

## СОСТОЯНИЕ ДОБЫЧИ БАЗАЛЬТОВ В РОВЕНСКОЙ И ВОЛЫНСКОЙ ОБЛАСТЯХ И ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ

<sup>1</sup>Булат А.Ф., <sup>1</sup>Надутьий В.П., <sup>2</sup>Маланчук З.Р., <sup>2</sup>Корниенко В.Я.

<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, <sup>2</sup>НУВХП МОН Украины

## СТАН ВИДОБУТКУ БАЗАЛЬТУ У РІВНЕНСЬКІЙ І ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТЯХ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ ЙОГО ПЕРЕРОБКИ

<sup>1</sup>Булат А.Ф., <sup>1</sup>Надутьий В.П., <sup>2</sup>Маланчук З.Р., <sup>2</sup>Корнієнко В.Я.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, <sup>2</sup>НУВГП МОН України

## THE STATE OF BASALT PRODUCTION IN THE RIVEN AND VOLYN REGIONS AND THE SUBSTANTIATION OF THE NEED FOR THE COMPLEX USE OF ITS PROCESSING PRODUCTS

<sup>1</sup>Bulat A.F., <sup>1</sup>Nadutyi V.P., <sup>2</sup>Malanchuk Z.R., <sup>2</sup>Korniienko V.Ya.

<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, <sup>2</sup>NUWM MES of Ukraine

**Аннотация.** Приведены результаты исследований по состоянию разработок, минералогическому и химическому составу базальта, добыча которого ведется на карьерах Ровенской и Волынской областей. В процессе исследований учтен опыт и результаты изысканий в этом направлении других авторов и геологических партий. В настоящее время добыча базальта ведется, в основном, для использования в строительстве в виде щебня, бута и т.п. Установлено, что базальтовое месторождение содержит туф и лавобрекцию, которые не используются и складированы в отвалах. Вместе с тем, все три составляющие месторождения (базальт, туф и лавобрекция) имеют сложный минералогический состав. Лабораторными исследованиями определено содержание железа, титана, марганца, самородной меди во всех трех составляющих месторождений в количествах, представляющих промышленный интерес. В качестве примера проведены исследования базальтов (июль 2019 года) по процентному содержанию магнитовосприимчивой части на следующих карьерах: Рафаловский (75-80 % в западном крыле карьера и 44-56 % – в восточном), Польшцкий карьер (90-95 %), карьеры Ивановой Долины (80-85 %), Берестовецкий карьер (26 %). Эти цифры говорят о рудных месторождениях, которые в настоящее время разрабатываются на щебень. Также, по данным атомно-адсорбционного анализа и ионно-плазменной электроскопии лавобрекций, кроме меди, с промышленным содержанием до 5 %, в составе руд присутствуют серебро (до 62 г/т), золото (до 2,9 г/т), палладий (до 2,8 г/т) и родий (до 0,541 г/т).

На этом основании предложено вести переработку добываемой горной массы, которая сводится к поэтапному созданию предприятия по комплексной безотходной технологии переработки базальтового сырья для получения самородной меди, титаномагнетита и продукции из оставшейся силикатной части (например, базальтовую вату для тепло- и звукоизоляции, изготовления высокопрочной ткани, которая в настоящее время в зарубежной практике уже используется для изготовления корда ленточных конвейеров и для корда шин большегрузных автомобилей). В дальнейшем, с развитием производства, целесообразно ставить вопрос об извлечении ценных и редких металлов, например серебра, содержание которого в базальтовой горной массе представляет промышленный интерес.

**Ключевые слова:** базальт, туф, лавобрекция, минералогический состав, комплексная переработка базальтового сырья, извлечение меди, железа, титана.

Анализ добытых базальтов в Ровенской и Волынской областях показал необходимость их комплексной переработки, поскольку в них содержатся три разные породы: базальт, туф и лавобрекция. При этом, каждая из пород имеет богатый минералогический состав и представляет собой ценное сырье для промышленности. В то же время продуктом разработки базальтовых карьеров

является только базальт на строительный щебень, а сопутствующие ему туф и лавобрекчия складированы в отвал, тогда как все три составляющие месторождения имеют в своем составе высокое содержание железа, титана, марганца, самородной меди, серебра, которые представляют промышленный интерес [1-5]. Например, железо содержится во всех трех составляющих базальтового сырья в виде магнетитовосприимчивой части (магнетит и титаномагнетит), самородная медь в лавобрекчии содержится в виде крупных включений массой от десятков до сотен граммов, в базальте – самородная медь в виде пластинчатых включений, а в туфах – в виде точечных включений или тонких пленок.

