

## ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ЗАВОЗА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЯ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Н. С. Батугина, В. Л. Гаврилов, Е. А. Хоютанов, К. С. Попова  
Институт горного дела Севера имени Н. В. Черского Сибирского  
отделения РАН (Якутск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 10 февраля 2021г.

*Рассмотрены различные варианты обеспечения золотодобывающих предприятий Арктической зоны Республики Саха (Якутия) топливно-энергетическими ресурсами для выработки электроэнергии для производственных нужд. Оценена возможность организации энергообеспечения работы рудников на основе использования ресурсов местных угольных месторождений. Наиболее пригодны для вовлечения в отработку Согинское бурогоугольное и Краснореченское каменноугольное месторождения. Показано, что использование угля в генерации может снизить затраты на электроснабжение при освоении рудных и россыпных месторождений. Установлено, что наименьшая удельная себестоимость выработки электроэнергии достигается при использовании в качестве топлива бурых углей Куларского месторождения – 9,3 руб./кВт·ч. Использование углей Согинского месторождения дороже на 20%, однако качественные характеристики угля и подготовленность месторождения к добыче существенно лучше. Наиболее доступный, но более дорогой вариант организации снабжения углем месторождений золота – использование привозного угля требуемого качества.*

**Ключевые слова:** Арктическая зона Республики Саха (Якутия), минерально-сырьевые ресурсы, золото, освоение, источники энергии, энергообеспечение, угольные месторождения, эффективность.

### Введение

В последние годы внимание науки и практики к развитию российского сектора Арктики значительно возросло, что нашло отражение в принятых стратегиях и программах развития [1—3]. Анализ данных и других материалов [4—6 и др.] показывает, что ресурсно-сырьевая модель развития экономики огромного региона фактически остается базовым направлением. Для сложившегося за длительное время подхода к промышленному освоению Арктической зоны Республики Саха (Якутия)<sup>1</sup> на средне- и долгосрочную перспективу также нет реальной альтернативы. «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» и «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения националь-

ной безопасности на период до 2035 года», утвержденные в 2020 г., предполагают развитие районов, расположенных в бассейнах рек Анабар, Лена, Яна, Индигирка и Колыма, на основе создания минерально-сырьевых центров на базе следующих месторождений: Томторского редкоземельных металлов, россыпных алмазов Анабарского, Булунского, Оленёкского районов, Верхне-Мунского алмазов, Таймыльского, Краснореченского и Зырянских каменного угля, золоторудного Кючус, серебряного Прогноз, оловянных Депутатского и Тирехтях [1; 2]. Планируется поэтапное замещение на этих территориях неэффективной дизельной генерации электроэнергии альтернативными источниками топлива [5; 7].

В настоящее время труднодоступные, транспортно- и энергоизолированные районы Якутии, включая 13 в ее Арктической зоне, практически повсеместно для выработки электроэнергии используют дизельные станции. В полной мере это относится и к работающим или планируемым к созданию здесь

<sup>1</sup> Сокращенно – АЗ РС(Я).

горным предприятиям, требующим постоянного и надежного энергоснабжения оборудования, используемого при освоении месторождений алмазов, золота, серебра, других металлов. В производственных расходах золотодобывающих компаний затраты на электроэнергию доходят до 40%.

Для АЗ РС(Я) характерны сверхсложные условия доставки топливно-энергетических ресурсов: большие расстояния перевозки до конечных потребителей (до 2—3 тыс. км и более), многозвенная и длительная логистика (несколько перевалок и сроки доставки до 2,0—2,5 лет), ограниченность времени и несовпадение сроков перевозок водным и автомобильным транспортом. В совокупности это приводит к значительным количественным и качественным потерям топлива, кратному росту его стоимости (в 3—8 и более раз) [8—10].

В последнее время обозначился тренд на устойчивый рост потребления энергии в золотодобыче. Это объясняется возвратом золоту функции гаранта накоплений в условиях нестабильного мирового финансового рынка и вытекающим из этого значительным ростом объемов добычи, которая стала лидером по темпам роста энергопотребления в добывающих регионах [11].

Мировой опыт показывает, что в Чили, Канаде, Бразилии, Австралии и других странах на многих рудниках используются возобновляемые источники энергии [12; 13]. В АЗ РС(Я) возможности их применения крайне ограничены и могут носить лишь вспомогательный характер ввиду необходимости дублирования мощностями традиционной энергетики как резервного источника. Если применять при сравнении энерготехнологий только экономические показатели без учета других критериев оценки и факторов, формирующих устойчивое развитие, предпочтение следует отдавать вариантам производства электроэнергии на ископаемом топливе [14]. Приходится констатировать, что при оценке потребности проектов освоения рудных и россыпных месторождений в Арктической зоне России, в том числе и в Якутии, не определены виды топлива для производства электроэнергии [15].

Выполненный анализ показывает, что в АЗ РС(Я) для повышения эффективности работы действующих или новых горнодобывающих предприятий, ориентированных на разработку рудных, россыпных и техногенных месторождений, снижения рисков и сбоев в работе возможно для выработки электроэнергии наряду с применением привозных дизельного топлива и угля использование и местного топлива [16; 17]. Последнее в первую очередь связано с имеющимся территориальным геологическим потенциалом угольных месторождений [18; 19]. В этом случае существует объективная необходимость переоценки угольного ресурсного потенциала АЗ РС(Я) согласно современным требованиям и критериям [8; 20—23]. При выполнении такой работы должны учитываться существующий опыт и передовые достижения в об-

ласти экономически эффективной и экологически безопасной добычи угля, его сжигания, выработки электрической и тепловой энергии, ее распределения [24—26].

Сказанное определяет целесообразность более подробного рассмотрения и оценки различных вариантов обеспечения золотодобывающих предприятий АЗ РС(Я) топливно-энергетическими ресурсами, используемыми для производственных нужд. Актуальность такой работы повышает и то, что стоимость электроэнергии в значительной степени определяет экономические показатели компаний. Это подтверждается следующими данными: при условно «бесплатной» электроэнергии рентабельность инвестиционных проектов по освоению золоторудных месторождений с 36,0% уменьшается на 6,3% при увеличении ее стоимости на каждый 1 руб./кВт·ч [27].

О возможности использования угля для выработки электроэнергии при освоении рудных месторождений свидетельствуют многолетний опыт работы Депутатской ТЭЦ в Усть-Янском районе Якутии, а также строительство и начало эксплуатации новой угольной ТЭЦ в Олекминском районе Южной Якутии на золоторудном месторождении Гросс (недропользователь — ООО «Нерюнгри-Металлик»), способствовавшее снижению удельной себестоимости выработки электроэнергии в два раза и более по сравнению с применением мазута и дизельного топлива и, как следствие, уменьшению удельных затрат на переработку золотосодержащей руды методом кучного выщелачивания.

