

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОРФА АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ РОССИИ

Б.Н. Заровняев¹, В.Ф. Попов¹, Г.В. Шубин¹, М.Е. Будикина¹, М.Д. Соколова²

¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия,
e-mail: mine_academy@mail.ru

² ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

Аннотация: Объекты жизнеобеспечения Арктических и Субарктических районов России в силу суровых природно-климатических условий потребляют большое количество энергоносителей, в основном угля, завозимого из центральной полосы водным транспортом через Северный морской путь (2–3 тыс. км) в летний период. Это в 3–4 раза удорожает их стоимость. С другой стороны, хорошей альтернативой привозному топливу является торф, имеющийся на месте потребления. Основным потребителем торфяного топлива может быть Верхоянский район республики Саха (Якутия), являющийся объектом исследований. В статье приводятся перспективные месторождения торфа в районе, условия их залегания, возможные объемы добычи. Рассмотрены наиболее распространенные способы добычи торфа: фрезерный, гидравлический, багерный, скреперно-элеваторный, элеваторный, резной, фрезформовочный, экскаваторный и другие, с полевой сушкой и уборкой торфа. Однако из-за сильной заболоченности тундровой зоны названные способы добычи торфа в условиях Арктики не могут быть использованы. В связи с этим, наиболее перспективным является зимняя добыча торфа в мерзлом состоянии с предварительным георадиолокационным мониторингом толщины мерзлого слоя. Для этого представлены предварительные исследования температурного режима пород деятельного слоя, включая торфяные залежи. Такая технология добычи обеспечит максимальное сохранение ландшафта и будет экологически безопасной.

Ключевые слова: Арктические и Субарктические районы, месторождения торфа, многолетняя мерзлота, способы разработки, температурный режим, сезонномерзлый слой, среднегодовая температура и осадки, георадиолокационный мониторинг, зимняя добыча.

Для цитирования: Заровняев Б.Н., Попов В.Ф., Шубин Г.В., Будикина М.Е., Соколова М.Д. Перспективы освоения месторождений торфа Арктических и Субарктических районов России // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6. – С. 168–177. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-168-177.

Prospects of peat development in the Arctic and Subarctic zones of Russia

B.N. Zarovnyaev¹, V.F. Popov¹, G.V. Shubin¹, M.E. Budikina¹, M.D. Sokolova²

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia,
e-mail: mine_academy@mail.ru

² Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Russia

Abstract: The vital infrastructure of Russia's Arctic and Subarctic, in view of severe nature and climate, consumes much energy sources, mostly, coal shipped from central Russia by water transport via the Northern Sea Route (2–3 thousand kilometers) in summer. This raises the cost 3–4 times. A good alternative to the imported fuel is local peat. The principal consumer of peat as a fuel can be the Verkhoyansk Region in the Republic of Sakha (Yakutia), which is the subject of research. This article describes the promising deposits of peat in this region, peat occurrence conditions and possible production output. The scope of the discussion embraces the most popular methods of peat production: milling, hydraulic, dredging, scraper-elevator, cutting, milling-and-forming, shoveling, etc., with field curing and harvesting. However, because of high bogginess of the tundra zone, the listed methods of peat production are unusable. In this regard, the most promising approach is winter production of frozen peat with preliminary monitoring of the frozen thickness by ground penetrating radar. The earlier studies into the temperature conditions of the active soil layers, including peat beds, are presented. The chosen technology will ensure maximum preservation of landscape and ecological safety.

Key words: Arctic and Subarctic zones, peat beds, permafrost, mining methods, temperature conditions, seasonally frozen layer, yearly average temperature and precipitation, ground penetrating radar, winter production.

For citation: Zarovnyaev B. N., Popov V. F., Shubin G. V., Budikina M. E., Sokolova M. D. Prospects of peat development in the Arctic and Subarctic zones of Russia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6):168-177. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-168-177.

Введение

Мировой опыт рационального использования энергетического сырья показывает все возрастающее вовлечение в хозяйственный оборот месторождений торфа, которыми богаты Субарктические районы, и совершенствование технологии разработки, использование новой техники и технологий [1, 2].