Все это указывает на особенности технологии рудоподготовки при извлечении полезных металлов.

Исследуемые базальты имеют уникальные свойства по минералогическому и химическому составу. Их изотопный возраст, по данным калий-аргонового метода, 510-598 миллионов лет. Они представлены двумя разновидностями:

а) афонитовые базальты – черные и темно-серые афонитовые породы. В основном, это – плагонитовый базальт. Его минеральный состав: плагиоклаз – 36 %, пироксен – 33 %, стекло – 19 %, плагонит – 6 %, рудный минерал – 6 %. Эти базальты обнажаются и разрабатываются в карьерах сел Берестовец, Янова Долина, Иванчи, Польци и др. Ровенской области;

б) миндалевидные базальты – зеленовато-серая тонкозернистая порода с большим количеством миндалин величиной до 15 мм. Минеральный состав: плагиоклаз, рудный минерал (магнетит, ильменит), апатит, вулканическое стекло. Основные извержения в бассейне реки Стыр. Плотность горной породы  $\rho = 2,65 \text{ т/см}^3$  [1]. Минералогический и химический составы базальтов будут рассмотрены ниже.

Базальты Волыни имеют трапповую формацию и сложены преимущественно базальтами, базальтовыми туфами и габбро-долеритами. Важным компонентом этой формации являются лавокластические брекчии, залегающие довольно широко и с различной мощностью в подошве, кровле и периферии базальтовых покровов. Волынские трапповые базальты занимают площадь 350 тыс. км<sup>2</sup> и простираются от Молдовы через Украину, Польшу и Беларусь, поэтому как сырьевая база могут эксплуатироваться длительный срок.

Геологи еще в конце девятнадцатого начале двадцатого веков, проявив интерес, начали изучать структуры и минеральный состав базальтов. В связи с открытыми в 1999 году геологами Ровенской геологической экспедиции перспективными залежами самородной меди среди лавокластических брекчий Рафаловского рудного узла изучение этих образований приобрело практическое значение [2].

В разрезе базальты Волынской серии, представляют собой четыре свиты с прослойками туфов и лавокластических брекчий. Меденосные лавобрекчии выходят на поверхность в карьере с. Иванчи, а также зафиксированы в скважинах вокруг карьера. Местами лавобрекчии залегают в туфах в виде

горизонтов мощностью 1,0-10,7 м. Содержание меди в лавобрекчиях изменяется от фоновых (0,04 %) до 5,0 %. Медь находится в самородном состоянии, что особенно ценно для добычи. Встречаются самородки дендритной формы весом 700-800 г [4]. Первые находки самородной меди в волынских базальтах были отмечены геологами в районе села Вэлыкый Мидськ в 30-х годах XX столетия [5, 6]. Установлено, что медь имеет двойную природу: первично-магматическую и гидротермальную. Медная минерализация сопровождается повышенной концентрацией благородных металлов (платина, золото, серебро) [4]. В настоящее время в Украине в вулканитах Волыни известны два основных меднорудных объекта: месторождение Жиричи и рудопроявления Рафаловского рудного узла. По данным атомно-адсорбционного анализа и ионно-плазменной электроскопии, кроме меди, в составе руд присутствуют серебро (до 62 г/т), золото (до 2,9 г/т), палладий (до 2,8 г/т) и родий (до 0,541 г/т) [3], которые представляют потенциальный экономический интерес и в настоящее время не разрабатываются.

Следует отметить, что месторождение самородной меди в трамповых базальтах является редкостью, поэтому их изучение и предпромышленная подготовка идут по пути разработки новых, порой уникальных, технологий. Известны три мировых отрезка оруднения базальтов самородной медью: 1) в районе Больших озер (США); 2) траппы Волыни; 3) траппы Таймыра, Новой Земли, Аляски, Юкона, Британской Колумбии, Китая. Из этих месторождений только Мичиганский (США) меднорудный район (группа месторождений полуострова Кивинаван) эксплуатировался и является наиболее известным в мире по запасам самородной меди. С этого месторождения за 120 лет добыто около 150 млн. тонн меди и 500 тонн серебра [4, 7]. По многим чертам геологического строения этому месторождению подобен Волынский меднорудный район. Сравнение этих уникальных районов по особенностям состава и строения меденосных комплексов подчеркивает их индивидуальность, позволяет оценивать перспективность Волынского района по медному оруднению, по промышленным запасам меди и по-новому взглянуть на разработку базальтовых месторождений с позиций их комплексной переработки, а не только как на источник базальтового щебня [8-9]. Для реализации такого подхода потребуются новые геологические исследования с привлечением современных средств и методов геофизической разведки, а также разработка технологии добычи и комплексной безотходной переработки базальтового сырья, что даст в десятки раз больший экономический, социальный и экологический эффекты.