### Материалы и методы

Методы и подходы, которые использовались в работе, в значительной степени основаны на оригинальных результатах, полученных ранее авторами. В их числе: анализ и сравнение; выявленные качественные и количественные особенности минерально-сырьевой базы Якутии; инверсия и метаморфозы минерально-сырьевой базы АЗ РС(Я); сформированные и пополняемые базы данных по ряду месторождений региона; методы аналогий, балансовый, экономико-статистический, историко-сравнительный, картографический, системного анализа и поддержки принятия решений.

Методический подход к сравнению вариантов завоза и использования угля состоит в следующем. Для оценки возможности использования местных углей на северо-востоке АЗ РС(Я) для выработки тепловой и электрической энергии для производственных нужд и теплоснабжения при освоении золоторудных месторождений необходимо провести сравнительный анализ угольных месторождений. Основным источником были отчеты о выполненных геолого-разведочных работах на угольных месторождениях, материалы государственного баланса [18—19].

При сравнительном анализе рассматривались географические, геологические, горно-технологиче-

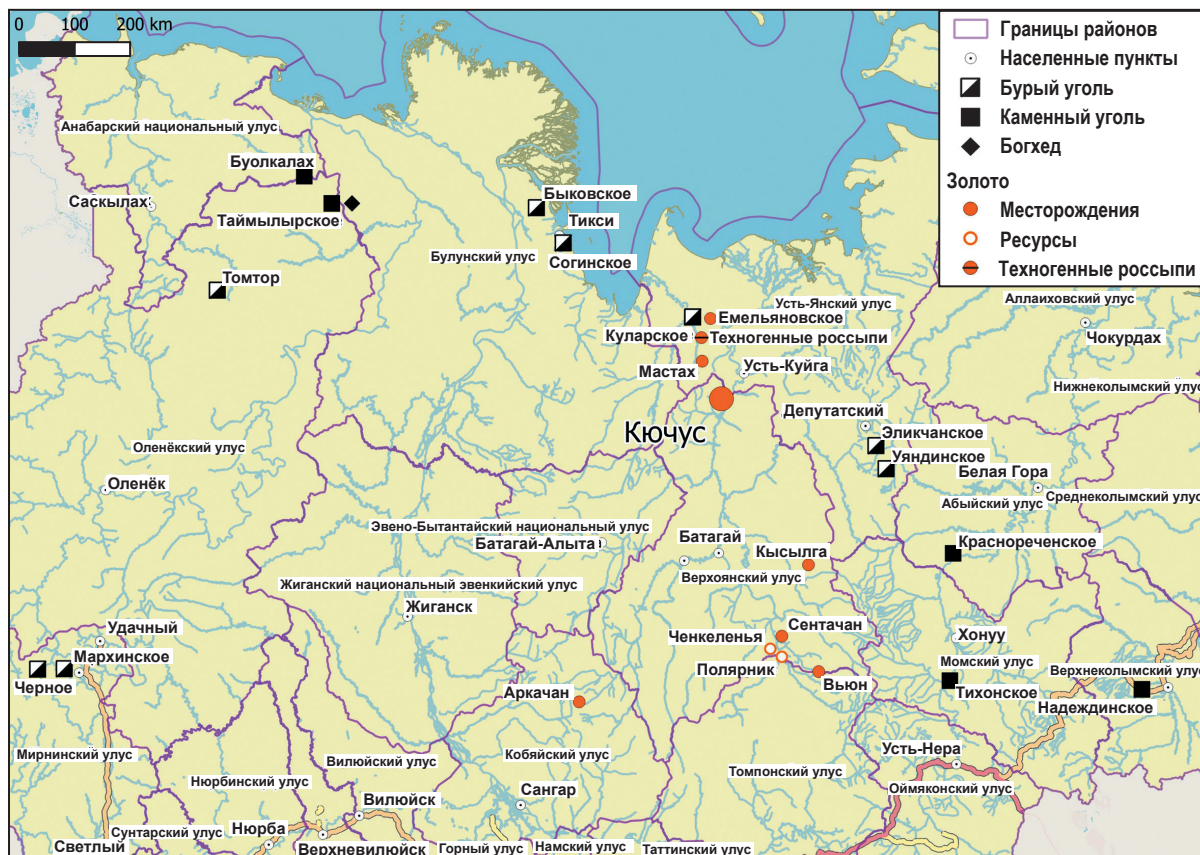


Рис. 1. Основные рудные и угольные месторождения АЗ РС(Я) (составлено авторами на основе данных [18–19] и «©OpenStreetMap»)   
 Fig. 1. Main ore and coal deposits of the Arctic Zone of the Republic of Sakha (Yakutia) (compiled by the authors on the basis of data [18–19] and “© OpenStreetMap”)

ские характеристики месторождений и качественные параметры углей в них (влажность, зольность, выход летучих веществ, теплота сгорания, массовая доля серы). Произведено сравнение характеристик местных углей, расположенных в северо-восточных районах АЗ РС(Я), с привозными.

На примере Кючусского золоторудного месторождения были рассмотрены шесть вариантов возможного приобретения и доставки угля:

- 1-й вариант: завоз каменного угля с действующего разреза Джебарики-Хая (существующая схема доставки угля для ГУП ЖКХ);
- 2—4-й варианты: разработка и доставка бурого угля соответственно с Куларского, Уядинского и Согинского месторождений;
- 5-й и 6-й варианты: разработка и доставка каменного угля с Краснореченского (участок Соголох) и Тихонского месторождений.

В дополнение рассмотрен 7-й вариант — обеспечение ТЭЦ привозным дизельным топливом.

По результатам оценки отбирались варианты возможного приобретения (добычи) и доставки угля. Капитальные и эксплуатационные затраты по строительству ТЭЦ по всем элементам, кроме топливной составляющей, приняты по укрупненным показателям

с использованием данных объекта-аналога (рудник Гросс, Южная Якутия) [28—29]. Расчеты произведены исходя из установленной электрической мощности 20 МВт и потребляемого количества тепловой энергии 21 Гкал для переработки 10 млн т руды в год. Потребность в топливе на выработку ожидаемых размеров электроэнергии и тепла для рассматриваемых вариантов с учетом качества исходного каменного и бурого угля принята в следующих количествах: 1-й вариант — 60 тыс. т, 2-й и 3-й — 104,3 тыс. т, 4-й — 94,1 тыс. т, 5-й — 64 тыс. т, 6-й — 57,1 тыс. т. На основе технико-экономических расчетов и последующего вариантного сравнения удельной себестоимости выработки электроэнергии делается вывод о целесообразности использования углей рассматриваемых месторождений в АЗ РС(Я).

