

ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ МАЛЫХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ

Б.Н. Заровняев

Горный институт, Северо-Восточный федеральный университет
имени М.К. Аммосова, Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия,
e-mail: mine_academy@mail.ru

Аннотация: Проанализированы горно-геологические условия разработки малых разрезов Якутии в криолитозоне и состояние вопроса их восстановления после отработки месторождения. Выполнен анализ динамики коэффициента вскрыши на ближайшие 4 года на малых разрезах, который показал их рост. Это, безусловно, усложнит процесс рекультивации карьеров, повысит их стоимость, объемы. Для планирования трансформирования месторождения предлагается показатель заполняемости выработанного пространства, через который можно оценить объем размещаемых пород вскрыши в выработанном пространстве карьера и во внешних отвалах. Так, если данный показатель меньше 1, рекомендуется применить рекреационную рекультивацию, например, созданием водоема в выработанном пространстве. Когда показатель больше 1, целесообразно выравнивание гребней отвалов и дальнейшее их использование в виде сельскохозяйственных или лесохозяйственных угодий, а также в качестве строительных площадок. Данный показатель позволит планировать направление трансформирования месторождения в конце его отработки исходя из горно-геологических условий эксплуатации. Предлагается планирование способа трансформирования месторождения, учитывая показатель заполняемости выработанного пространства для восстановления нарушенных земель. Это позволит учитывать горно-геологические условия месторождений, применяемую систему разработки, способ отвалообразования, социально-экономические основы трансформирования месторождения и использование его по новому назначению.

Ключевые слова: горно-геологические условия, открытая геотехнология, системы разработки, трансформирование месторождения, коэффициент вскрыши, внутреннее отвалообразование, криолитозона, рекультивация.

Для цитирования: Заровняев Б. Н. Геотехнологические основы трансформирования малых угольных месторождений Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 4. – С. 23–33. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_4_0_23.

Geotechnology framework for transformation of small coal fields in Yakutia

B.N. Zarovnyaev

Mining Institute of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosova,
Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, e-mail: mine_academy@mail.ru

Abstract: The geological conditions at small open pits in the permafrost zone in Yakutia and the reclamation of these areas after completion of mining operations are discussed. The analysis of the stripping ratio dynamics at small open pits for the nearest 4 years shows an increasing trend. Unconditionally, this will complicate reclamation of the open pits, and elevate the scope and the cost of reclamation. For planning transformation of a coal field, it is proposed to use an index of fillability of a mined-out space, which can allow estimating the volume of overburden rocks placed in the mined-out pit and in the external dump. For example, when this index is less than 1, a recreation type of reclamation is recommended, for instance, a water body can be created in the mined-out pit void. When the index is higher than 1, it is more expedient to level crests of dumps and use the levelled area for the purposes of agriculture or forestry, or as construction sites. The mined-out void fillability index can help planning transformation of an open pit field to the effect of the disturbed land recovery with regard to the geological conditions of the open pit mining, systems of mining and dumping, social and economic factors and the land use according to its new assignment.

Key words: geological conditions, opencast geotechnology, mining systems, mineral field transformation, stripping ratio, permafrost zone, reclamation.

For citation: Zarovnyayev B. N. Geotechnology framework for transformation of small coal fields in Yakutia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(4):23-33. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_4_0_23.

Введение

Богатство недр Якутии полезными ископаемыми предопределило интенсивное развитие горнодобывающей промышленности, которое началось еще 100 лет назад с Алданских золотых приисков. За этот период разрабатывались месторождения не только россыпного и рудного золота, но и полиметаллов, алмазов, железных руд, нефти, газа, сурьмы, олова, платины, угля, других полезных ископаемых, в основном открытым способом. Ввиду продолжительного зимнего периода года (9 мес.), являющегося отопительным сезоном, всегда актуальной задачей была добыча угля для теплоснабжения населения, промышленных объектов, которые расположены на всей территории республики, разобщенных бездорожьем. Особенности этих разрезов являются небольшие производственные мощности, которые сформировались из-за ограниченного контингента потребителей и отсутствия транспортных

коммуникаций. За годы эксплуатации малых разрезов произошло накопление объемов нарушенных земель — из-за недостаточного внимания в период СССР, а на современном этапе исторического развития из-за дефицита соответствующих средств на восстановление нарушенных земель. За время эксплуатации этих месторождений восстановлено не более 15% нарушенных земель, кроме того, некоторые предприятия уже не существуют, а старые карьерные поля выведены из состава земельных отводов горнодобывающих предприятий, что снимает с них ответственность за рекультивацию.