В настоящее время при разработке карьеров используется только базальт (в основном для производства строительного щебня). Сопутствующие же ему туф и лавобрекчия являются отвальной горной массой, которая складывается и представляет собой техногенное месторождение с высоким содержанием самородной меди, железа, титана и других ценных металлов. Так, по результатам выполненных исследований [8-10], содержание меди в туфах находится в пределах 0,4-1,0 %, что представляет промышленный интерес.

Кроме того, содержание железа во всех трех составляющих месторождения колеблется в пределах 17,0-30,0 %, титана – 1,0-4,0 % [11-12]. Содержание редких и ценных металлов требует дополнительных исследований для каждого месторождения в отдельности.

В каждой из вмещающих пород (базальт, туф, лавобрекчия) самородная медь имеет различную степень вкрапления. Установлена рассеянно-вкрапленная, слоисто-вкрапленная, прожилково-вкрапленная, гнездово-вкрапленная, минерализация и отдельный ее тип – самородная, отличающаяся от предыдущих типов размерами и весом самородков, который может достигать 700-4000 г со средней чистотой меди 99,9 % [10].

Медь также находится во вторичных минералах: куприте, малахите, азурите, халькопирите, сфалерите, из которых ее извлечение возможно только при применении химических технологий. Поэтому вопросы рудоподготовки и обогащения добытой горной массы требуют серьезной разработки и промышленного освоения. С этой целью предлагается строительство научно-производственного участка для отработки технологии добычи меди и железа из базальтового сырья. Из оставшейся силикатной части вполне реально производство базальтовой ваты, которая в настоящее время широко используется в строительстве и машиностроении (как утеплитель).

Значительная часть исследований выполнена на лабораторном уровне сотрудниками Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины, г. Днепр) и Национального университета водного хозяйства и природопользования (НУВХП, кафедра открытых горных работ, г. Ровно) [12]. В настоящее время актуальным является вопрос отработки технологий и получения готовых продуктов для технико-экономического обоснования (ТЭО) строительства фабрики или комбината по комплексной безотходной переработке базальтового сырья. При этом научно-производственный участок может продолжать функционировать в качестве лаборатории фабрики или комбината.

С учетом разнообразия морфо-типов самородно-медной минерализации, возникает необходимость отдельной переработки туфа (точечные включения меди), базальта (пластинчатые мелкие включения меди) и лавобрекчии (относительно крупные включения меди), поскольку каждая из этих торных пород требует различного уровня рудоподготовки для извлечения меди, а возможно и оборудования.

Исходя из минимизации финансовых затрат на создание научно-производственного участка, целесообразно его строительство осуществить на действующем базальтовом карьере, например на Рафаловском. Это облегчает решение вопросов с исходным сырьем, отчуждением земли, подбором кадров, транспортом и коммуникациями.

Поскольку поиск цветных и редких металлов затруднен в связи с их невысоким содержанием и неравномерным распределением во вмещающих породах, очевидно, что предприятия по добыче и переработке для локализации необходимо располагать в наиболее перспективном месте. Для этого весьма

целесообразна доразведка месторождения. Целью такой детальной разведки является изучение особенностей морфологии и внутреннего строения отдельных рудных тел, что необходимо для подсчета запасов, оценки горнотехнических и гидрогеологических условий проведения эксплуатационных работ. При этом в результате аэрокосмических съемок в видимом и инфракрасном диапазоне частот, аэромагнитных и аэрогаммаспектрометрических, электромагнитных или других исследований устанавливаются основные закономерности в распределении месторождений полезных ископаемых, связи между положением рудных поясов, полей месторождений, рудовмещающих структур [13].

Данные аэро- или аэрокосмических съемок сравниваются с данными геологоразведочных исследований месторождения, и на этом основании разрабатывается ТЭО на перспективу ведения эффективной добычи полезных ископаемых по комплексной безотходной технологии. Поскольку в базальтовом месторождении все три его составляющие (базальт, лавобрекчия и туф) имеют довольно высокое содержание железа и магнитовосприимчивого титана, то применение магниторазведки для детализации месторождения является целесообразным, т. к. высокая точность метода обеспечит возможность разделения литологии пород по степени их немагнитности. В этом смысле перспективно использование аэрокосмических дистанционных радиотепловых и инфракрасных съемок для геологического картирования и поисков некоторых полезных ископаемых.