### Результаты и обсуждение

#### Анализ минерально-сырьевой базы

В Верхояно-Колымской и Колымо-Омолонской металлогенических провинциях АЗ РС(Я) сосредоточено почти 20% запасов золота Российской Федерации [30]. Одним из наиболее крупных зо-

лоторудных месторождений здесь является Кючус, запасы которого составляют по золоту 175,3 т, по серебру — 26,5 т, а прогнозные ресурсы по золоту — более 140 т. Также имеются мелкие рудные объекты (Вьун, Лазо, Мастах, Емельяновское и др.), россыпные месторождения золота, многочисленные техногенные образования бывшего Куларского горно-обогатительного комбината (рис. 1).

В АЗ РС(Я) имеются собственные месторождения твердого топлива (угля) различной степени изученности и разведанности, которые при условии геотехнологической, логистической и экономической целесообразности можно было бы вовлечь в разработку для реорганизации системы энергообеспечения.

Анализ показал, что в заполярных районах Якутии геолого-разведочные работы на уголь проводились в основном в 40—60-х годах прошлого века. Государственным балансом [19] учтено 14 месторождений каменного и 6 бурого угля с суммарными запасами 433,2 млн т по категориям А+В+С<sub>1</sub>. На долю каменного угля приходится 398 млн т, на долю бурого — 35,2 млн т. Фактически отработка угля ведется только на Надеждинском месторождении (Верхнеколымский район), два месторождения (Таймыльское каменного угля и богхедов и Куларское бурогоугольное) находятся в распределенном фонде,

однако добычные работы не ведутся. Все остальные месторождения числятся в нераспределенном фонде недр.

На территории северо-восточных районов АЗ РС(Я) имеются уже разведанные месторождения бурых (Куларское, Уяндинское, Согинское, Эликчанское) и каменных (Краснореченское и Тихонское) углей (табл. 1). Часто рядом с открытыми месторождениями имеются не менее перспективные по углю площади, требующие разведки и оценки.

**Куларское месторождение бурого угля** расположено в восточной части Яно-Омолойского угленосного района. Месторождение по горнотехническим условиям пригодно для разработки открытым способом. Бурые угли этой залежи характеризуются невысоким уровнем качества: низкая степень метаморфизма, высокая зольность (средняя по месторождению — 33,9%), низкая калорийность рабочего топлива. Это обстоятельство стало основной причиной, по которой месторождение не было освоено в советское время.

**Уяндинское месторождение бурого угля** находится в 80 км от поселка Депутатский и связано с ним автозимником. Угли слабо метаморфизированные с линзами и прослоями льда или супеси. В целом по качеству они схожи с углями Куларского

Таблица 1. Сравнительная характеристика географических, геологических и горно-технологических условий месторождений угля в бассейнах рек Яна и Индигирка

Характеристика	Согинское месторождение, Нижнеленский угленосный бассейн	Куларское месторождение, Яно-Омолойский угленосный бассейн	Уяндинское месторождение, Яно-Омолойский угленосный бассейн	Краснореченское месторождение, Индигирско-Селенянский угленосный бассейн	Тихонское месторождение, Индигирско-Селенянский угленосный бассейн
Площадь, км <sup>2</sup>	0,6	6,0	14,7	1,8, два участка	1,5
Запасы, млн т	(А+В+С <sub>1</sub> ) — 9,2; С <sub>2</sub> — 1,4	(А+В) — 6,5; С <sub>1</sub> — 7,4, С <sub>2</sub> — 1,2	(А+В+С <sub>1</sub> ) — 7,7; С <sub>2</sub> — 2,9	В — 4,0; С <sub>1</sub> — 19,0	В — 2,9; С <sub>1</sub> — 0,8
Тип и марка угля	Бурый, 2Б	Бурый, Б	Бурый, Б	Каменный, Д, ДГ	Каменный, Ж, КЖ
Глубина вскрытия, м	5—20	6—23,8	5	5—15	15—20
Коэффициент вскрыши, м <sup>3</sup> /т	1—2,5	2,3	5	4—6	6
Мощность пластов средняя, м	1,7—15	1,3—2 (до 10,2)	2,5—8	0,6—7,2	0,6—2
Блилежащие населенные пункты	Тикси	Кулар, Куйга	Депутатский	Дружина, Чокурдах	Хонуу, Мома, Усть-Нера
Ближайшие реки	Сого	Яна, Омолон	Яна	Индигирка	Индигирка

Таблица 2. Качество завозимых и местных углей в бассейнах Яны и Индигирки

Месторождение, тип и марка угля	Массовая доля рабочей влаги средняя/предельная, %	Зольность средняя/предельная, %	Выход летучих веществ, %	Теплота сгорания высшая/низшая, ккал/кг	Массовая доля серы, %
<i>Завозимые</i>					
Джебарики-Хая, каменный, Д	10,0/12,0	17,0/25,0	41,3	7500/5200	0,3
Надеждинское, каменный, Ж	8,0/10,0	19,0/21,0	35,0	8300/6100	0,4
<i>Местные</i>					
Краснореченское, участок «Соголох», каменный, ДГ	—/16,0	18,0/23,0	42,0	7000/5286	0,8
Тихонское, каменный, Ж, КЖ	10/—	13,6/—	—	7069/5200	0,6
Куларское, бурый, Б	40,1/—	33,94/55,7	59,76	6359/3360	0,1
Уяндинское, бурый, Б	50/55,1	23,8/27,0	57,9—63,6	6050/1930	0,3
Согинское, бурый, 2Б	38,5/45,3	5,9/21	59	7932/6400	0,56

месторождения и относятся к низкокачественному энергетическому топливу. Средняя зольность углей по пластам изменяется от 18,5% до 27,0%. Теплотворная способность также невысока. Уяндинское месторождение наиболее разведано, а часть его запасов пригодна для открытой разработки.

Примером освоения запасов бурого угля на территории арктических районов может служить история разработки **Согинского месторождения**, находящегося в 14 км от поселка Тикси. С 1943 г. до середины 1960-х годов добывали порядка 50—70 тыс. т угля в год подземным способом. Угли бурые, малозольные (5,9%), малосернистые (0,56%), с повышенным содержанием влаги, как и на Куларском и Уяндинском месторождениях. Уголь использовался как энергетическое топливо для удовлетворения нужд порта и авиапорта Тикси, рыбного завода на мысе Быкова.