Республика располагает значительными запасами угля и полностью обеспечивает внутренние потребности экономики.

Угольные месторождения характеризуются разнообразием горно-геологических и геотехнологических условий разработки. Ряд месторождений имеют

несколько промышленных пластов, которые обрабатываются отдельно. Междупластовые включения пустых пород представляют песчано-галечные смеси или глинистые и суглинистые породы различной крепости и мощности. Мощность покрывающих пород на малых разрезах составляет от нескольких до десятков метров, они находятся в мерзлом состоянии. Угол падения пластов в основном горизонтальный и пологий, редко доходит до крутонаклонного — 70—80°. При этих геотехнологических условиях распространенными технологиями разработки являются различные варианты сплошных систем разработки с внутренним и внешним отвалообразованием (по классификации В.В. Ржевского) с применением бестранспортных и транспортных технологических схем. Характеристики горно-геологических и геотехнологических условий разработки и современное состояние угледобывающей отрасли республики представлены в работах [1—3]. Особенностью разработки месторождений является их расположение в условиях криолитозоны и суровых природно-климатических условиях, что значительно усложняет их эксплуатацию, а также рекультивацию нарушенных земель.

При таких масштабных техногенных воздействиях на природную среду необходима коренная перестройка всего комплекса работ по добыче и восстановлению нарушенных земель, что требует опережающих комплексных исследований, разработки инновационных технологий освоения георесурсов и последующего восстановления экосистемы в целом при различных вариантах освоения территорий.

Основными природонарушающими факторами при разработке месторождений являются карьерное поле и отвалы, которые могут размещаться как внутри выработанного пространства, так и за его

пределами. Таким образом, в процессе разработки месторождения выработанное пространство представляет объемную пространственную фигуру, между природной и техногенной средой. В ходе анализа научно-технических источников установлено, что авторами работ [4, 5] предлагается интерпретация классификационных признаков, аккумулирующих пространственные геометрические формы сечений карьерного поля. Полученные результаты могут быть реализованы для обоснования выбора способа разработки и отвалообразования угольных месторождений, а также для определения объемов вскрышных пород, размещаемых в выработанном пространстве разреза. Предлагаемый подход и классификационные признаки дадут возможность установить закономерности формирования и развития пространства карьера, позволяющие определить объемы рекультивационных работ.

Последнее предусматривает трансформирование месторождения после извлечения полезного ископаемого и его дальнейшее использование для других целей: рекреационные объекты, сельскохозяйственные угодья, строительные площадки и др. Полная биологическая рекультивация ввиду недостаточности плодородного слоя и короткого вегетационного периода очень долговременна. Кроме того, на карьерных полях, отвалах и технологических площадках кормовые и посадочные сорта растительности не произрастают. В связи с этим освоение любого месторождения сопровождается изначально напряженной экологической ситуацией, проявляющейся низкой сопротивляемостью природной среды антропогенным воздействиям, отличающейся тяжелыми проявлениями техногенного давления на естественную экосистему.

Рядом авторов [6—8] представлены результаты исследований технологии ре-

культивации внешних отвалов угольных месторождений. Установлены факторы, определяющие масштабы формирования «природно-технических систем» и их влияние на экосистему региона. При этом площади, на которых расположены отвалы, кардинально видоизменяют естественный ландшафт и образуют новый — техногенный, который отличается от естественного рельефа отсутствием растительного покрова. Известно, что технологические основы отвалообразования во многом зависят от геотехнологических особенностей разработки месторождения, принятой системы разработки, природно-климатических условий региона, состава вскрышных пород и устойчивости отвалов. Оставленные в таком состоянии отвалы могут самовосстанавливаться весьма продолжительное время и будут оказывать на окружающую среду негативное воздействие, а в условиях криолитозоны нарушают мерзлотно-гидрогеологический баланс экосистемы, вызывая различные деформации массива, солифлюкцию, образование провалов и обрушение откосов и бортов карьеров. В связи с этим необходимо установить взаимосвязь между способом разработки и технологией рекультивации, учитывая при этом применяемую систему разработки, объемы вскрышных пород, их физико-механические свойства. Республика Саха (Якутия) полностью расположена в зоне развития криолитозоны, которая накладывает свои особенности как на разработку месторождений, так и на рекультивационные процессы, их результаты.

