: Наука; 1986. 193 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/23926> (дата обращения: 04.09.2024).
21. Ершов В.В., Дремуха А.С., Трость В.М., Зуй В.Н., Бедрина Г.П. *Автоматизация геолого-маркшейдерских графических работ*. М.: Недра; 1991. 347 с.

22. Ржевский В.В. *Открытые горные работы*. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Недра; 1985. 549 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/17740> (дата обращения: 04.09.2024).
23. Ганицкий В.И., Даянц Д.Г., Бурштейн М.А. *Организация и управление горным производством*. М.: Недра; 1991. 368 с.
24. Хохряков В.С. (ред.). *Введение в геоинформатику горного производства*. 2-е изд. Екатеринбург: Издательство УГГА; 2001. 198 с.
25. Поротов Г.С. *Математические методы моделирования в геологии*. СПб.: СПбГИ (ТУ); 2006. 223 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-matematicheskie-metody-modelirovaniya-v-geologii-gsporotov-2006.pdf> (дата обращения 04.09.2024).
26. Дьяконов В.В., Жорж Н.В. *Геоинформационные технологии разведки и поиска месторождений полезных ископаемых неосвоенных территорий*. М.: РУДН; 2008. 163 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-geoinformacionnye-tehnologii-razvedki-i-poiska-mestorozhdeniy-poleznyh-iskop.pdf> (дата обращения: 04.09.2024).
27. Астафьев Ю.П., Зеленский А.С., Горлов Н.И. и др. *Компьютеры и системы управления в горном деле за рубежом*. М.: Недра, 1989. 263 с.
28. Ракишев Б.Р. (ред.). *Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания, 24–27 сент. 1987 г.* Алма-Ата: КазПТИ; 1987. Ч. 2. 157 с.
29. Табакман И.Б., Турецкий А.З. *Имитационно-оптимизационные методы планирования работ в карьерах*. Ташкент: Фан; 1991. 116 с.
30. Малышев В.А. *Моделирование плана горных работ при подземной добыче руд*. М.: ИПКОН АН СССР; 1988. 108 с.
31. Чаплыгин Н.Н. (ред.) *Имитационное моделирование горного производства: сб. науч. тр.* Апатиты: КНЦ АН СССР; 1990. 117 с.
32. Генкин Ю.Б., Борцов В.Д., Наумов В.П., Назаров В.Н. Принципы организации I очереди АСУКР подсистемы «Геология». В кн.: *Перспективные направления научно-технического прогресса в горном производстве: сб. науч. тр.* Усть-Каме-ногорск: ВНИИцветмет; 1991.
33. Трубецкой К.Н., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Геоинформационные системы в горном деле. *Вестник отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук Российской академии наук*. 1998;(3). Режим доступа: https://masters.donntu.ru/2008/ggeo/shakiryanova/library/2_files.htm (дата обращения: 04.09.2024).
Trubetskoy K.N., Klebanov A.F., Vladimirov D.Ya. Geoinformation systems in mining. *Vestnik Otdeleniya Geologii, Geofiziki, Geokhimii i Gornykh Nauk Rossiiskoi Akademii Nauk*. 1998;(3). (In Russ.) Available at: https://masters.donntu.ru/2008/ggeo/shakiryanova/library/2_files.htm (accessed: 04.09.2024).
34. Игнатов Ю.М. *Геоинформационные системы в горном деле*. Кемерово: КузГТУ; 2012. 205 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-geoinformatsionnyesistemuyvornomdeleyumi.pdf> (дата обращения: 04.09.2024).
35. Лаврентьев И.Г. Автоматизированная система геолого-маркшейдерского обеспечения горного производства. В кн.: *Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников: материалы Всесоюз. науч.-техн. конф.* М.: МГИ; 1990. С. 163–164.
36. Свирский М.А., Витковский И.И., Ботвинник В.М., Скорик Г.П. Опыт и перспективы развития САПР «Подземный рудник». В кн.: *Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников: материалы Всесоюз. науч.-техн. конф.* М.: МГИ; 1990.
37. Спицын А.Д., Столповских И.Н., Маркова Л.Н., Алферова Т.А. САПР – транспорта подземных рудников. В кн.: *Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников: материалы Всесоюз. науч.-техн. конф.* М.: МГИ; 1990. С. 197–198.
38. Каплунов Д.Р., Малышев В.А. *Методика автоматизированного формирования и выбора вариантов развития горных работ на подземных рудниках ПО «Апатит»*. М.: ИПКОН АН СССР; 1986. 47 с.
39. Наговицын О.В., Корниенко А.В., Баков В.П. Автоматизация решения задач горной технологии в едином информационном пространстве. В кн.: *Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, 23–26 сент. 2008 г.* Апатиты; СПб.: Реноме; 2009. С. 188–194.

Информация об авторах

Наговицын Олег Владимирович – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-0115-841>; e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru

Лукичев Сергей Вячеславович – доктор технических наук, директор Горного института Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-2944-1913>; e-mail: s.lukichev@ksc.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 08.09.2024

Поступила после рецензирования: 10.10.2024

Принята к публикации: 11.10.2024

Information about the authors

Oleg V. Nagovitsyn – Dr. Sci. (Eng.), Chief Research Associate, Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-0115-841>; e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru

Sergey V. Lukichev – Dr. Sci. (Eng.), Director, Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-2944-1913>; e-mail: s.lukichev@ksc.ru

Article info

Received: 08.09.2024

Revised: 10.10.2024

Accepted: 11.10.2024