**Краснореченское каменноугольное месторождение**, расположенное в среднем течении Индигирки, включает в себя два разобщенных участка — Угольный (по прямой удален от судовой части реки на 18 км) и Соголох (1,5—4 км). Наиболее привлекательным с точки зрения разработки запасов открытым способом, транспортировки угля до берега реки в судовой период и обеспечения твердым топливом населенных пунктов в бассейне Индигирки является участок Соголох. Однако его отработка имеет потенциальные экологические риски, связанные с расположением вблизи особо охраняемой природной территории местного значения — ресурсного резервата «Зашиверск» Абыйского района. По сведениям Управления Роспотребнадзора по РС(Я) в окрестностях указанного месторож-

дения в 1812—1854 гг. была зафиксирована эпидемия натуральной оспы. Из-за этого перед началом горных работ на месторождении рекомендовано проведение специальных научных изысканий, направленных на актуализацию сведений об опасности заражения окружающей среды возбудителями этого заболевания.

**Тихонское каменноугольное месторождение** расположено в бассейне нижнего течения реки Тихон, впадающей в Индигирку. Дороги в районе месторождения отсутствуют. В зимнее время сообщение возможно только легкомоторным и оленьим транспортом, в летнее время — сплавом по Индигирке через пороги, крайне затрудняющие сообщение и снабжение при геолого-разведочных и горных работах. Объем запасов, пригодных к отработке открытым способом, позволяет обеспечить работу разреза мощностью 80 тыс. т угля в год на протяжении пяти лет. В целом запасы месторождения обеспечивают добычу в течение длительного времени (см. табл. 1). Хотя угли месторождения пригодны для коксования, из-за удаленности и труднодоступности месторождения они могут по экономическим критериям использоваться исключительно как энергетическое сырье. В 2000 г. была попытка создания малого предприятия ЗАО «Мома-Чох» для отработки запасов месторождения с целью обеспечения твердым топливом потребителей Момского района и замещения дорогостоящего завозного дизельного топлива. Однако предприятие просуществовало менее года и было закрыто.

Изучение качественных характеристик завозимых и местных углей показало, что с точки зрения потре-

**Таблица 3. Результаты технико-экономических расчетов по вариантам обеспечения топливом Кючусского месторождения золота**

Показатель	Разрез Джебарики-Хая	Месторождение					Привозное дизельное топливо
		Куларское	Уяндинское	Согинское	Краснореченское (Соголох)	Тихонское	
	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	4-й вариант	5-й вариант	6-й вариант	7-й вариант
Расстояние транспортирования, км	2528	266	466	658	900	1485	—
Капитальные затраты на строительство разреза, млн руб.	Нет	350—450	350—450	150	250—300	350-430	Нет
Цена угля на месте его отгрузки, тыс. руб./т (без НДС)	2,6	7,5	7,5	4,5	4,5	5,2	75,0 (цена франко станция)
Стоимость транспортировки и хранения, тыс. руб./т (без НДС)	27,1	4,5	7,9	10,3	15,1	19,6	37,0
Цена угля на месте потребления, тыс. руб./т	29,7	12	15,4	14,8	19,6	24,8	120,0
Количество потребляемого топлива, тыс. т	60	104,3	104,3	94,1	64	57,1	33,1
Удельная себестоимость выработки электроэнергии, руб./кВт·ч	12,6	9,3	11,5	10,1	9,6	10,3	25,3

бителей из местных лучше других угли Краснореченского и Тихонского месторождений, а худшие — бурые угли Уяндинского и Куларского месторождений (табл. 2).

*Оценка возможности использования угля для выработки электрической и тепловой энергии при освоении рудных и россыпных месторождений золота*

Основное потребление электроэнергии на предприятиях, добывающих и перерабатывающих золотосодержащую горную массу, связано с использованием горных (экскаваторы, буровые станки, дробильно-сортировочное оборудование, насосы и др.) и обогатительных машин и механизмов (дробилки, мельницы, грохота, конвейеры, промывочное оборудование, сепараторы, карты выщелачивания, гидрометаллургические цеха и др.). Их дополняют ремонтно-механическое и транспортное хозяйства, служебные помещения, жилой поселок.

Результаты итоговых технико-экономических расчетов и вариантное сравнение затрат на доставку угля до промплощадки на месторождении Кючус приведены в табл. 3 и на рис. 2.

При использовании дизельного топлива для генерации электрической и тепловой энергии на ТЭЦ себестоимость выработки 1 кВт·ч выше в 2—2,7 раза по сравнению с использованием углей и составляет 25,3 руб./кВт·ч.

Удельная себестоимость выработки электроэнергии наименьшая при использовании в качестве топлива углей, которые можно добывать на Куларском месторождении, — 9,3 руб./кВт·ч. Учитывая более низкое среди рассмотренных вариантов качество углей Куларского и Уяндинского месторождений, недропользователь может рассмотреть вопрос о добыче и доставке более качественных углей с ранее разрабатывавшегося Согинского месторождения, потребители которого уже имели опыт его относительно эффективного сжигания (котельные порта и аэропорта Тикси, рыбного завода на мысе Быкова и др.). Разница в стоимости угля Куларского и Краснореченского месторождений незначительна, однако с учетом рисков, связанных с освоением Краснореченского месторождения и сложной логистикой, использование этих углей более проблематично.