В работах [9—11] представлены результаты исследований плодородного слоя горно-тундровых ландшафтов Северо-Востока России, где ведется интенсивная разработка малых угольных разрезов. Результаты исследований могут быть использованы при выборе технологий ведения горных работ, а также

для последующего восстановления нарушенных земель. В работах отмечается, что на данной территории были сформированы криогенные почвы под влиянием низких отрицательных температур, характеризующиеся физическим выветриванием химического состава почв, медленными процессами разложения органических остатков. При их использовании в качестве биосновы для проведения рекультивационных работ приживаемость и эффективность роста растений будет весьма низкая и медленная.

В связи с этим при выборе способа вскрытия, системы разработки и процессов открытых горных работ необходимо учитывать методы и технологию проведения рекультивационных работ для каждого месторождения индивидуально.

В работах [12, 13] отмечается необходимость изучения климатических условий, рельефа местности, интенсивности и характера осадков, по результатам которого определяется наиболее технологически, экономически и биологически подходящий метод рекультивации нарушенных земель. В целом речь идет о выборе экологически безопасной технологии ведения горных работ, что является основным требованием при освоении недр на современном этапе развития общества.

Следует отметить, что в суровых природно-климатических условиях восстановление нарушенных земель и их биологическая рекультивация осуществляется подбором растений, их адаптацией в бедных биоминералами породах отвалов, бортах карьеров и технологических площадках [14—16].

Как показывает практика, такие работы недостаточно эффективны ввиду того, что, как правило, подбираются растения-сорняки, не имеющие кормового сорта, или, в лучшем случае, лесопосадки. Последние могут дать эффект через 20—40 лет, к тому времени возможно

самозаращение отвалов. При этом выработанное пространство карьера и отвалы сохраняют техногенный характер, их крутые откосы не удерживают семена растений, влагу и минеральные удобрения.

Открытый способ разработки месторождений является наиболее разрушительным в отношении ландшафта. В связи с этим горные работы целесообразно вести с внутренним отвалообразованием и одновременной их технической рекультивацией. При этом на основе анализа горно-геологических условий залегания месторождений можно предопределить направление трансформирования месторождения и его дальнейшее использование [17, 18]. Для этого необходимо, чтобы рекультивация нарушенных земель была взаимосвязана с системой разработки месторождения и проводилась одновременно с его разработкой, в общем технологическом процессе.

Целью работы является обоснование геотехнологических основ трансформирования и рекультивации нарушенных земель малых разрезов Якутии для дальнейшего использования месторождений в новом качестве.

Постановка проблемы

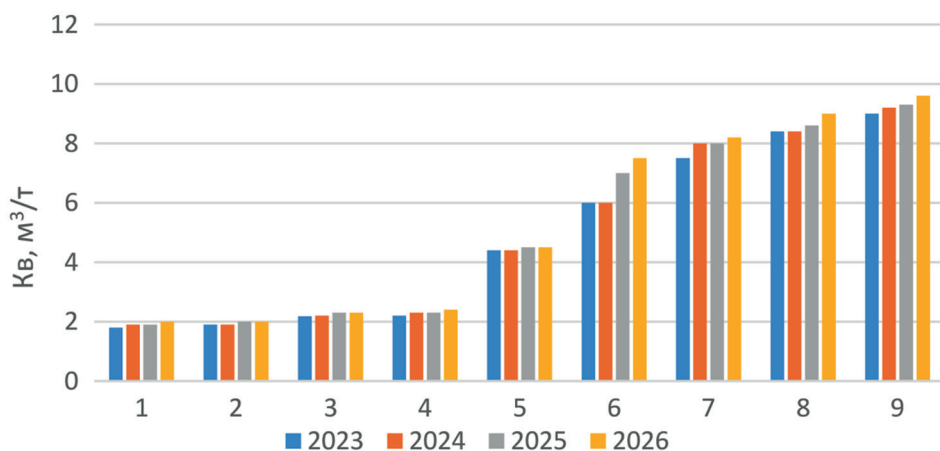
Как известно, открытая разработка месторождений является одной из наиболее масштабных и землеемких отраслей, где земельные угодья отчуждаются на многие десятилетия и не только теряют пригодность для сельского хозяйства, но и перестают быть средой обитания до соответствующей рекультивации. Основными проблемами при освоении недр являются рациональное использование земельного отвода, формирование карьерного поля, внутренних и внешних отвалов, с учетом того, что их площади постоянно растут и значительно нарушают экологическое равновесие региона. Одной из главных проблем является

использование горно-геологических условий при формировании внутренних и внешних отвалов с учетом применяемых систем разработки, перспективных технологий рекультивации нарушенных земель и отвалов, для дальнейшего трансформирования месторождения. При этом под термином «трансформирование» месторождения понимается его разработка с физическим извлечением полезного ископаемого, после которого оно используется в других целях [19, 20]. К примеру, это может быть создание сельскохозяйственных угодий или рекреационной зоны в виде водоема и дальнейшее использование месторождения в других целях.