Верхоянский район республики Саха (Якутия), являющийся основным объектом исследований, входит в субарктическую зону, все населенные пункты за редким исключением находятся за Северным полярным кругом. Экстремальные природно-климатические условия, очаговый характер расселения с низкой плотностью населения, удаленность и зависимость хозяйственной деятельности от поставок топлива и других ресурсов определяют особенности государственной политики в этом регионе.

Одной из ее главных целей является использование возобновляемых и альтернативных, в том числе местных, источников энергии, реконструкция и мо-

дернизация выработавших ресурс энергетических установок, внедрение энергосберегающих материалов и технологий. Район известен экстремально низкими температурами, здесь была зарегистрирована самая низкая температура северного полушария — минус 67,8 °С. Среднегодовая температура воздуха — 11,4 °С. Климат района принадлежит к субарктическому климатическому поясу.

Постановка проблемы

Объекты жизнеобеспечения требуют повышенной надежности. Общая потребность в каменном угле на выработку тепловой энергии составляет до 70 тыс. т. Завоз топливно-энергетических ресурсов связан с большими финансовыми затратами в связи со сложностью транспортных схем и удаленностью района, малыми объемами потребления топлива отдельными пользователями. Расстояние от пос. Батагай до столицы республики г. Якутска составляет наземным путем — 1068 км, водным — 2785 км, воздушным — 660 км. Район относится

к горной зоне, рельеф — горно-таежный. Центральную часть Верхоянского района занимает Янское плоскогорье, на западе — хребты Верхоянский, Орулган, на северо-западе — хребты Кулар, на востоке — горные цепи хребта Черского. Абсолютные высоты высокогорья достигают 2000 — 3000 м.

Обсуждение

Котельные ГУП ЖКХ РС(Я) в Верхоянском районе топятся углем из месторождения Джебарики-Хая, расположенного в 3127 км водным путем от пос. Верхоянск. Таким образом, основной объем доставки угля осуществляется по рекам Алдан — Лена — морю Лаптевых — реке Яна, что связано не только с использованием протяженных участков водных речных и морских путей, но и с короткими периодами судоходности, а также продолжительными сроками речной и морской навигаций. Это обуславливает промежуточные 2—3 перевалки, межнавигационное хранение в устьях рек, соответственно, потери качества угля, снижение его потребительских свойств. Первое плечо по рекам Алдан и Лена до Быковской протоки составляет 1900 км. Второе плечо осуществляется по морскому участку до порта Нижнеянск (побережье Ледовитого океана) протяженностью 353 км. От пос. Нижнеянск до г. Верхоянск расстояние по водному пути составляет 874 км. Далее уголь из портов на р. Яна распределяется по конечным потребителям автомобильным транспортом по автозимникам. Автомобильным транспортом также доставляется не доvezенный во время навигации водным транспортом плановый объем угля с межнавигационных складов, в чрезвычайных условиях доставка угля может осуществляться из шахты Джебарики-Хая частично по Магаданской трассе протяженностью более 1200 км.

Таким образом, транспортная часть стоимости угля составляет более 80%, из них водный фрахт составляет от 70 до 90%. Наиболее сложной для судоходства является р. Яна, навигация на реке имеет крайне ограниченные сроки действия. Часто период навигации осложняется низкими уровнями воды — обмелением реки, что обуславливает недогрузку судов, а то и невозможность движения судов, в том числе и на участке поселков Нижнеянск и Усть-Куйга. Река Яна относится к горным рекам с характерными высокими скоростями течения, резкими подъемами и спадами уровня воды [3].

В Верхоянском районе 26 котельных, принадлежащих ГУП ЖКХ (РСЯ) топятся углем из Джебарики-Хаинского месторождения. Уголь доставляется в несколько этапов, с перевалкой грузов в поселках Нижнеянское и Усть-Куйга. При этом транспортная составляющая в стоимости угля в несколько раз превышает закупочную стоимость. Так, в 2016 г. стоимость одной тонны каменного угля в Верхоянском районе достигла 16 727 руб., в то же время, в Джебарики-Хая уголь закупается за 3812 руб. В сложившихся условиях наиболее приемлемым выходом является использование в качестве альтернативы привозному каменному углю местный торф. По предварительным расчетам себестоимость добычи торфа в Верхоянском районе с учетом транспортировки составляет 3422,18 руб./т. Это позволяет сделать вывод о перспективности добычи торфа в Арктических районах с использованием георадиолокационного исследования торфяной залежи.

