

УДК 081:001:622

О ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМАХ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ РОССИИ В ТРУДАХ АКАДЕМИКА Н. Н. МЕЛЬНИКОВА

В. Н. ОПАРИН, зав. отделом экспериментальной геомеханики, член-корр. РАН, oparin@misd.ru

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия

Тема настоящей статьи – это название для отдельной большой книги (которую, уверен, напишут), и такой труд, как правило, сопровождает уход из жизни творцов Большой науки. Академик Николай Николаевич Мельников относился к когорте естествоиспытателей в горном деле: одном из древнейших видов деятельности человека на Земле, которому предстоит оставаться в качестве одного из важнейших и «до скончания веков». Летопись их бытия, как творцов науки, по существу отражается в опубликованных ими научных трудах – книгах, статьях, изобретениях, открытиях и т. д. Они отражают и «кирпичики» нового знания, и их полезность в строительстве нашего бытия, и круг коллег-«строителей»...

Как известно, понятие «фундамент» – инженерное по своей сути. Это то, на что можно «опереться» при строительстве чего-либо «сооружения». Неважно какого – духовного или материального. В этом смысле общее понимание роли горных наук как фундамента в стратегии развития горного дела и недропользования привело к тесному профессиональному сотрудничеству с Н. Н. Мельниковым *на принципах: пересечение – в главном и дополнение – в существенном. Главным* здесь для нас было отмеченное выше «*общее*»; а вот *существенным* – значительно отличающиеся по регионам России *объекты недропользования*.

Воплощение отмеченных принципов в опыте личного сотрудничества автора настоящей статьи с академиком Н. Н. Мельниковым нашло в совместных трудах, тематически связанных с названием настоящей статьи [1–4]. Работы [1–11] – это преимущественно монографии, по которым можно оценить многогранную научную, научно-организационную и выдающуюся в плане практических приложений в горном деле деятельность академика Н. Н. Мельникова в большой команде талантливых и творческих ученых, инженеров и специалистов самого широкого профиля. Во многом они отражают фундаментальные проблемы недропользования России, общие для развития горных наук.

В современных условиях крупномасштабного горного производства с монотонным ростом средних глубин осваиваемых горизонтов [1] месторождений полезных ископаемых различного вида, разнообразия горно-геологических и природно-климатических условий их эффективную разработку уже невозможно представить без экспериментально-теоретических исследований в области геомеханики. Технологические воздействия на породные массивы обычно сопровождаются их «обратной» реакцией в виде индуцированных сейсмособытий или катастрофических проявлений горного давления. Без глубокого понимания

Отмечена выдающаяся роль академика Н. Н. Мельникова – научного лидера и крупного организатора горных наук России в стратегии развития горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: фундаментальные проблемы эффективного и безопасного недропользования, открыто-подземные геотехнологии, геомеханические, геофизические, сейсмологические задачи.

физики и геомеханики формирующихся очаговых зон концентрации напряжений и соответствующего инструментария мониторингового контроля практически невозможно осуществлять необходимые меры профилактики подобного рода деструктивных проявлений подземной стихии, несущих с собой не только технологический ущерб, но и человеческие жертвы. Этот фундаментальный характер профессиональных интересов [5] всегда находился в фокусе особого внимания Н. Н. Мельникова и его коллег.

Его понимание необходимости фундаментальных исследований в горном деле гармонично сочеталось с прикладными аспектами получаемых научных знаний и потребностями одного из крупнейших горно-промышленных комплексов России, расположенном на Кольском полуострове. Ниже кратко отмечены лишь некоторые проблемы, в решение которых значительный вклад внес Н. Н. Мельников и его коллеги.