Методология

Анализ эксплуатации малых угольных месторождений Якутии показал, что полный цикл рекультивации выработанного пространства и отвалов практически не выполняется. При обобщении основных причин, предопределяющих вышесказанное обстоятельство, выделено три базовых фактора. Первый фактор связан с незавершенностью отработки большинства месторождений угля. В процессе отработки горные работы расширяются и нарушают новые земли, а площади отвалов растут. Вторым важным фактором является наличие мерзлоты и ее деградация после горных работ, в результате чего масштабы нарушения еще возрастают. Третьим фактором является недостаточные количество и эффективность плодородного слоя для нанесения на поверхность карьерного поля, отвалов и техногенных массивов.

Учитывая эти факторы, необходимо решить инженерно-технические задачи по рекультивации карьерных полей, отвалов и техногенных массивов, используя комплекс работ и результатов исследований горно-геологических, мерзлотно-гидрогеологических условий, и обосно-



1 – Кировский, 2 – Харбалахский, 3 – Джебарики-Хаинский, 4 – Белогорский, 5 – Кангаласский, 6 – Надеждинский (Зырянка), 7 – Кабактинский, 8 – Денисовский, 9 – Чульмаканский

Рис. 1. Динамика текущих коэффициентов вскрыши малых разрезов Якутии
 Fig. 1. Dynamics of current stripping coefficients of small open pits in Yakutia

вать рекомендуемые способы рекультивации: сельскохозяйственный, лесохозяйственный, водохозяйственный, рекреационный, природоохранный, строительный, складской, для захоронения отходов и др.

Результаты

Анализ технологий разработки малых разрезов Якутии показал, что наиболее распространенными являются сплошные бестранспортные и транспортные системы разработки, реже — углубочно-сплошные варианты систем, что благоприятствует внутреннему отвалообразованию (приведены классификации одновременно по В.В. Ржевскому и Н.В. Мельникову, сплошные и углубочно-сплошные — по Ржевскому, бестранспортные и транспортные — по Н.В. Мельникову). Так, сплошные системы разработки применяются на Кангаласском, Кировском, Харбалахском, Джебарики-Хаинском, Белогорском разрезах. Углубочно-сплошные системы — на разрезах Надеждинском (Зырянка), Денисовском, Чульмаканском, Кабактинском разрезах. В первой группе раз-

резов осуществляется внутренне отвалообразование, во второй группе — комбинированное.

Как известно, основным фактором, влияющим на способы отвалообразования (внешние, внутренние), площади для рекультивации, являются объемы вскрышных пород, характеризуемые коэффициентом вскрыши. Для большинства малых разрезов текущий коэффициент вскрыши составляет от 1,5 до 5–6 м³/т; для Денисовского, Чульмаканского и Надеждинского разрезов — достигает 7–8 м³/т, что обуславливает внешнее отвалообразование. Следует отметить, что текущий коэффициент вскрыши для большинства разрезов ежегодно растет. Динамика роста коэффициентов вскрыши для малых разрезов Якутии на ближайшие 4 года представлены на рис. 1.

Динамика коэффициентов вскрыши разрезов за 4 года свидетельствует об их росте. Но имеются разрезы с небольшими коэффициентами вскрыши, такие как Кировский, Харбалахский, Джебарики Хаинский, Белогорский, у которых объемы пород вскрыши недостаточны для полного заполнения выработанного про-

странства при внутреннем отвалообразовании. Наиболее оптимальным в таких горно-геологических условиях была бы рекреационная рекультивация с созданием в выработанном пространстве водоемов, используя их дислокацию на берегу или поблизости от крупных рек.

Для других разрезов, с большими коэффициентами вскрыши, показана рекультивация выработанного пространства, внутренних и внешних отвалов с выравниванием техногенных площадей и с последующей биологической рекультивацией.