Разведка в Верхоянском районе велась Табалахской торфяной партией в 1941 — 1954 гг. [4]. Работы экспедиции свидетельствуют о наличии на территории района примерно 60 млн т торфа в воздушно-сухом состоянии. Торфяные

месторождения рассеяны на большой территории, из них наибольший интерес для освоения представляют месторождения Ылах и Хотогор, принадлежащие к котловинам озер Хотогор и Ылах, расположенных соответственно в 4 и 8 км от с. Улахан-Кюель (Табалаах) Верхоянского района Республики Саха (Якутия) с запасами по категории С в объеме 2,5 млн т. Общий запас этих двух месторождений составляет более 60% от запаса торфа всей промышленной Табалахской группы. Общая площадь полезной топливной залежи и общий полезный топливный запас по обоим месторождениям составляет 961 га и свыше 18 млн м³. По степени разложения торфа (45 – 55%) они являются хорошими топливными объектами. По зольности эти месторождения относятся к умеренно-зольным, по происхождению являются низинными гипно-восковыми торфяниками. Средняя зольность колеблется от 8% до 18,5% на абсолютно-сухое вещество. Теплотворная способность колеблется от 4284 до 5073 ккал на 1 кг абсолютно-сухого вещества и от 2800 до 3380 ккал на воздушно-сухое вещество с 33% рабочей влажностью. Возможно снижение зольности торфяного топлива за счет получения торфо-древесных композиций с использованием щепы лиственницы [4].

Месторождения Ылах и Хотогор состоят из приозерной и подоцерной частей. Глубина воды в озере в основном колеблется от 1,0 до 1,5 м. Торфяная залежь имеет непрерывные границы и почти ровный в целом по месторождению слой торфа. Приозерные заторфованные площади в настоящее время являются подсушенными, вследствие понижения горизонта воды в озерах и покрыты болотной, луговой злаково-разнотравной растительностью. Встречаются и пересушенные участки – взбугренные береговые валы с обнажен-

ным торфом, лишенные всякой растительности. Растительность на приозерных площадях разная в соответствии с меняющимся микро-мезорельефом этих площадей. Торф находится в мерзлом состоянии, оттаивая к концу лета лишь на глубину 0,5 м. При высыхании он обычно рассыпается и растрескивается в тонкий порошок.

На месторождениях Хотогор и Ылах имеется явление пучения, вдоль границы озера образуются бугры, далее (при наличии торфяной залежи более 0,8 м) – сырые луга со слабо выраженным полигональным рельефом. В зоне между промышленной границей и нулевой сушей хорошо проявляются мерзлотные полигоны с деградацией в виде небольших водоемов. Имеются заросли кустарника, а также разреженные древостои [5].

Для организации добычи торфа необходимо выполнить оценку торфяного месторождения в соответствии с современными требованиями в объеме детальной разведки, а также определить технологию добычи и сушки добытого торфа.

Так как торф относится к недорогим и доступным видам местного сырья для получения тепла, производства различного рода продукции народного потребления, разработка технологии добычи является весьма актуальной научно-технической задачей. Для нужд Арктических и Субарктических районов торф можно использовать по трем направлениям: в энергетике (в качестве топлива для отдаленных районов); в сельском хозяйстве (органические, органоминеральные удобрения на основе торфа, торфяная подстилка и т.д.); в строительной отрасли (в качестве теплоизоляционных и конструкционных материалов).