Так, работа Н. Н. Мельникова, Ю. А. Епимахова и Н. Н. Абрамова [6] посвящена развитию научных основ интенсификации возведения большепролетных подземных сооружений в прочных скальных массивах с использованием массовых взрывов как скважинных, так и шпуровых зарядов, а также с применением различных видов облегченных крепей. Эта научная проблема естественным образом связана с освоением подземных пространств, в том числе и образуемых в результате подземных работ при освоении месторождений полезных ископаемых как естественной среды размещения объектов различного, в частности оборонного, назначения. Такие потребности ныне существуют в атомной промышленности, гидроэнергетике, при создании крупных нефте-и газохранилищ, хранилищ для радиоактивных отходов и отходов вредного производства, большепролетных подземных транспортных систем и др.

Работа Н. Н. Мельникова, В. П. Конухина, В. А. Наумова и др. посвящена актуальным научным и инженерно-техническим вопросам безопасного хранения и захоронения радиоактивных материалов на европейском Севере России (Мурманская и Архангельская области), в том числе отработавшего ядерного топлива атомных ледоколов и подводных лодок, что связано с необходимостью изучения и моделирования сложных геомеханических и физических процессов, включая диффузионные и тепловые процессы [7].

Специалистами Горного института КНЦ РАН под руководством академика Н. Н. Мельникова выполнено обоснование

концептуальных положений подземного размещения атомных станций малой мощности. Разработан алгоритм оценки и выбора площадок для их размещения в приповерхностных геологических формациях скальных и многолетнемерзлых пород [8].

В монографии Н. Н. Мельникова, П. В. Амосова, С. Г. Климина, Н. В. Новожиловой представлены результаты исследований по проблеме потенциального воздействия на природную среду подземной многомодульной атомной станции малой мощности в арктических условиях. Выполнена оценка теплового воздействия на вмещающий массив многолетнемерзлых пород в условиях нормальной эксплуатации с учетом фазового перехода «лед–вода» [9].

Работа Н. Н. Мельникова и А. И. Калашника посвящена важным геомеханическим аспектам разработки шельфовых месторождений Баренцева моря на примере Штокмановского газоконденсатного месторождения [10]. Здесь, пожалуй впервые, не только сформулированы новые подходы к геоинформационному геомеханическому обеспечению безопасной и эффективной добычи и транспортирования нефти и газа, но и проиллюстрированы результаты моделирования изменения напряженно-деформированного состояния вмещающих продуктивные толщи массивов горных пород. Предложенная авторами концепция геодинамического мониторинга объектов добычи, хранения и состояния трубопроводного транспортирования углеводородного сырья, очевидно, уже в недалеком будущем получит свое воплощение.

Отмеченные выше некоторые примеры научного вклада академика Н. Н. Мельникова и его коллег свидетельствуют о его умении и желании решать актуальные проблемы горных наук с последующим практически значимым воплощением в горное дело, широте и глубине его познаний.

Автор настоящей статьи нередко опирался на эти качества Н. Н. Мельникова в своей научной и научно-организационной деятельности, в том числе и при подготовке к изданию монографий, по которым Николай Николаевич принимал на себя ответственность научного редактора. Среди них – недавно вышедшая в свет монография [4], которая является итогом выполнения в 2012–2014 гг. комплексного интеграционного проекта Сибирского отделения РАН «Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горно-технических и природных системах». Кроме того, в монографию вошли материалы исследований в последующие (2014–2017) годы, а также стартовые результаты работ по гранту Российского научного фонда № 17-17-01282 (руководитель – член-корр. РАН В. Н. Опарин).

Эта последняя монография под редакцией академика Н. Н. Мельникова посвящена проблеме снижения риска техногенных и природных катастроф. Ее авторами являются основные исполнители интеграционного проекта и представители академических организаций и высших учебных заведений России, Республики Беларусь, Казахстана и Киргизской Республики, которые проводят исследования в области теоретической и экспериментальной геомеханики. Представлен капитальный труд больших коллективов ученых разных специальностей и научных дисциплин, возглавляемых их лидерами из Института горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, Горного институт Кольского научного