Для оценки пригодности того или иного способа трансформирования месторождения удобней пользоваться показателем заполняемости выработанного пространства карьера — Π_3 . По существу, это отношение мощности вскрыши (H_B) с учетом коэффициента разрыхления (K_p) к сумме мощности вскрыши и продуктивного пласта ($H_{пн}$):

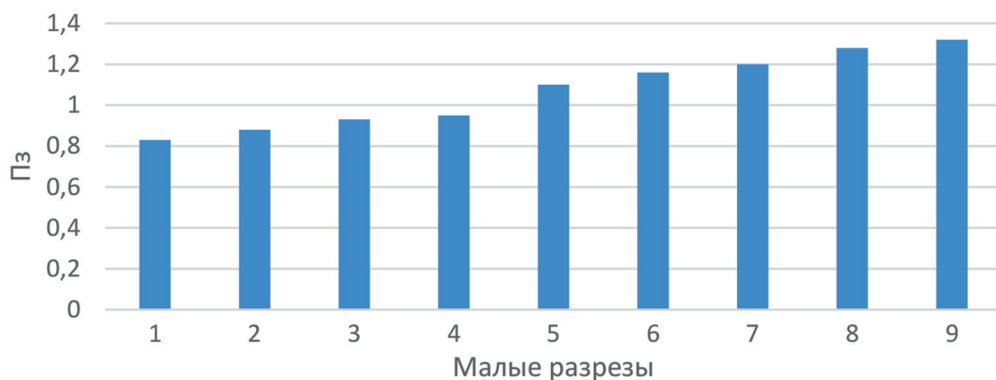
$$\Pi_3 = (H_B \cdot K_p) / (H_B + H_{пн}).$$

Возможно, целесообразней показатель заполняемости выработанного пространства выразить через объем извлекаемых вскрышных пород V_B и объем выработанного пространства ($V_{пн}$). Тогда

показатель заполняемости будет определяться по формуле

$$\Pi_3 = V_B K_p / V_{пн}.$$

Если показатель заполняемости (Π_3) меньше 1, то это говорит о недостаточности объема вскрышных пород для заполнения выработанного пространства. Если больше 1, то объем вскрышных пород заполняет выработанное пространство, и для размещения оставшихся объемов может понадобиться внешний отвал. Соответственно, можно рассматривать разные варианты трансформирования месторождения. Например, для месторождений с $\Pi_3 \leq 1$ можно предусмотреть рекреационную рекультивацию в виде водоема. Для месторождений с $\Pi_3 \geq 1$ подойдет преимущественно техническая рекультивация с выравниванием выработанного пространства и отвалов с последующей биологической рекультивацией. Предлагаемый показатель (Π_3) применим для оценки заполняемости выработанного пространства на месторождениях со сплошными системами разработки. Показатель заполняемости выработанного пространства для малых месторождений Якутии представлен на рис. 2.



1 – Кировский, 2 – Харбалахский, 3 – Джебарики-Хаинский, 4 – Белогорский, 5 – Кангаласский, 6 – Надеждинский (Зырянка), 7 – Кабактинский, 8 – Денисовский, 9 – Чульмаканский

Рис. 2. Показатель заполняемости выработанного пространства для малых разрезов Якутии
Fig. 2. The indicator of the occupancy of the worked-out space for small sections of Yakutia

Как видно из гистограммы, для Кировского, Харбалахского, Джебарики-Хаинского, Белогорского разрезов объемы вскрышных пород недостаточны для заполнения выработанного пространства. Следовательно, для них рекомендуется трансформирование месторождения с рекреационной рекультивацией.

Наиболее подходит в данном случае создание водоемов, благодаря дислокации этих разрезов поблизости от крупных рек.

Для другой группы разрезов, где показатель $P_3 \geq 1$, подразумевается наличие внешних отвалов, и для них рекомендуется другая схема трансформирования, предусматривающая выравнивание внутренних и внешних отвалов, биологическую рекультивацию с последующим использованием в качестве сельскохозяйственных, лесопосадочных и других площадок.

Обсуждение

Рассмотрены геотехнологические условия эксплуатации малых разрезов Якутии и природно-климатические условия рекультивации нарушенных земель. Исследования текущих коэффициентов вскрыши на этих месторождениях показали их рост почти на всех разрезах. Установленные тенденции изменения горно-геологических условий разработки месторождений в дальнейшем могут усложнить процесс восстановления выработанного пространства и их рекультивации.