В районе г. Нарьян-Мар проводились многолетние крупномасштабные эксперименты и опыты по добыче кускового

торфа фрезформовочным методом, которые показали высокую жизнеспособность, выгодность и необходимость разработанной технологии добычи послойным способом. Для этого Калининским политехническим институтом были спроектированы и созданы фрезформовочные машины КДН-2, КДН-2Н, МПДМ-1 и др., послойно разрабатывающие залежь на глубину до 150 мм за один цикл. Процесс добычи торфа на месторождениях с вечной мерзлотой осуществлялся после оттаивания верхнего слоя торфа. При этом оттаявший слой незначителен по глубине, что не позволяет применить в таких условиях экскаваторный способ добычи. Таким образом, практика показала возможность добычи торфа в специфических условиях Крайнего Севера поверхностно-послойным способом. Торфодобывающие машины с использованием этого способа могут работать при небольшой глубине оттаявшего слоя, а добытые кирпичи (или куски различной формы) торфа-сырца можно уложить в высокие фигуры сушки, оторвав большую их часть от влажного подстилающего слоя [6].

В целом сам мировой опыт добычи торфа в зоне многолетнемерзлых грунтов не вышел из стадии научных экспериментов. Технично-экономические условия добычи торфа на Табалахском месторождении обусловлены его географическим положением, которое характеризует территорию не только как труднодоступную, но и определяет сложность условий добычи, связанных с климатом, орографией, инженерно-геологическими, геокриологическими и гидрологическими условиями, а также экологической ранимостью ландшафтов северной природы. Одним из осложняющих добычу торфа факторов является субарктический климат, где при низких температурах осадки, превышают испаряемость, вследствие чего наблюдается избыточ-

ное увлажнение, а наличие многолетнемерзлых пород, являясь водоупором вызывает повсеместную увлажненность и заболачивание в короткий летний период, что не позволяет использовать традиционную технологию добычи торфа и тяжелую технику в летний период. Относительная влажность составляет 70% даже в наиболее сухих местах.

Как показывает мировая практика, разработка месторождений торфа повсеместно ведется только открытым способом. Существует две основные технологические схемы целостной добычи торфа: сравнительно тонкими слоями с поверхности земли и глубокими карьерами на всю глубину торфяного пласта. Согласно первой из этих схем торф извлекают, вырезая верхний слой, согласно второй — экскаваторным (или кусковым) способом.

Известны многие способы добычи торфа: фрезерный, гидравлический, багерный, скреперно-элеваторный, элеваторный, резной, фрезформовочный и другие, они достаточно подробно представлены в работах [4 — 10]. Из них наиболее распространенными являются фрезерный способ добычи торфа — послойное фрезерование торфяной залежи с полевой сушкой и уборкой торфа, скреперно-бульдозерный способ добычи торфа — послойное рыхление поверхности торфяной залежи с образованием расстила торфяной крошки, полевая сушка и уборка, экскаваторный способ добычи кускового торфа — экскавация торфа из торфяной залежи, его переработка, транспортирование, формование с образованием расстила кускового торфа, полевая сушка и уборка, фрезформовочный способ добычи кускового торфа — целевое или послойное фрезерование торфяной залежи с формованием торфа, полевой сушкой и уборкой. Однако все вышеперечисленные способы добычи торфа предназначены для предваритель-

но высушенных торфяных месторождений и используют крупнотоннажную технику для добычи, сушки и формования. Такая технология в условиях болотистых мест арктических районов не может быть использована.

Результаты исследований работ отечественных и зарубежных авторов подтверждают перспективность использования торфяного сырья для обеспечения энергетических потребностей [11 – 13].

В работе [14] авторами предложено вести на месторождениях Хотогор и Ылах гидромеханизированную добычу торфа с акватории обоих озер, применяя сгущение, стилку и сушку на предварительно подготовленных площадках. Учитывая короткий период положительных температур в летнее время и субарктический климат, несомненно, возникнут проблемы, связанные с обезвоживанием и сушкой извлекаемого земснарядами водонасыщенного торфа. Кроме того, данная технология нарушает водный баланс озер, т.к. земснаряд высасывает озерную воду вместе с торфом, а также уничтожает фауну озера.

В настоящее время добыча торфа в условиях криолитозоны в промышленных объемах не осуществляется. Важнейшими условиями разрабатываемой технологии должны стать природосохраняющие качества и энергоэффективность, что может достигаться только инновационным подходом к ее разработке.