центра РАН (А. А. Козырев), Института динамики геосфер РАН (В. В. Адушкин), Института земной коры СО РАН (С. И. Шерман), Института угля СО РАН (Г. Я. Полевщиков), Института вычислительных технологий СО РАН (Ю. И. Шокин, В. П. Потапов), Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (В. Ю. Гаврилов), Горного института (А. А. Барях) и Института геофизики (О. А. Хачай) УрО РАН, Геофизических служб СО РАН (А. Ф. Еманов) и РАН (А. А. Маловичко), Института горного дела ДВО РАН (И. Ю. Рассказов), Института горного дела Севера СО РАН (А. С. Курилко), ВНИМИ (Д. В. Яковлев), Института геомеханики и освоения недр НАН Киргизии (К. Ч. Кожогулов), Белорусского государственного университета (М. А. Журавков), Томского политехнического университета геосистем и технологий (А. И. Каленицкий) и др.

В настоящее время деятельность горнодобывающих предприятий связана с обработкой месторождений на все более глубоких горизонтах. Интенсивность ежегодного увеличения глубины горных работ в мире достигает 10–30 м. В результате совместного воздействия современных геодинамических движений и интенсивной техногенной деятельности происходят разрушения объектов на горных предприятиях, крупнопролетных и высотных наземных сооружений, мостов, плотин и подземных транспортных объектов, магистральных нефтегазопроводов, теплотрасс, инженерных коммуникаций городской инфраструктуры и других объектов, для которых массив горных пород и земная поверхность являются либо основанием, либо вмещающей средой. Крупномасштабное воздействие горнодобывающей промышленности на верхнюю часть литосферы не ограничивается только изъятием из земных недр и перемещением огромных объемов горной массы, нефти, газа и воды. В результате техногенного воздействия инициируются огромные потоки энергии в геофизической среде. Возникающие при этом диссипативные структуры обуславливают появление неустойчивых состояний в геологическом массиве, которые реализуются в виде различного рода техногенных катастроф, наиболее опасными среди них являются техногенные землетрясения.

В России в настоящее время зарегистрированы 34 удароопасных рудных месторождения. К удароопасным и выбросоопасным отнесены месторождения, расположенные на территориях Кузбасса, Урала, Кольского полуострова, Норильского горнопромышленного региона, Приморского края, Ростовской области, Печорского бассейна, Алтае-Саянской области. Можно привести много примеров крупных разрушительных событий при выполнении подземных горных работ. В их числе мощный (с энергией $5 \cdot 10^9$ Дж) горно-тектонический удар в 1985 г. на Североуральском бокситовом руднике и особо мощный – на руднике «Умбозеро» АО «Севередмет» в 1999 г., вызвавший землетрясение магнитудой 4–4,4, или энергией 10^{11} – 10^{12} Дж. Крупнейшее за весь период геодинамических наблюдений динамическое событие (мощностью 140 кДж) зафиксировано в 2005 г. на руднике «Октябрьский» в г. Норильске. Техногенные землетрясения в геосреде имеют место и при заполнении водохранилищ [Х. Гупта, Б. Растоги, 1979]. Самое сильное землетрясение магнитудой 6,5 произошло в 1967 г. вблизи плотины на р. Койна (Индия). Сильные плотинные землетрясения магнитудой 5,1–6,3 имели место в Греции, Китае, США, Египте и других странах.

С каждым десятилетием в мире наблюдается устойчивая тенденция роста числа природных и техногенных катастроф, разрушительных для хозяйственных систем и наносящих им экономический ущерб. При этом по статистике техногенные аварии происходят в 1,7 раза чаще, чем чрезвычайные ситуации природного характера сопоставимой разрушительной силы. Таким образом, постановка и осуществление исследований по выявлению особенностей и механизмов формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах продолжают оставаться актуальной областью научного познания.

Важнейшим итогом геомеханико-геодинамических исследований минувшего века явилось обнаружение тесной взаимосвязи между глобальными геодинамическими и локальными геомеханическими процессами, обусловленными ведением горных работ, особенно в тектонически активных зонах. Не менее крупным результатом таких исследований [М. А. Садовский, В. Н. Опарин, С. В. Гольдин и др.] явилось также заключение о фундаментальной роли блочно-иерархического строения горных пород и массивов в объяснении возникающих нелинейных геомеханических эффектов и сложных самоорганизующихся геосистем. Некоторые из них дали мощный импульс современному развитию нелинейной геомеханики и геодинамики.