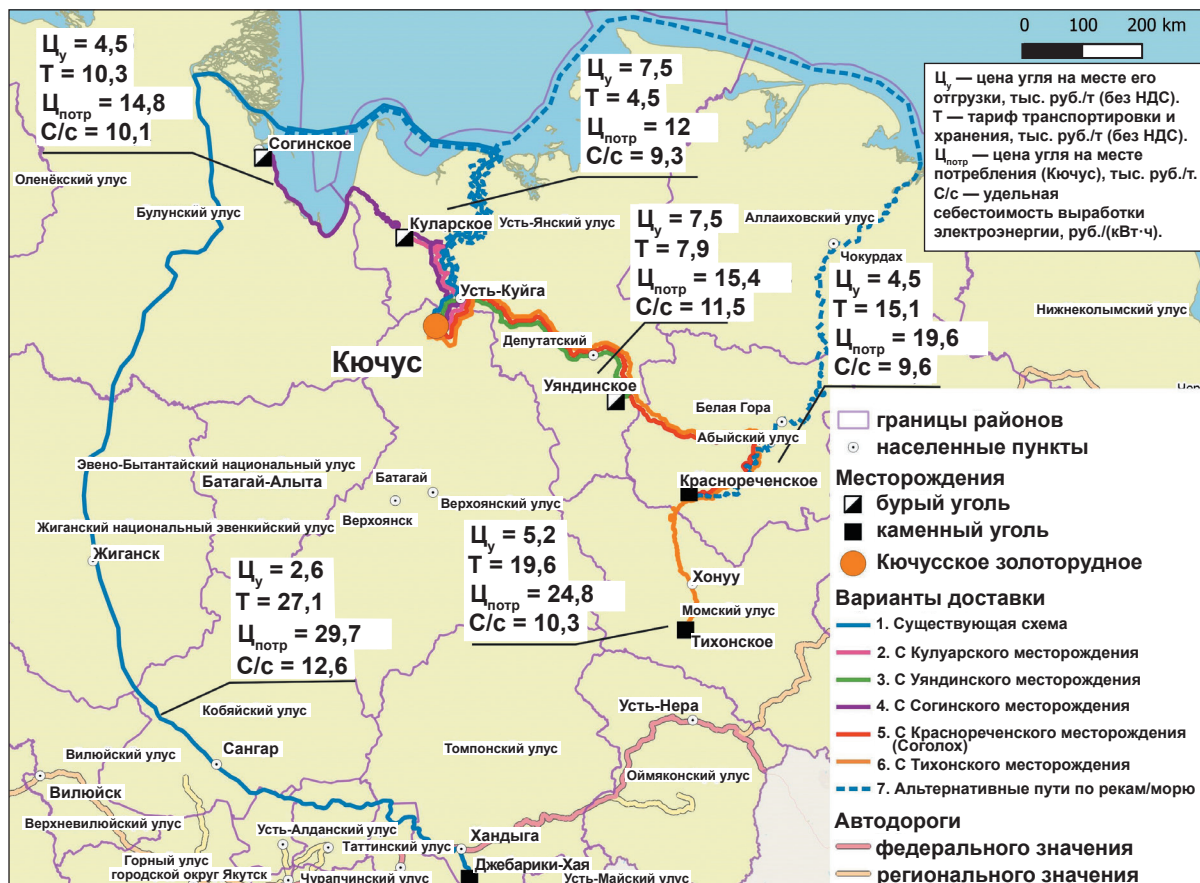


Рис. 2. Затраты на доставку угля по рассмотренным вариантам (составлено авторами на основе собственных расчетов и «© OpenStreetMap»)

Fig. 2. Coal delivery costs according to considered options (compiled by the authors based on their own calculations and "© OpenStreetMap")

Традиционно применяемым для выработки тепловой энергии в АЗ РС(Я), относительно доступным и подготовленным вариантом является обеспечение кючусской промплощадки привозными углями, отвечающими требованиям потребителя по качеству (месторождения Джебарики-Хая в Восточной Якутии, Кабактинское, Чульмаканское в Южной Якутии, угли Хабаровского края и др.). Однако следует учитывать, что этот вариант в генерации будет по предварительным расчетам дороже как минимум на 40%.

Полученные оценки, не претендующие на исчерпывающую полноту и точность, позволяют пересмотреть отношение к углю как одному из самых доступных и экономичных для региона виду топливно-энергетических ресурсов и провести их последующую сравнительную оценку с более дорогими возобновляемыми источниками [10] или атомной энергией [31].

**Заключение**

Предложенный методический подход и полученные результаты позволяют более полно оценить потенциал, роль и место угля, главным образом

местного, в выработке электрической и тепловой энергии для горно-обогатительных предприятий, ориентированных на реализацию проектов освоения рудных и россыпных месторождений АЗ РС(Я).

Анализ географо-экономических, горно-геологических условий, качества запасов угольных месторождений, которые находятся в непосредственной близости от рудных и россыпных месторождений золота и перспективных на него площадей на северо-востоке АЗ РС(Я), показал, что все они были разведаны и поставлены на баланс в советское время. Требуется дополнительная оценка целесообразности и эффективности их освоения по современным критериям с учетом ранее сформулированных требований к созданию и устойчивому функционированию угледобывающих предприятий малой производственной мощности в рассматриваемом регионе [32].

Угли Куларского и Уяндинского месторождений имеют очень высокие влажность и зольность. Более эффективное их использование возможно после дополнительной подготовки к сжиганию для повышения теплоты сгорания на рабочую массу, включая капиталоемкую глубокую переработку. За-

пасы Тихонского месторождения в большей степени пригодны к отработке подземным способом. Разведанных запасов угля, доступного к открытой добыче, крайне мало. При освоении Краснореченского месторождения имеются риски, связанные с потенциальными экологическими и природоохранными ограничениями. Использование углей Согинского месторождения в генерации будет дороже на 20% по сравнению с куларскими углями, однако качественные характеристики угля и подготовленность этого месторождения к добыче существенно лучше. Наиболее простой, доступный, но и более дорогой вариант организации снабжения топливом для выработки электроэнергии — использование привозного угля требуемого качества.

В связи с большим количеством углепроявлений в АЗ РС(Я) необходимы дополнительные работы по поиску, разведке и постановке на баланс таких месторождений, которые пригодны к более эффективной открытой добыче, локализованы максимально близко к рудным и россыпным месторождениям, точкам доступа к существующим и перспективным транспортным артериям, а также имеют качество угля, соответствующее современным технологиям утилизации.

При оценке перспектив разработки месторождений местного угля необходимо учитывать тенденции развития технологии добычи, предварительной подготовки, обогащения, глубокой переработки имеющихся и перспективных марок твердого топлива, а также возможности адаптации этих технологий к реальным условиям с учетом природных свойств угля и постоянно возрастающих требований экологической безопасности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Республики Саха (Якутия) в рамках научного проекта № 18-45-140048 р\_а «Разработка новых подходов к комплексному управлению качеством угля при разведке, добыче и поставках потребителям в труднодоступные районы Якутии».