Мерзлая торфяная залежь обладает большой прочностью, и разработка такой залежи с целью получения топлива обычными методами с соблюдением традиционных технологий не представляется возможной. При наличии таких специфических условий было высказано предположение о возможности добычи торфа мерзло-кусовым способом, путем его разрезания различными пилами (баровыми, дисковыми, цепными пилами), выемки разрезанного куска грейферным

ковшом (либо другими приспособлениями) для последующей транспортировки кускового торфа на склад для сушки. Определенный интерес представляет использование природных возможностей региона по снижению влагосодержания мерзлых торфов за счет процесса их «вымораживания» и сублимационной сушки. Разработка малозатратного способа и компактных технических средств, основанных на использовании процесса сублимации для сушки местного кускового торфа, — одно из приоритетных направлений настоящего и ближайшего будущего при освоении Арктических регионов.

Выбор и использование способа разработки торфа в зимний период должен учитывать особенности климатических условий Якутии, обусловленными длительным периодом отрицательных температур (7 – 8 месяцев в году) и коротким летним периодом с максимальным количеством выпадающих осадков.

Мониторинг среднегодовой температуры и осадков в Верхоянском районе показал, что основные осадки приходятся на летний период. На рис. 1 представлены графики среднемесячных температур и количества осадков в указанном районе [15]. Представленный график температуры показывает продолжительность летнего периода (3 – 4 месяца), остальное время — зима, и массив находится в мерзлом состоянии, что создает благоприятные условия для зимней добычи торфа.

Весь Верхоянский район находится в зоне распространения многолетней мерзлоты, где глубина мерзлой толщи достигает до 700 м. В летний период деятельный слой оттаивает на глубину 1 – 1,5 м. На рис. 2 представлены термоизогипсы деятельного слоя, которые показывают, что оттаивание этого слоя происходит с мая по сентябрь. С октября деятельный слой начинает промер-

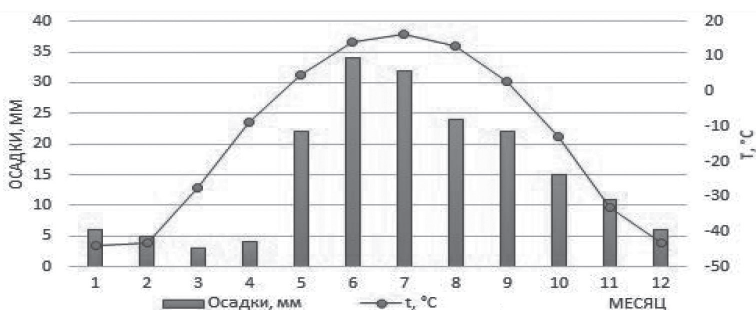


Рис. 1. Графики хода среднегодовой температуры и осадков в г. Верхоянск
 Fig. 1. Graph of yearly average temperature and precipitation in the Verkhoyansk town

зять, достигая основной массив мерзлой толщи в конце октября — ноябре, что делает возможным добычу торфа в мерзлом состоянии в зимний период.

Разработка торфяного месторождения в зимний период может осуществляться по следующей технологической схеме:

- подготовка подъездных зимних дорог;
- чистка рабочей зоны месторождения от толщи снега, кустарников и мелких деревьев;
- мониторинг мерзлотного состояния торфяного поля с использованием средств геолокации;
- подготовка и калибровка по мощности рабочего органа к резке и выемке мерзлого торфа;
- выемка кусков и транспортировка мерзлого торфа до места складирования;

- вымораживание и дальнейшая сушка торфяных кусков на площадках складирования.

В связи с этим для добычи торфа в болотистых местах в зимний период наиболее подходящим является кусковой способ добычи торфяного слоя — нарезка торфа в мерзлом состоянии с последующей уборкой и сушкой. Для этого сначала определяется толщина промерзания торфяного слоя одним из известных методов, например георадаром ОКО-2. Ввиду того, что торф представлен рыхлым отложением с ледяными включениями, а подстилающие породы более — плотными илисто-глинистыми породами с песчаником, суглинками, образуется четкая граница между мерзлым торфом и подстилающими породами, что легко определяется георадиолокационным зондированием [16].