Иерархическая структура характерна для многих систем, особенно для литосферы Земли, где геофизики выделяют более 30 иерархических уровней – от тектонических плит протяженностью в тысячи километров до отдельных минеральных зерен миллиметрового размера. «Таким образом, земная кора представляет собой не сплошную среду, а дискретную систему блоков и, как любой синергетический дискретный ансамбль, обладает свойствами иерархичности и самоподобия» [В. В. Адушкин, Г. Г. Кочарян, А. А. Сливак].

Благодаря теоретическим и экспериментальным результатам, полученным в институтах СО РАН [В. Е. Панин и др.], достигнут новый этап в понимании формирования и развития иерархии структурных уровней деформации в твердых телах. На его основе в геофизике и геомеханике сформировался подход, использующий представления о диссипативных структурах в неравновесных системах [И. Пригожин], согласно которым процессы самоорганизации имеют место на каждом из иерархических уровней. Оказалось, что для решения многих конкретных задач геофизики необходимо ответить на вопросы: каковы механизмы возникновения пространственно-временной упорядоченности в нелинейных средах; существуют ли эффективные способы обнаружения структур и управления процессами в этих диссипативных системах?

Одним из существенных проявлений самоорганизации геологической среды вследствие эволюции ее напряженно-деформированного состояния в природно- и горнотехнических системах является техногенная сейсмичность. Цикличность геофизических процессов в геологической среде и цикличность горного производства, а также наличие триггерных эффектов приводят к тому, что динамические явления в геомеханических пространствах удароопасных рудников и карьеров становятся неизбежными, т. е. геодинамический риск не может быть нулевым. Для обеспечения геодинамической безопасности основные усилия должны быть направлены не на временной прогноз отдельных сильных сейсмических событий, а на локацию энергонасыщенных

участков и оценку уровня их напряженности (критичности), а также разработку способов их нейтрализации, для чего требуется своевременная информация об основных тектонических структурах на месторождении, степени их активности, а кроме того, на каждом удароопасном руднике или карьере необходимо иметь комплексную систему геодинамического мониторинга, что в разной степени реализуется в отечественной и мировой практике.

Накопленный к настоящему времени задел знаний и практический опыт показывают, что чем больше информации о геологии и тектонике месторождения, чем качественнее сделан проект рудника и чем строже его исполняют, чем лучше организуют геодинамический мониторинг и качественно осуществляют противоударную профилактику, тем стабильнее работает предприятие и тем меньше вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций, в том числе горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений.

Авторы монографии [4] обосновывают необходимость изучения процессов, происходящих в земной коре при разработке месторождений полезных ископаемых, исходя из представлений о взаимосвязи между глобальными геодинамическими и локальными геомеханическими процессами, возникающими в ходе выполнения горных работ. В качестве фундаментальной парадигмы таких исследований заложено представление о блочно-иерархическом строении породных массивов, в пределах которых при техногенном воздействии проявляются нелинейные геомеханические эффекты с возникновением сложных самоорганизующихся геосистем.

Монография раскрывает возможности синергетического подхода к решению разнообразных геомеханических, геофизических, сейсмологических и других задач, направленных на снижение риска техногенных и природных катастроф, а также очерчивает круг используемых при этом аналитических и экспериментальных методов исследований.

Монография представлена в двух томах. В первом томе рассмотрены региональные аспекты безопасности ведения горных работ при освоении рудных, угольных и нефтегазовых месторождений. Представлены натурные исследования, касающиеся особенностей движений породного массива в процессе отработки месторождений, комплексной оценки природного напряженного состояния геосреды, анализ условий формирования областей концентрации напряжений и деформаций в породном массиве, механизмов их катастрофического высвобождения.