Предложен показатель заполняемости выработанного пространства, позволяющий оценить полноту размещения вскрышных пород в выработанном пространстве и во внешних отвалах. Установлено, что если $P_3 \leq 1$, возможно применение рекреационной рекультивации путем создания водоема в выработанном пространстве. В случае, когда $P_3 \geq 1$, то целесообразно планирование поверх-

ности внутренних и внешних отвалов и их использование в сельскохозяйственных или лесохозяйственных целях или в качестве площадок для строительства. Данный показатель позволит планировать направление трансформирования месторождения в конце его отработки исходя из горно-геологических условий эксплуатации.

Процесс восстановления нарушенных земель рассматривается с учетом горно-геологических условий залегания, применяемой геотехнологии, систем и способов открытой разработки, социально-экономических условий трансформирования. При этом, как правило, процесс рекультивации рассматривается отдельно от процесса разработки из-за того, что она начинается после отработки месторождения. В этих условиях предложенный показатель заполняемости выработанного пространства (P_3) позволит заранее планировать направление использования выработанного пространства, исходя из горно-геологических условий месторождения, применяемой системы разработки, способа отвалообразования, что установит взаимосвязь геотехнологии с рекультивацией месторождения.

Заключение

В настоящее время произошло чрезмерное накопление нарушенных земель горнодобывающей отраслью Республики Саха (Якутия) из-за отсутствия планомерного решения вопросов их восстановления, с самого начала отработки месторождения и заканчивая рекультивацией нарушенных земель на карьерах и отвалах.

Как установлено в результате анализа, динамика текущих коэффициентов вскрыши малых разрезов Якутии имеет тенденцию к росту, что усложняет процессы рекультивации нарушенных земель. В связи с этим необходимо фор-

мирование геотехнологических основ трансформирования месторождений малых разрезов Якутии для дальнейшего их использования в новом качестве.

Для планирования направления трансформирования месторождения с учетом горно-геологических условий разработки предложен показатель заполняемости выработанного пространства, с помощью которого можно оценить полноту разме-

щения вскрышных пород в выработанном пространстве карьера. Показатель P_3 позволит планировать направление трансформирования месторождения в конце его отработки исходя из горно-геологических условий эксплуатации, что может совместить процесс отработки месторождения с его трансформированием и дальнейшим использованием в новом качестве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев Л. Н., Сычевский А. В., Кузнецов В. В., Буркова Н. В. Минерально-сырьевые ресурсы Республики Саха (Якутия) // Горный журнал. — 2016. — № 7. — С. 83–88.

2. Zarovnyaev B. N., Shubin G. V., Sobakina M. P. Analysis of disturbed lands and environmentally safe technologies of mining in permafrost / 18th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM2018, vol. 18. Bulgaria, 2018, pp. 79–87. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42585235>. DOI: 10.5593/sgem2018/1.3/S03.011.

3. Иванов В. В. Трансформация природных комплексов при недропользовании в условиях Якутии. — Новосибирск: Наука, 2015. — 248 с.

4. Селюков А. В. Выработанное пространство угольных разрезов: развитие классификационных признаков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. — 2017. — Т. 15. — № 3. — С. 12–17. DOI: 10.18503/1995-2732-2017-15-3-12-17.

5. Ниамова Р. Ш., Равшанов А. Ф., Снитка Н. П. Совершенствование методов управления техногенными ресурсами при открытой разработке месторождений. — Ташкент: ФАН УзССР, 2018. — С. 253.

6. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Карасев М. А., Фоменко Н. Г. Геомеханическое обоснование отсыпки отвалов «сухих» пород на гидроотвалах // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2015. — № 3. — С. 220–225.

7. Kutepov Yu., Kuteпова N., Vasileva N., Mukhina A., Smirnov R. Engineering-geological and geocological aspects of formation of dry dumps on hydrodumps // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, vol. 938, no. 1, article 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/938/1/012007.

8. Ческидов В. И., Бобыльский А. С. Технологическо-экологические аспекты отвалообразования вскрышных пород на разрезах Кузбасса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 5. — С. 96–104. DOI: 10.15372/FTPRPI20170511.

9. Чемезов Е. Н., Пестерев А. П. Фоновая характеристика наземных экосистем Арктики // Горный журнал. — 2023. — № 4. — С. 59–64. DOI: 10.17580/gzh.2023.04.09.