Перспективно также использование аэрогамма-съемки как наиболее быстрого и экономичного метода радиометрии. В этом случае регистрируемое гамма-поле зависит от концентрации состава радиоактивных элементов, размеров рудных тел. Поскольку аэрогамма-съемка – это поисковая съемка, и она позволит выявить крупные радиоактивные рудные тела или загрязненные радиоактивными элементами участки, что очень важно знать для строительства добычного и перерабатывающего горного предприятия.

В настоящее время предложение о создании научно-производственного участка базируется на результатах работы геологов Ровенской геологической экспедиции, которые на основании многолетних исследований установили в базальтовой горной массе наличие ценных металлов в количествах, представляющих промышленный интерес. Спектральный и химический анализы образцов этого месторождения, выполненные сотрудниками ИГТМ НАМ Украины и Национального университета водного хозяйства и природопользования в Ровно, показали возможность создания лабораторной технологической линии подготовки всех трех видов сырья для извлечения самородной меди, титаномагнетита и силикатной части, пригодной для дальнейшей утилизации. Такая линия была создана и апробирована в ИГТМ НАН Украины. Причем, все три составляющие месторождения (базальт, туф и лавобрекчия) могут перерабатываться по этой технологии отдельно, без отходов. Поэтому реализуется наиболее полное использование месторождения со значительно большей экономической целесообразностью и экологической

чистотой, тогда как в настоящее время ведется селективная добыча базальта для переработки на строительный щебень, а туф и лавобрекчия складированы в отвалы, представляющие собой техногенное месторождение.

По мере продвижения забоев карьеров проводились исследования по содержанию железа (магнитовосприимчивой части) в базальтовом сырье. В качестве примера проведены исследования базальтов (июль 2019 года) по процентному содержанию магнитовосприимчивой части на следующих карьерах: Рафаловский (75-80 % в западном крыле карьера и 44-56 % – в восточном), Польшский карьер (90-95 %), карьеры Ивановой Долины (80-85 %), Берестовецкий карьер (26 %). Эти цифры говорят о рудных месторождениях, которые в настоящее время разрабатываются на щебень.

Положительный лабораторный опыт переработки базальтового сырья позволил сформулировать предложение по строительству научно-производственного участка непосредственно на карьере. (За базу взят Рафаловский базальтовый карьер, задачей которого является отработка комплексной безотходной технологии переработки базальтового сырья и получение конечных продуктов для реализации с целью окупаемости расходов на создание участка). На основании отработанной технологии в малом масштабе на участках возможна разработка ТЭО для строительства крупномасштабного предприятия.

Целевая программа исследований базальтов по решению актуальной задачи отсутствует, однако выполненные двумя организациями многолетние исследования (учитывая результаты геологов) указывают на необходимость решения проблемы комплексной переработки базальтового сырья с внедрением новых технологий и оборудования.

К этому времени результаты исследований довольно широко опубликованы, защищен ряд кандидатских и докторских диссертаций по этому направлению. Это указывает на то, что имеются специалисты, знакомые с особенностями проблемы, с методами решения ее отдельных задач. Поэтому необходима целевая программа, объединяющая усилия и имеющийся опыт специалистов.

#### **Выводы:**

Таким образом, техническое предложение сводится к поэтапному созданию предприятия по комплексной безотходной технологии переработки базальтового сырья для получения самородной меди, титаномагнетита и продукции из оставшейся силикатной части (например, базальтовую вату для тепло- и звукоизоляции, изготовления высокопрочной ткани, которая в настоящее время в зарубежной практике уже используется для изготовления корда ленточных конвейеров и для корда шин большегрузных автомобилей).