Число объектов недропользования, охваченных наблюдениями, весьма представительны. Это апатитовые месторождения Кольского полуострова, соляные в Белоруссии и на Урале, нефтегазовые, рудные и угольные месторождения в Сибири, на Дальнем Востоке, включая Якутию и Норильский горнопромышленный комплекс, месторождения Казахстана и Киргизии. Много внимания уделено также угольному Кузбассу.

Читателю предложено познакомиться с рядом представлений, которые, по мнению авторов, должны лечь в основу парадигмы прогнозирования и предотвращения катастрофических динамических явлений в породных массивах при активном на них воздействии. Например, при описании сложных физических процессов необходим переход к нелинейным уравнениям как следствие отказа от принципа суперпозиции частных решений линейных задач

или отказа от линеаризации задачи [О. А. Хачай]. Это обеспечивает неисчерпаемость возможных направлений эволюции диссипативного процесса, а также определяет возникновение в сплошной среде дискретных пространственно-временных масштабов, которые характеризуют свойства нелинейной среды, не зависящие от внешнего воздействия. Нелинейные диссипативные среды могут проявлять внутреннюю упорядоченность, которая характеризуется спонтанным возникновением в них сложных диссипативных структур, в ходе эволюции которых происходит их самоорганизация.

Во втором томе монографии рассмотрены фундаментальные проблемы и новые методы контроля нелинейных геомеханических процессов в горнотехнических и природных системах. Основные его разделы посвящены разработке механико-математических методов моделирования и решению прямых и обратных задач геомеханики; развитию комплексных мониторинговых систем геомеханико-геодинамической безопасности на горнодобывающих предприятиях; постановке новых задач, а также совершенствованию методов и измерительных систем натуральных геомеханических исследований; физическому моделированию геомеханико-геофизических процессов; исследованиям в области волн маятникового типа и постановке актуальных проблем нелинейной геомеханики и геофизики. Заключительные главы этого тома монографии посвящены ключевым проблемам разработки критической для РФ технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Принципиальные аспекты рассмотрены в соответствии с работой [11].

Так, наличие сейсмического фона в земной коре от природных и техногенных источников в условиях синфазности его спектра с колебательным спектром структурных элементов и формирующейся очаговой зоны концентрации напряжений способствует тому, что при определенных условиях очаг может эволюционировать в акустически активное состояние с переходом накопленной упругой энергии в кинетическую энергию составляющих ее структурных элементов в виде нелинейных геомеханических квазирезонансов с сопутствующим излучением продольных, поперечных и маятниковых волн. По-видимому, существенное значение при этом иногда принадлежит проявлению эффекта аномально низкого трения. Впервые установлена формализованная связь между концентрационным критерием прочности твердых тел по С. Н. Журкову, экспериментальным критерием «схлопывания» подземных выработок и каноническим спектром волн маятникового типа по В. Н. Опарину, а также отношением радиуса локальных механических проявлений необратимого характера к радиусу зоны мощного взрывного разрушения массивов горных пород по М. А. Садовскому и В. В. Адушкину. Введено новое понятие сейсмоэмиссионных событий интерференционного типа с энергетическим условием их возникновения, характеризующим вклад геомеханических и геодинамических процессов; впервые обоснован критерий отнесения сейсмособытий к i -му энергетическому классу, устанавливающему прямую связь уровней сейсмозергвыделения с размерами естественных отдельных массивов горных пород в канонической шкале иерархических представлений.

В результате исследований поведения структурных неоднородностей угленосных толщ различной стадии метаморфизма с акцентом

на проявлении «осциллирующих» движений геоблоков различного иерархического уровня (от нано-, микро- и выше) в стесненных условиях в «маятниковом приближении» установлено, что существует тесная связь между нелинейными массо- и газообменными процессами в многофазных напряженных геосредах блочно-иерархического строения с протекающими в них физико-химическими процессами. При этом имеет место эффект «модуляции» низкочастотными деформационно-волновыми процессами физико-химических массо- и газообменных процессов, обуславливающих их «поршневой механизм». Такая «модуляция» может быть количественно описана в рамках теории волн маятникового типа. Предложен оператор соответствия между уравнением Ленгмюра и кинематическим уравнением В. Н. Опарина для волн маятникового типа.