10. Pesterev A. P., Yakovlev V. A., Kirillina A. A., Solovlev D. B. Environmental problems mining industry in the Arctic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019, vol. 272, no. 2, article 022055. DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022055.

11. Yatsenko E. A., Goltsman B. M., Sergeev V. V. Production of porous geopolymers using ash and slag waste of power plants in the Russian Arctic // Eurasian Mining. 2022, no. 2, pp. 58–60. DOI: 10.17580/em.2022.02.14.

12. Киреева А. С. Современное состояние и экологическая оценка влияния породных отвалов предприятий угольной промышленности // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2022. — № 1. — С. 62–71. DOI: 10.46689/2218-5194-2022-1-1-62-71.

13. Posphehov G. B., Pankratova K. V., Straupnik I. A., Ustiugov D. L. Problems of land reclamation during liquidation of coalmining enterprises // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017, vol. 87, no. 4, article 042015. DOI: 10.1088/1755-1315/87/4/042015/.

14. Зеньков И. В., Нефедов Н. Б., Морин А. С., Кирюшина Е. В., Вокин М. Н., Веретенова Т. А., Кондрашов П. М., Павлова П. Р., Брежнев Р. В. Технология рекультивации земель при

разработке угольных месторождений в северных регионах России // Уголь. — 2020. — № 4. — С. 62–67. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-4-62-67.

15. Крючков В. В. Необходимость и возможность рекультивации нарушенных земель на Севере / Доклад на 2-й международной конференции «Освоение Севера и проблема рекультивации». — Сыктывкар, 1994. — С. 23–32.

16. Харионовский А. А., Франк Е. Я. Обоснование горнотехнической рекультивации по созданию культурного ландшафта в карьере по разработке глиежей // Уголь. — 2018. — № 2. — С. 100–102. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-2-100-102.

17. Jin Li, Tong Zhang, Wen Yang, Yu Zhang The environmental impact of mining and its countermeasures // MATEC Web of Conferences. 2016, vol. 63, article 04010. DOI: 10.1051/mateconf/2016630.

18. Zarovnyaev B. N., Shubin G. V., Budikina M. E., Sobakina M. P., Danilov A. A. Estimation of the efficiency of disturbed land reclamation / 21st International Scientific Multidisciplinary Conference on Earth and Planetary Sciences SGEM 2021. Bulgaria, 2021, pp. 371–378. DOI: 10.5593/sgem2021/1.1/s03.050.

19. Рыбникова Л. С., Рыбников П. А., Тарасова И. В. Геоэкологические проблемы использования выработанных карьерных пространств на Урале // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 1. — С. 170–181. https://sibran.ru/journals/issue.php?ID=170014&ARTICLE_ID=170040.

20. Ракишев Б. П. О ключевых понятиях разработки полезных ископаемых и их взаимосвязях // Горный журнал. — 2021. — № 10. — С. 84–89. DOI: 10.17580/gzh.2021.10.08. **PLAB**

REFERENCES

1. Kovalev L. N., Sychevsky A. V., Kuznetsov V. V., Burkova N. V. Mineral resources of the Republic of Sakha (Yakutia). *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 7, pp. 83–88. [In Russ].

2. Zarovnyaev B. N., Shubin G. V., Sobakina M. P. Analysis of disturbed lands and environmentally safe technologies of mining in permafrost. *18th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM2018*, vol. 18. Bulgaria, 2018, pp. 79–87. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42585235>. DOI: 10.5593/sgem2018/1.3/S03.011.

3. Ivanov V. V. *Transformatsiya prirodnykh kompleksov pri nedropol'zovanii v usloviyakh Yakutii* [Transformation of natural complexes during subsoil use in Yakutia], Novosibirsk, Nauka, 2015, 248 p.

4. Selyukov A. V. Mined-out space of coal mines: development of classification characteristics. *Vestnik of Novos Magnitogorsk State Technical University*. 2017, vol. 15, no. 3, pp. 12–17. [In Russ]. DOI: 10.18503/1995-2732-2017-15-3-12-17.

5. Niamova R. Sh., Ravshanov A. F., Snitka N. P. *Sovershenstvovanie metodov upravleniya tekhnogennymi resursami pri otkrytoy razrabotke mestorozhdeniy* [Improving methods for managing technogenic resources in open-pit mining], Tashkent, FAN UzSSR, 2018, pp. 253.

6. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Karasev M. A., Fomenko N. G. Geomechanical justification of dumping of dumps of «dry» rocks on hydrodumps. *Geocology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2015, no. 3, pp. 220–225. [In Russ].

7. Kutepov Yu., Kutepova N., Vasileva N., Mukhina A., Smirnov R. Engineering-geological and geocological aspects of formation of dry dumps on hydrodumps. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 938, no. 1, article 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/938/1/012007.

8. Cheskidov V. I., Bobyl'skiy A. S. Technological and environmental aspects of overburden dumping in the Kuzbass open pits. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2017, no. 5, pp. 96–104. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20170511.

9. Chemezov E. N., Pesterev A. P. Background characteristics of Arctic terrestrial ecosystems. *Gornyi Zhurnal*. 2023, no. 4, pp. 59–64. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.04.09.

10. Pesterev A. P., Yakovlev V. A., Kirillina A. A., Solovov D. B. Environmental problems mining industry in the Arctic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 272, no. 2, article 022055. DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022055.

11. Yatsenko E. A., Goltsman B. M., Sergeev V. V. Production of porous geopolymers using ash and slag waste of power plants in the Russian Arctic. *Eurasian Mining*. 2022, no. 2, pp. 58–60. DOI: 10.17580/em.2022.02.14.

12. Kireeva A. S. Current state and environmental assessment of the influence of rock dumps of coal industry enterprises. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2022, no. 1, pp. 62 – 71. [In Russ]. DOI: 10.46689/2218-5194-2022-1-1-62-71.

13. Posphehov G. B., Pankratova K. V., Straupnik I. A., Ustiugov D. L. Problems of land reclamation during liquidation of coalmining enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017, vol. 87, no. 4, article 042015. DOI: 10.1088/1755-1315/87/4/042015/.

14. Zenkov I. V., Nefedov N. B., Morin A. S., Kiryushina E. V., Vokin M. N., Veretenova T. A., Kondrashov P. M., Pavlova P. R., Brezhnev R. V. Technology of land reclamation during the development of coal deposits in the northern regions of Russia. *Ugol'*. 2020, no. 4, pp. 62 – 67. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-4-62-67.

15. Kryuchkov V. V. The need and possibility of reclamation of disturbed lands in the North. *Doklad na 2-y mezhndunarodnoy konferentsii «Osvoenie Severa i problema rekul'tivatsii* [Report at the 2nd International conference "Development of the North and the problem of reclamation"], Syktyvkar, 1994, pp. 23 – 32. [In Russ].

16. Kharionovsky A. A., Frank E. Ya. Justification of mining and technical reclamation for the creation of a cultural landscape in a quarry for the development of gliezhes. *Ugol'*. 2018, no. 2, pp. 100 – 102. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-2-100-102.

17. Jin Li, Tong Zhang, Wen Yang, Yu Zhang The environmental impact of mining and its countermeasures. *MATEC Web of Conferences*. 2016, vol. 63, article 04010. DOI: 10.1051/mateconf/2016630.

18. Zarovnyaev B. N., Shubin G. V., Budikina M. E., Sobakina M. P., Danilov A. A. Estimation of the efficiency of disturbed land reclamation. *21st International Scientific Multidisciplinary Conference on Earth and Planetary Sciences SGEM 2021*. Bulgaria, 2021, pp. 371 – 378. DOI: 10.5593/sgem2021/1.1/s03.050.

19. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A., Tarasova I. V. Geoecological problems of the use of mined-out quarry spaces in the Urals. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2017, no. 1, pp. 170 – 181. [In Russ]. https://sibran.ru/journals/issue.php?ID=170014&ARTICLE_ID=170040.

20. Rakishhev B. R. On the key concepts of mineral development and their relationships. *Gornyi Zhurnal*. 2021, no. 10, pp. 84 – 89. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2021.10.08.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Заровняев Борис Николаевич — д-р техн. наук, профессор,
Горный институт, Северо-Восточный федеральный университет
имени М.К. Аммосова, e-mail: mine_academy@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0000-3738-566X.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

B.N. Zarovnyaev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Mining Institute
of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosova,
677013, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia,
e-mail: mine_academy@mail.ru, ORCID ID: 0009-0000-3738-566X.

Получена редакцией 06.04.2024; получена после рецензии 09.01.2025; принята к печати 10.03.2025.
Received by the editors 06.04.2024; received after the review 09.01.2025; accepted for printing 10.03.2025.