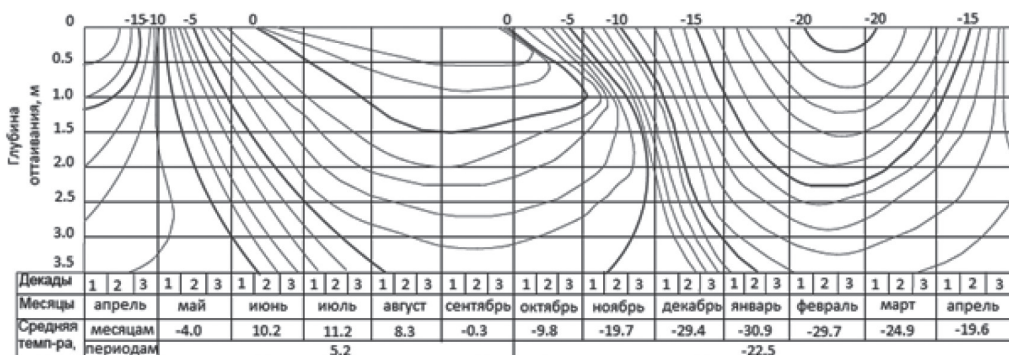


Рис. 2. Термоизогипсы деятельного слоя в Верхоянском районе
 Fig. 2. Thermo-contour lines of active layer in the Verkhoyansk Region

При разработке технологии производства необходимо самое серьезное внимание уделять способам защиты многолетне-мерзлого слоя почвогрунтов, деградация которых может привести к экологической катастрофе. Также необходимо проводить оценку воздействия создаваемого производства на окружающую среду и применять меры по снижению их негативного воздействия на природную среду.

В связи с вышеизложенным необходимо научное обоснование и разработка принципиально новых, экологически безопасных технологий добычи торфа в суровых природно-климатических условиях с использованием мерзлого состояния торфа. Предлагаемая технология добычи торфа в зимний период предполагает предварительное исследование торфяного поля для определения глубины промерзания торфяного слоя и граничных контуров, формирование продольных и поперечных полос путем выпиливания из массива блоков заданного размера, оптимального для последующих операций связанных с их добычей, осушением и подготовкой торфяных брикетов в летний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Heikkinen K., Karppinen A., S.Karjalainen M., Postila H., Hadzic M., Tolkkinen M., Marttila H., Ihme R., Kløve B.* Long-term purification efficiency and factors affecting performance in peatland-based treatment wetlands: An analysis of 28 peat extraction sites in Finland // *Ecological Engineering*. 2018. Vol. 117. Pp. 153 – 164.
2. *Jean de Dieu K. Hakizimana, Hyung-Taek Kim* Peat briquette as an alternative to cooking fuel. A techno-economic viability assessment in Rwanda // *Energy*. 2016. Vol. 102. Pp. 453–464.
3. *Захаров В. Е., Прохоров Д. В., Гаврилов В. Л.* Потери энергетической ценности рядового угля при доставке до Арктических потребителей Республики Саха (Якутия) // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2013. – № 5–6. – С. 13–22.
4. *Мельников А. Е., Колодезников И. И., Павлов С. С., Протопопов А. В.* Особенности месторождений торфа Табалахской группы и оценка возможности его использования в качестве котельного топлива для нужд Верхоянского района РС(Я) // *Наука и образование*. – 2012. – № 4. – С. 24–28.
5. *Панов В. В., Протопопов А. В.* Об особенностях генезиса реликтовых торфяных болот Табалахской впадины Республики Саха (Якутия) и их использовании // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2013. – № 3. – С. 109–117.
6. *Евсеев В. Н., Кужман Г. И., Соколов А. А.* Добыча торфяного топлива на Крайнем Севере. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 46 с.

Заключение

1. Большая удаленность Арктических и Субарктических районов, суровые природно-климатические условия требуют постоянного и надежного обеспечения местным энергетическим сырьем на основе перспективных торфяных месторождений, что делает актуальным исследование, разработку технологии добычи торфа.