## Литература

1. Указ Президента РФ «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» от 26 октября 2020 г. № 645. — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556/>.
2. Указ Президента РФ «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» от 5 марта 2020 г. № 164. — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73606526/>.
3. Закон Республики Саха (Якутия) «О Стратегии социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) на период до 2032 года с целевым видением до 2050 года» от 19 декабря 2018 г. 2077-3 № 45-VI. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/550299670>.
4. Костюченко С. Л. Минерально-сырьевая база как основа формирования социально-экономической политики в Арктике // *Минер. ресурсы России. Экономика и управление*. — 2017. — № 5. — С. 27—35.
5. Биев А. А. Формирование территориальной инфраструктуры обеспечения топливно-энергетическими ресурсами в Арктической зоне России // *Север и рынок: формирование экон. порядка*. — 2019. — № 3 (65). — С. 43—51. — DOI: 10.25702/KSC.2220-802X.2019.65.3.43-51.
6. Леонов С. Н., Заостровских Е. А. Потенциал восточной Арктики как катализатор развития Дальнего Востока России // *Арктика: экология и экономика*. — 2019. — № 4 (36). — С. 4—15. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-4-15.
7. Lindholt L., Glomsrod S. Phasing out coal and phasing in renewables — Good or bad news for arctic gas producers? // *Energy Economics*. — 2017. — Vol. 70. — P. 1—11. — DOI: 10.1016/j.eneco.2017.12.015.
8. Батугина Н. С., Гаврилов В. Л., Баракаева И. Д., Тарский Н. Д. Повышение энергобезопасности арктических районов Республики Саха (Якутия) на основе освоения местных топливно-энергетических ресурсов // *Минер. ресурсы России. Экономика и управление*. — 2014. — № 6. — С. 79—85.
9. Захаров В. Е., Козлов А. Н., Донской И. Г. Моделирование изменения теплоты сгорания угля при транспортировке до районов Крайнего Севера, на примере Республики Саха (Якутия) // *Изв. Акад. наук. Энергетика*. — 2018. — № 6. — С. 132—141. — DOI: 10.31857/S000233100003526-2.
10. Шакиров В. А., Тугузова Т. Ф., Музычук Р. И. Проблемы электроснабжения в коммунально-бытовом секторе Арктической зоны Республики Саха (Якутия) // *Арктика: экология и экономика*. — 2020. — № 4 (40). — С. 106—116. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-106-116.
11. Мартынов А. С., Артюхов В. В., Забелин С. И. и др. Энергопотребление и эко-энергетическая эффективность регионов с разной структурой экономики. Добывающие регионы / Эколого-энергет. рейтинговое агентство Интерфакс-ЭРА. — [Б. м.], 2013. — URL: <https://open-era.ru/analitika/obzory/dobyvayushchie-regiony>.
12. Верхозин С. С. Возобновляемые источники энергии на добыче полезных ископаемых. — URL: <https://zlotoddb.ru/article/11199>.
13. De Witt M., Stefánsson H., Valfell Á. Energy security in the Arctic: Policies and technologies for integration of renewable energy // *Arcticyearbook*. — 2019. — URL: <https://arcticyearbook.com/arcticyearbook/2019/2019-briefing-notes/329-energy-security-in-the-arctic-policies-and-technologies-for-integration-of-renewable-energy>.
14. Андрианов А. А., Квятковский С. А., Купцов И. С., Птицын П. Б. Многокритериальная сравнительная оценка и ранжирование энерготехнологий на основе подходов NEEDS и KIND // *Изв. РАН. Энергети-*



- ка. — 2020. — № 5. — С. 40—59. — DOI: 10.31857/S0002331020050040.
15. Санеев Б. Г., Иванова И. Ю., Корнеев А. Г. Оценка электрических нагрузок потенциальных проектов освоения месторождений минерально-сырьевых ресурсов в восточных регионах Арктической зоны Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 1 (37). — С. 4—14. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-4-14.
16. Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года / Отв. ред. Н. А. Петров. — Якутск; Иркутск: Медиа-холдинг «Якутия», 2010. — 328 с.
17. Гаврилов В. Л., Шепелева Е. Г. О роли угля в обеспечении полярных районов Якутии // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера — 2016: Материалы Пятого Всероссийского научного семинара (21—23 сентября 2016 г., Сыктывкар): В 2 ч. — Ч. 1. — Сыктывкар: ООО «Юми респ. тип.», 2016. — С. 286—292.
18. Угольная база России. — Т. 5. — Кн. 2: Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-ов Камчатка). — М., 1999.
19. Государственный запас полезных ископаемых Российской Федерации. На 1 января 2019 г. Уголь. — Т. 8: Дальневост. федер. округ. — М., 2019.
20. Логвинов М. И. Стратегические приоритеты освоения угольного ресурсного потенциала Арктической зоны России // Минер. ресурсы России. Экономика и управление. — 2019. — № 3. — С. 29—33.
21. Tabachkova X., Prosekov S., Sokolinskaya N. Energy system structure in Russian Arctic: coal production forecast // Intern. J. of Energy Economics and Policy. — 2020. — № 10 (3). — P. 476—481. — URL: <https://doi.org/10.32479/ijeep.9000>.
22. Pronina N. V., Makarova E. Yu., Bogomolov A. Kh. et al. Geology and coal bearing capacity of the Russian Arctic in connection with prospects of development of the region // Georesursy. — 2019. — Vol. 21, iss. 2. — P. 42—52. — DOI: 10.18599/grs.2019.2.42-52.
23. Vyalyov V. I., Gurevich A. B., Volkova G. M. et al. Coking coals of the Arctic zone of Russia // Georesursy. — 2019. — Vol. 21, iss. 3. — P. 107—124. — DOI: 10.18599/grs.2019.3.107-124.
24. Катин В. Д., Маслов Г. Ф., Долгов Р. В. Новые наилучшие доступные технологии сжигания топлива в печных и котельных установках: Монография. — М.: Изд-во «Спутник +», 2019. — 175 с.
25. Кучин Г. П., Скрипко В. Я., Сигал А. И., Быко-рез Е. И. Перспективы сжигания низкосортного твердого топлива в топках кипящего слоя отопительных котлов мощностью до 1 мВт // Пром. теплотехника. — 2009. — № 4. — С. 51—55.
26. Стенников В. А., Петров Н. А., Иванова И. Ю. и др. Проблемы и направления развития теплоснабжения Республики Саха (Якутия) в среднесрочной перспективе // Энергет. политика. — 2018. — № 1. — С. 64—74.
27. Асаул А. Н., Асаул М. А., Левин Ю. А., Платонов А. М. Энергоснабжение изолированных территорий в контексте привлечения инвестиций и развития экономики региона // Экономика региона. — 2020. — № 3. — С. 884—895. — DOI: 10.17059/ekon.reg.2020-3-16.
28. Месторождение «Гросс». Горно-обогатительный комбинат «Гросс». Угольная ТЭЦ 16 МВт. — URL: <https://tep-soyuz.com.ua/index.php/proekty/tekushchie-proekty/73-stroitelstvo-tets-16-mvt-na-kamennom-ugle-mestorozhdeniya-gross-respublika-sakha-yakutiya>.
29. Техничко-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций и подсчет запасов рудного золота месторождения Гросс по результатам разведочных работ (по состоянию на 01.01.2014 г.). — В 3 т. — Т. 2. — Кн. 3: Текст отчета (Инфраструктура и Генплан). — [Б. м.], 2014. — 73 с. — URL: <http://geofond14.ru/katalogi/>.
30. Комплексный анализ текущего социально-экономического развития арктической территории Республики Саха (Якутия) за период 2010—2017 гг. — URL: <https://economy.gov.ru/material/file/3edaa61b13e3b045ad4a073871ff55ee/023402301002.pdf>.
31. Саркисов А. А., Смоленцев Д. О., Антипов С. В. и др. Экономическая эффективность и возможности применения атомных энергоисточников мегаваттного класса в Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 1. — С. 4—14. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-4-14.
32. Ткач С. М., Гаврилов В. Л., Батугина Н. С. и др. Геотехнологические требования к созданию угольных разрезов в заполярной зоне Якутии // Горный информ.-аналит. бюл. — 2015. — № 7 (спец. выпуск № 30). — С. 152—162.