На основании обобщения важнейших достижений нелинейной геомеханики, геофизики и геотектоники, развития теории волн маятникового типа, а также «облачных» информационных технологий сформулированы современные проблемы и актуальные задачи фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области физики и геомеханики разрушения горных пород в природных и горнотехнических системах. В частности, обоснована необходимость разработки энергетического подхода к анализу процессов формирования и развития очаговых зон катастрофических событий (землетрясений, горных ударов, выбросов угля и газа), а также взаимодействия горных машин и разрушающих инструментов с породным массивом при бурении сверхглубоких скважин на основе обратной связи с физико-механическими свойствами подсекаемых породных толщ.

Таким образом, в монографии последовательно рассмотрены результаты экспериментальных и аналитических исследований закономерностей распределения напряжений в блочных массивах геологической среды; математического моделирования процессов деструкции земной коры при крупномасштабных горных работах; изучения основных закономерностей самоорганизации сейсмического процесса в тектонически активных областях различных горно-промышленных регионов и оценки влияния техногенного воздействия на формирование его сейсмичности; разработки теории и методов создания динамических геоинформационных систем с вычислительным ядром оценивания параметров движений и напряженно-деформированного состояния земной коры по разнородным комплексным геодезическим и геофизическим наблюдениям; развития и совершенствования методов и измерительных средств диагностики и контроля напряженно-деформированного состояния горных пород в натуральных условиях и адаптации их к условиям отработки крупных месторождений России и других стран бывшего СССР.

Дано достаточно полное представление о состоянии научных разработок, математическом аппарате, средствах мониторинга и контроля, используемых для снижения риска возникновения техногенных и природных катастроф. Развиваемые авторами теоретические подходы, основанные на принципах нелинейной геомеханики, определяют современный уровень получаемых результатов и позволяют предлагать нетривиальные решения поставленных задач в регионах, различающихся по геологическому строению, особенностям проявлениям сейсмического процесса и техногенному воздействию на породные массивы. Создание динамических

геоинформационных систем, интегрирующих данные самого разного типа, полученных в ходе систем мониторинга, относится к прорывным технологиям по предотвращению природных и техногенных катастроф. В связи с этим хотелось бы подчеркнуть большую роль геоинформационных систем, разрабатываемых в Горном институте КНЦ РАН (С. В. Лукичёв и др.) и Кемеровском филиале Института вычислительных технологий СО РАН (В. П. Потапов и др.).

Монография является значительным вкладом в решение ключевых проблем обеспечения безопасного недропользования в России, отраженных в критической для РФ «Технологии

предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

В заключение следует отметить, что магистральный путь горных наук в долговременной стратегии их развития по научному обеспечению горного дела и общего недропользования не только в России, но и в мире, адекватно отражен в статье академика Н. Н. Мельникова с его коллегами — директорами академических институтов горного профиля РАН еще в 2007 г. [1]. Со временем сформулированные здесь проблемы становятся все более актуальными и требующими решения.