2. Сравнительный анализ стоимости привозного угля и результатов предварительных расчетов себестоимости добычи местного торфа показали, что последнее в 4–5 раз дешевле, что показывает выгоду перспективности добычи торфа в Арктических районах с использованием георадиолокационного исследования торфяной залежи.

3. Выполненные предварительные исследования, природно-климатические условия позволяют сделать вывод о перспективности зимней добычи с предварительным георадиолокационным мониторингом толщины сезонномерзлого слоя торфа в зимний период, что обеспечит максимальное сохранение ландшафта и будет экологически безопасным.

7. Мисников О. С., Тимофеев А. Е., Михайлов А. А. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 9. — С. 84–92.
8. Яблонев А. Л., Гусева А. М., Жуков Н. М. Добыча и использование кускового торфяного топлива для Арктических условий // Труды Инсторфа. — 2018. — № 17(70). — С. 46–49.
9. Гамаюнов С. Н., Гамаюнова А. Н. Совершенствование средств малотоннажной добычи торфа // Известия вузов. Горный журнал. — 2014. — № 1. — С. 4–12.
10. Cherepovitsyn A. E., Tsvetkov P. S. Methodical Approach to Evaluation of the Russian Peat Deposits Exploitation Attractiveness Based on Geology-Technological Criteria // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. No 7. Pp. 5072–5078.
11. Foo-Yuen Ng, Yusof Basiron, Kalyana Sundram. A historical perspective of peat exploitation in Europe and its sustainability // Journal of Oil Palm, Environment & Health. 2016. Vol. 7. Pp. 1–18.
12. Kern J., Tammeorg P., Shanskiy M., Sakrabani R., Knicker H. et al. Synergistic use of peat and charred material in growing media an option to reduce the pressure on peatlands? // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2017. Vol. 25. No. 2. Pp. 160–174.
13. Bonn A., Allott T., Evans M., Joosten H., Stoneman R. Peatland restoration and ecosystem services: science, policy and practice. Cambridge: Cambridge University Press, 2016. 430 p.
14. Беляков В. А., Мисников О. С. Гидромеханизированная добыча торфа для получения формованного твердого топлива в Республике Саха (Якутия) // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № S4-11. — С. 70–79.
15. Техничко-экономическое обоснование использования торфа в целях теплоснабжения в котельных Верхоянского района. Отчет НИР. — Якутск, 2012. — 166 с.
16. Budikina M. E., Zarovnyaev B. N., Shubin G. V., Sokolova M. D. Perspective technologies for development of peat deposits in conditions of permafrost / 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. 2019. Vol. 19. No 1.3. Pp. 493–498. DOI: 10.5593/sgem2019/1.3/S03.063. **IAAB**

REFERENCES

1. Heikkinen K., Karppinen A., S.Karjalainen M., Postila H., Hadzic M., Tolkkinen M., Marttila H., Ihme R., Kløve B. Long-term purification efficiency and factors affecting performance in peatland-based treatment wetlands: An analysis of 28 peat extraction sites in Finland. *Ecological Engineering*. 2018. Vol. 117. Pp. 153–164.
2. Jean de Dieu K. Hakizimana, Hyung-Taek Kim Peat briquette as an alternative to cooking fuel. A techno-economic viability assessment in Rwanda. *Energy*. 2016. Vol. 102. Pp. 453–464.
3. Zakharov V. E., Prokhorov D. V., Gavrillov V. L. Loss in energy value of ROM coal in shipment to Arctic consumers in the Republic of Sakha (Yakutia). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2013, no 5–6, pp. 13–22. [In Russ].
4. Mel'nikov A. E., Kolodeznikov I. I., Pavlov S. S., Protopopov A. V. Features of Tabalakh Series peat and its applicability as a boiler fuel for the needs of the Verkhoyansk Region, Republic of Sakha (Yakutia). *Nauka i obrazovanie*. 2012, no 4, pp. 24–28. [In Russ].
5. Panov V. V., Protopopov A. V. Genesis and use of relict peat bogs in the Tabalakh Depression in the Republic of Sakha (Yakutia). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 3, pp. 109–117. [In Russ].
6. Evseev V. N., Kuzhman G. I., Sokolov A. A. *Dobycha torfyanogo topliva na Kraynem Severe* [Peat fuel production in the far North], Moscow-Leningrad, Gosenergoizdat, 1960, 46 p.
7. Misnikov O. S., Timofeev A. E., Mikhaylov A. A. Peat mining technologies in the near and far abroad countries: Review. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 9, pp. 84–92. [In Russ].
8. Yablonev A. L., Guseva A. M., Zhukov N. M. Sod peat fuel production and use in the Arctic conditions. *Trudy Instorfa*. 2018, no 17(70), pp. 46–49.