### Информация об авторах

**Батугина Наталья Сергеевна**, доктор экономических наук, главный научный сотрудник, доцент, Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения РАН (677980, Россия, Якутск, просп. Ленина, д. 43), e-mail: [batuginan@mail.ru](mailto:batuginan@mail.ru).

**Гаврилов Владимир Леонидович**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения РАН (677980, Россия, Якутск, просп. Ленина, д. 43), e-mail: [gvlugorsk@mail.ru](mailto:gvlugorsk@mail.ru).

Хоютанов Евгений Александрович, кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения РАН (677980, Россия, Якутск, просп. Ленина, д. 43), e-mail: khoiutanov@igds.ysn.ru.

Попова Куннэй Семеновна, аспирант, Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения РАН (677980, Россия, Якутск, просп. Ленина, д. 43), e-mail: pk7-77@mail.ru.

### Библиографическое описание данной статьи

Батугина Н. С., Гаврилов В. Л., Хоютанов Е. А., Попова К. С. Оценка вариантов завоза и использования угля при освоении месторождений золота Арктической зоны Республики Саха (Якутия) // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, № 2. — С. 152—163. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-152-163.

---

## ASSESSMENT OF COAL SUPPLY AND USE IN THE DEVELOPMENT OF GOLD DEPOSITS IN THE ARCTIC ZONE OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Batugina, N. S., Gavrilov, V. L., Khoiutanov, E. A., Popova, K. S.

N.V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Yakutsk, Russian Federation)

The article was received on February 10, 2021

### Abstract

The article considers various options for providing gold mining enterprises in the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia) with fuel and energy resources to generate electricity for industrial needs. The authors assess the possibility of organizing the power supply for the operation of the mines using the resources of local coal deposits. The Soginsky brown coal and Krasnorechensk coal deposits are most suitable for mining.

The research proves that the use of coal in generation can reduce the cost of power supply in the development of ore and placer deposits. They determined that the lowest unit cost of electricity generation is achieved when brown coal from the Kularski deposit is used as fuel (9.3 rub/kW·h). The use of coals from the Soginsky deposit is 20% more expensive than the Kularsky coals, but the quality characteristics of the coal and the readiness of the deposit for mining are significantly better. The most accessible, but more expensive option for organizing the supply of coal to gold deposits is the use of imported coal of the required quality. The authors outline the necessity of additional appraisal of coal resource potential of the Arctic zone of Yakutia on the base of contemporary economic criteria. There is a need to clarify the extent of coal production and to determine the importance of coal in investment projects in the northeast of Arctic zone of Yakutia.

**Keywords:** Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia), mineral resources, gold, development, energy source, power supply, coal deposits, efficiency.

Russian Foundation for Basic Research and the government of the Republic of Sakha (Yakutia) of the Russian Federation financially supported the research within the framework of scientific project No. 18-45-140048 r\_a “Development of new approaches to the coal quality management in the exploration, mining and supply to consumers in hard-to-reach regions of Yakutia”.

### References

1. Decree of the President of the Russian Federation “About The Strategy of development of Arctic zone of the Russian Federation and Ensuring National Security up to 2035” no. 645 of October 26, 2020. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556/>. (In Russian).
2. Decree of the President of the Russian Federation “About Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the Arctic for the period up to 2035” no. 164 of March 5, 2020. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73606526/>. (In Russian).
3. Decree of the Republic of Sakha (Yakutia) “About The strategy of socio-economic development until 2032 with a target vision to 2050” 2077-3 № 45-VI of December 19, 2018/ Available at: <http://docs.cntd.ru/document/550299670/>. (In Russian).