Библиографический список

1. Мельников Н. Н., Опарин В. Н., Новопашии М. Д., Яковлев В. Л., Мамаев Ю. А., Потапов В. П. О фундаментальных проблемах освоения месторождений полезных ископаемых России и основных направлениях развития горных наук // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды : сб. тр. конф. — Новосибирск : Изд-во ИГД СО РАН, 2007. Т. 1. С. 5–23.
2. Опарин В. Н., Козырев А. А., Панин В. И., Савченко С. Н., Каспарьян Э. В. и др. Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. — 632 с.
3. Опарин В. Н., Багаев С. Н., Маловичко А. А., Яковлев В. Л., Еременко А. А. и др. Методы и системы сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов : в 2 т. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009.
4. Опарин В. Н., Журавков М. А., Потапов В. П., Каленицкий А. А., Еманов А. А. и др. Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2018. Т. 1. — 549 с.; 2019. Т. 2. — 546 с.
5. Техногенная сейсмичность при горных работах: модели очагов, прогноз, профилактика : сб. тр. конф. / под ред. Н. Н. Мельникова. — Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2004. Ч. 1, 2. — 422 с.
6. Мельников Н. Н., Епимахов Ю. А., Абрамов Н. Н. Научные основы интенсификации возведения большепролетных подземных сооружений в скальном массиве. — Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2008. — 226 с.
7. Мельников Н. Н., Конухин В. П., Наумов В. А., Амосов П. В., Гусак С. А. и др. Научные и инженерные аспекты безопасного хранения и захоронения радиационно опасных материалов на европейском севере России. — Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2010. — 305 с.
8. Мельников Н. Н., Гусак С. А., Амосов П. В., Наумов В. А., Наумов А. В. и др. Исследования по обоснованию методологии создания подземных комплексов для размещения атомных станций малой мощности в условиях Арктики // Арктика. Экология и экономика. 2018. № 3(31). С. 123–136.
9. Мельников Н. Н., Амосов П. В., Климин С. Г., Новожилова Н. В. Экологические аспекты безопасности подземной атомной станции малой мощности в условиях Арктики. — Апатиты — Ярославль : ООО «Принтхаус-Ярославль», 2018. — 170 с.
10. Мельников Н. Н., Калашник А. И. Шельфовые нефтегазовые разработки: геомеханические аспекты. — Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2009. — 140 с.
11. Адушкин В. В., Опарин В. Н. От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия — к волнам маятникового типа в напряженных геосредах // ФТПРПИ. 2012. № 2. Ч. I. С. 3–27; Там же. 2013. № 2. Ч. II. С. 3–46; Там же. 2014. № 4. Ч. III. С. 10–38; Там же. 2016. № 1. Ч. IV. С. 3–49. **ГЖ**

УДК 622.271.7:574

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ*

К. Н. ТРУБЕЦКОЙ, главный научный сотрудник, академик РАН
В. Н. ЗАХАРОВ, директор института, чл.-корр. РАН
Ю. П. ГАЛЧЕНКО, ведущий научный сотрудник, проф., д-р техн. наук, schtrek33@mail.ru
Г. В. КАЛАБИН, главный научный сотрудник, проф., д-р техн. наук

Институт проблем комплексного освоения недр
 им. академика Н. В. Мельникова РАН, Москва, Россия

Введение

Научное наследие академика Н. Н. Мельникова в полной мере отражает широкий диапазон интересов ученого и в той или иной мере охватывает почти весь круг вопросов, изучаемых горными науками.

Значительное место в его работах занимают крупномасштабные исследования в области подземного строительства специальных объектов государственного значения, а также хранения и захоронения радиоактивных отходов и отработанного ядерного топлива.

В память об академике РАН Николае Николаевиче Мельникове, творческое наследие которого связано с проблемами освоения минеральных ресурсов Субарктики, рассмотрены основополагающие позиции экологической стратегии освоения минеральных ресурсов криолитозоны нашей страны в части технологического обеспечения ее реализации. Показано, что основным направлением является создание и развитие природоподобных горных технологий, значение которых особенно велико при освоении минеральных ресурсов новых районов и территорий, которые в геологическом плане отождествляются с криолитозонной — мерзлой частью литосферы, характеризующейся отрицательной температурой горных пород, где климатическая составляющая является фактором, определяющим выбор и применение горных технологий. Выполненные в этом направлении исследования позволили впервые дать предметное определение понятия криогеоресурса литосферных блоков как возобновляемого источника энергии солнечного излучения, при котором энергетическую ценность имеет не само излучение, а его недостаток.

Ключевые слова: экологическая стратегия, горная технология, минеральные ресурсы, криолитозона, природоподобные технологии, методология, биосистемы, технические системы, криогеоресурс, геологическая и климатическая компоненты, методика определения.

DOI: 10.17580/gzh.2019.06.04

* Выполнено в рамках гранта РФФИ «Ресурсы Арктики» (договор № 18-05-70019/18).