9. Gamayunov S. N., Gamayunova A. N. Improvement of low-tonnage peat mining machines. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2014, no 1, pp. 4–12. [In Russ].
10. Cherepovitsyn A. E., Tsvetkov P. S. Methodical Approach to Evaluation of the Russian Peat Deposits Exploitation Attractiveness Based on Geology-Technological Criteria. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. Vol. 11. No 7. Pp. 5072 – 5078.
11. Foo-Yuen Ng, Yusof Basiron, Kalyana Sundram. A historical perspective of peat exploitation in Europe and its sustainability. *Journal of Oil Palm, Environment & Health*. 2016. Vol. 7. Pp. 1 – 18.
12. Kern J., Tammeorg P., Shanskiy M., Sakrabani R., Knicker H. et al. Synergistic use of peat and charred material in growing media an option to reduce the pressure on peatlands? *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2017. Vol. 25. No. 2. Pp. 160 – 174.
13. Bonn A., Allott T., Evans M., Joosten H., Stoneman R. *Peatland restoration and ecosystem services: science, policy and practice*. Cambridge: Cambridge University Press, 2016. 430 p.
14. Belyakov V. A., Misnikov O. S. Hydraulic mining of peat for production of molded solid fuel in the Republic of Sakha (Yakutia). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no S4-11, pp. 70 – 79. [In Russ].
15. *Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie ispol'zovaniya torfa v tselyakh teplosnabzheniya v kotel'nykh Verkhoyanskogo rayona*. Otchet NIR [Feasibility study of peat use for heat supply in boiler houses in the Verkhoyansk Region. Research report], Yakutsk, 2012, 166 p. [In Russ].
16. Budikina M. E., Zarovnyaev B. N., Shubin G. V., Sokolova M. D. Perspective technologies for development of peat deposits in conditions of permafrost. *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM*. 2019. Vol. 19. No 1.3. Pp. 493 – 498. DOI: 10.5593/sgem2019/1.3/S03.063.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Заровняев Борис Николаевич¹ — д-р техн. наук, профессор,

e-mail: mine_academy@mail.ru,

Попов Владимир Федорович¹ — доцент, e-mail: pvf_grf@rambler.ru,

Шубин Григорий Владимирович¹ — канд. техн. наук, доцент,

e-mail: grigshubin@mail.ru,

Будикина Мария Евсеевна¹ — ассистент кафедры,

e-mail: budikina@gmail.com,

Сokolova Марина Дмитриевна — д-р техн. наук,

директор, Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН,

¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.

Для контактов: Заровняев Б.Н., e-mail: mine_academy@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

B.N. Zarovnyaev¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

e-mail: mine_academy@mail.ru,

V.F. Popov¹, Assistant Professor, e-mail: pvf_grf@rambler.ru,

G.V. Shubin¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

e-mail: grigshubin@mail.ru,

M.E. Budikina¹, Assistant of Chair, e-mail: budikina@gmail.com,

M.D. Sokolova, Dr. Sci. (Eng.), Institute of Oil and Gas Problems,

Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia,

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 678000, Yakutsk, Russia.

Corresponding author: B.N. Zarovnyaev, e-mail: mine_academy@mail.ru.

Получена редакцией 27.01.2020; получена после рецензии 06.03.2020; принята к печати 20.05.2020.

Received by the editors 27.01.2020; received after the review 06.03.2020; accepted for printing 20.05.2020.