4. Kostyuchenko S. L. Mineral resource base as the basis for the formation of social and economic policy in the Arctic. *Miner. resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 2017, no. 5, pp. 27—35. (In Russian).
5. Biev A. A. Formation of territorial infrastructure for fuel and energy resources supply in the Russian Arctic zone. *Sever i rynek: formirovanie ekon. poryadka*, 2019, no. 3 (65), pp. 43—51. DOI: 10.25702/KSC.2220-802X.2019.65.3.43-51. (In Russian).
6. Leonov S. N., Zaostrovskikh E. A. The Eastern Arctic facilities accelerate the Russian Far East development. *Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy]*, 2019, no. 4 (36), pp. 4—15. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-4-15. (In Russian).
7. Lindholt L., Glomsrod S. Phasing out coal and phasing in renewables — Good or bad news for arctic gas producers? *Energy Economics*, 2017, vol. 70, pp. 1—11. DOI: 10.1016/j.eneco.2017.12.015.
8. Batugina N. S., Gavrilov V. L., Barakaeva I. D., Tarskii N. D. The improvement of energy security in the transpolar regions of the Republic of Sakha (Yakutia) based on the development of local fuel and energy resources. *Miner. resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 2014, no. 6, pp. 79—85. (In Russian).
9. Zaharov V. E., Kozlov A. N., Donskoi I. G. Modeling of changes in the heating value of coal transported to Russia's Far North regions on the example of the Republic of Sakha (Yakutia). *Izvestiya Akad. nauk. Energetika*, 2018, no. 6, pp. 132—141. DOI: 10.31857/S000233100003526-2. (In Russian).
10. Shakirov V. A., Tuguzova T. F., Muzychuk R. I. Problems of power supply in the public utility sector of the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia). *Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy]*, 2020, no. 4 (40), pp. 106—116. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-106-116. (In Russian).
11. Martynov A. S., Artyukhov V. V., Zabelin S. I., Mirutenko M. V., Ryzhov I. N. Energy consumption and eco-energy efficiency of regions with different economic structures. *Mining regions. Ekologo-energet. reitingovoe agentstvo Interfaks-ERA*, 2013. Available at: <https://open-era.ru/analitika/obzory/dobyvayushchie-regiony>. (In Russian).
12. Verhozin S. S. Renewable energy resources for the extraction of minerals. Available at: <https://zolotodb.ru/article/11199>. (In Russian).
13. De Witt M., Stefánsson H., Valfells Á. Energy security in the Arctic: Policies and technologies for integration of renewable energy. *Arcticyearbook*, 2019. Available at: <https://arcticyearbook.com/arctic-yearbook/2019/2019-briefing-notes/329-energy-security-in-the-arctic-policies-and-technologies-for-integration-of-renewable-energy>.
14. Andrianov A. A., Kvyatkovskii S. A., Kuptsov I. S., Ptitsyn P. B. Multi-criteria comparative assessment and ranking of energy technologies based on the NEEDS and KIND approaches. *Izvestiya RAN. Energetika*, 2020, no. 5, pp. 40—59. DOI: 10.31857/S0002331020050040. (In Russian).
15. Saneev B. G., Ivanova I. Yu., Korneev A. G. Assessment of electrical loads of potential projects for the development of mineral resources in the eastern regions of the Arctic zone of the Russian Federation. *Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy]*, 2020, no. 1 (37), pp. 4—14. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-4-14. (In Russian).
16. Energy Strategy of the Republic of Sakha (Yakutia) for the period up to 2030. *Otv. red. N. A. Petrov. Yakutsk; Irkutsk, Yakutia Media Holding*, 2010, 328 p. (In Russian).
17. Gavrilov V. L., Shepeleva E. G. On the role of coal in providing the polar regions of Yakutia. *Aktual'nye problemy, napravleniya i mekhanizmy razvitiya proizvoditel'nyh sil Severa — 2016: Materialy Pyatogo Vserossijskogo nauchnogo seminara (21—23 sentyabrya 2016 g., Syktyvkar): v 2 ch. Syktyvkar: OOO "Komi resp. tip."*, 2016, part. I., pp. 286—292. (In Russian).
18. Coal base of Russia. Vol. 5. Book 2: Coal basins and deposits of Far East of Russia (Republic of Sakha, NorthEast, Sakhalin Island, Kamchatka Peninsula). *Moscow*, 1999. (In Russian).
19. State reserve of minerals of the Russian Federation. January 1, 2019, Coal. Volume 8. Far Eastern Federal District. *Moscow*, 2019. (In Russian).
20. Logvinov M. I. Strategic priorities of assimilation of coal resource potential of the Russian Arctic zone. *Miner. resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 2019, no. 3, pp. 29—33. (In Russian).
21. Tabachkova X., Prosekov S., Sokolinskaya N. Energy system structure in Russian Arctic: coal production forecast. *Intern. J. of Energy Economics and Policy*, 2020, no. 10 (3), pp. 476—481. Available at: <https://doi.org/10.32479/ijeep.9000>.
22. Pronina N. V., Makarova E. Yu., Bogomolov A. Kh., Mironov D. V., Kuzevanova E. V. Geology and coal bearing capacity of the Russian Arctic in connection with prospects of development of the region. *Georesursy*, 2019, vol. 21, iss. 2, pp. 42—52. DOI: 10.18599/grs.2019.2.42-52.
23. Vyalov V. I., Gurevich A. B., Volkova G. M., Skiba D. A., Shishov E. P., Chernyshev A. A. Coking coals of the Arctic zone of Russia. *Georesursy*, 2019, vol. 21, iss. 3, pp. 107—124. DOI: 10.18599/grs.2019.3.107-124.
24. Katin V. D., Maslov G. F., Dolgov R. V. New best available technologies for combustion of fuel in furnace and boiler plants. *Monografiya. Moscow, Izd-vo "Sputnik +"*, 2019, 175 p. (In Russian).
25. Kuchin G. P., Skripko V. Ya., Sigal A. I., Bykorez E. I. Prospects for combustion of low-grade solid fuel in fluidized bed furnaces of heating boilers with a capacity of up to 1 MW. *Prom. teplotekhnika*, 2009, no. 4, pp. 51—55. (In Russian).
26. Stennikov V. A., Petrov N. A., Ivanova I. Yu., Dobrovol'skaya T. V., Pavlov N. V. Problems and areas of heat supply development in the Sakha Republic (Yakutiya) in the medium term. *Energet. politika*, 2018, no. 1, pp. 64—74. (In Russian).

27. Asaul A. N., Asaul M. A., Levin Yu. A., Platonov A. M. Energy supply to isolated areas: attracting investment and developing regional economy. *Ekonomika regiona*, 2020, no. 3, pp. 884—895. DOI: 10.17059/ekon.reg.2020-3-16. (In Russian).
28. The Gross field. Mining and processing plant “Gross”. Coal-fired power plant 16 MW. Available at: <https://tep-soyuz.com.ua/index.php/proekty/tekushchie-proekty/73-stroitelstvo-tets-16-mvt-na-kamenom-ugle-mestorozhdeniya-gross-respublika-sakha-yakutiya>. (In Russian).
29. Feasibility study of permanent exploration conditions and calculation of ore gold reserves of the Gross deposit based on the results of exploration work (01.01.2014). In 3 vol. Vol. 2. Book 3. Text of report (Infrastructure and general plan. 73 p. Available at: <http://geofond14.ru/katalogi/>. (In Russian).
30. Comprehensive analysis of the current socio-economic development of the Arctic territory of the Republic of Sakha (Yakutia) for the period 2010—2017. Available at: <https://economy.gov.ru/material/file/3edaa61b13e3b045ad4a073871ff55ee/023402301002.pdf>. (In Russian).
31. Sarkisov A. A., Smolentsev D. O., Antipov S. V., Bilashenko V. P., Shvedov P. A. Economic Efficiency and Possibilities of Using Megawatt-class Nuclear Power Sources in the Arctic. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2018, no. 1 (29), pp. 4—14. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-4-14. (In Russian).
32. Tkach S. M., Gavrilov V. L., Batugina N. S., Khoiutanov E. A., Fedorov V. I. Geotechnical requirements for the creation of small-scale open-pits coal mines in polar zone of Yakutia. *Gornyj inform.-analit. byul.*, 2015, no. 7 (Spec. vypusk no. 30), pp. 152—162. (In Russian).

---

### Information about the authors

**Batugina, Natalia Sergeevna**, Doctor of Economy, Chief Researcher, N.V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of the RAS (43, Lenin street, Yakutsk, Russia, 677980), e-mail: batuginan@mail.ru.

**Gavrilov, Vladimir Leonidovich**, PhD of Engineering Science, Leading Researcher, N.V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of the RAS (43, Lenin street, Yakutsk, Russia, 677980), e-mail: gvlugorsk@mail.ru.

**Khoiutanov, Evgenii Alexandrovich**, PhD of Engineering Science, Researcher, N.V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of the RAS (43, Lenin street, Yakutsk, Russia, 677980), e-mail: khoiutanov@igds.ysn.ru.

**Popova, Kunnei Semyonovna**, Postgraduate, N.V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of the RAS (43, Lenin street, Yakutsk, Russia, 677980), e-mail: pk7-77@mail.ru.

### Bibliographic description of the article

**Batugina, N. S., Gavrilov, V. L., Khoiutanov, E. A., Popova, K. S.** Assessment of coal supply and use in the development of gold deposits in the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia). *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2021, vol. 11, no. 2, pp. 152—163. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-152-163. (In Russian).