Впоследствии, с развитием производства целесообразно ставить вопрос об извлечении ценных и редких металлов, например серебра, содержание которого в базальтовой горной массе представляет промышленный интерес.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по картографии Украины (Магматические и метаморфические породы) / Под ред. чл.-корр. АН УССР И.С. Усенко. К.: Наук. думка, 1975. 579 с.
2. Мельничук В.Г., Матеюк В.В., Косовський Я.О., Федорчук М.В. Міденосні лавобрекції в траппах Волині // В кн.: Геологічна наука та освіта в Україні на межі тисячоліть: стан, проблеми, перспективи. Львів: ЛНУ, 2000. С. 115-116.
3. Ємець О.В. Критерії локалізації самородномідного зруднення в траппах венду Волині // Матер. III Наук.-виробн. наради геологів-зйомщиків України "Сучасний стан і задачі розвитку районних геологічних досліджень". Київ-Рівне, 2005. С. 96-102.
4. Пересадько М.П., Косовський Я.О. Самородне зруднення у траппах Волині. // Матер. III Наук.-виробн. наради геологів-зйомщиків України "Сучасний стан і задачі розвитку районних геологічних досліджень". Львів, 2005. С. 205-206.
5. Булат А.Ф., Надутый В.П., Маланчук Е.З. Перспективы развития сырьевой базы горного производства на основе комплексной переработки техногенных отходов // Геотехническая механика : Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2012. Вып. 101. С. 1-9.
6. Маланчук Е.З. Результати дослідження розташування самородної міді в базальтовій гірській масі Рафалівського рудного вузла // Геотехнічна механіка : Міжвід. зб. наук, праць / ІГТМ НАН України. Дніпропетровськ, 2012. Вип. 104. С. 198-204.
7. Мельничук В.Г. Порівняльна характеристика Волинського та Мічиганського міднорудних районів // Матер. III Наук.-виробн. наради геологів-зйомщиків України "Сучасний стан і задачі розвитку районних геологічних досліджень". Львів, 2005. С. 183-187.
8. Надутый В.П., Маланчук З.Р., Прокопюк О.Н. Обоснование необходимости комплексной переработки цеолит-сметитовых туфов Волины // "Форум гірників-2010". Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2010. С. 50-55.
9. Надутый В.П., Маланчук З.Р. Спосіб підготовки мідевмісних базальтів до комплексного збагачення // Матер. ІХ ежегодной междунар. пром. конф. п. Славское, Карпаты. – 2009. – УИЦ "Наука. Техника. Технология". Киев, 2009. С. 363-364.
10. Булат А.Ф., Надутый В.П., Маланчук Е.З. Исследование влияния электростатического поля на породы базальтового сырья // Щорічна наук.-техн. зб. «Розробка родовищ 2014» / ДВНЗ «МГУ» Дніпропетровськ, 2014. С. 353-361.
11. Надутый В.П., Эрлерт А.М., Маланчук Е.З. Обобщение результатов исследований магнитной восприимчивости составляющих базальтового сырья // Збагачення корисних копалин : Наук.-техн. зб. / ДВНЗ «НГУ». Дніпропетровськ, 2012. Вип. 51(02). С. 144-149.
12. Булат А.Ф., Надутый В.П., Маланчук Е.З. Результаты исследований эффективности использования электрического поля для получения медного концентрата из базальта // Геотехническая механика : Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2014. Вып. 119. С. 15-22.
13. Булат А.Ф., Ханин И.Г., Маланчук Е.З. Перспективы использования аэрокосмической съемки при исследовании базальтовых месторождений Волины // Доповіді на III міжнар. наук.-техн. конф. «Стратегические решения информационного развития экономики, общества и бизнеса на современном этапе. 2014». Рівне, 2014. С. 271-272.

## REFERENCES

1. Usenko, I.S. (1975), *Spravochnik po kartografii (Magmaticheskie I metamorficheskiye porody)* [Handbook of cartography of Ukraine (igneous and metamorphic rocks)], Nauk. dumka, Kiev, Ukraine.
2. Melnichuk, V.G., Mateiuk, V.V., Kosovskiy, Ya.O., and Fedorchuk, M.V. (2000), "Copper lavabreaks in the Volyn traps", *Heolohichna nauka ta osvita v Ukraini na mezhi tysiacholit: stan, problemy, perspektyvy* [Geological science and education in Ukraine at the turn of the millennium: status, problems, prospects], LNU, Lviv, Ukraine, pp. 115-116.
3. Yemets, O.V. (2005), "Criteria for localization of native formation in the trappings of the Wendy of Volyn", *Materialy III naukovo-vyrobnychoi narady geologiv-zyomshchykiv Ukrainy "Suchasny stan I zadachi rozvytku rayonnykh geologichnykh doslidzhen"* [Materials of the III Scientific Production Meeting of Geologists-Surveyors of Ukraine "Current state and tasks of development of regional geological researches"], Kiev -Rivne, pp. 96-102.
4. Perecadko M.P. and Kosovskiy Ya.O. (2005), "Native disorder in the traps of Volyn", *Materialy III naukovo-vyrobnychoi narady geologiv-zyomshchykiv Ukrainy "Suchasny stan I zadachi rozvytku rayonnykh geologichnykh doslidzhen"* [Materials of the III Scientific Production Meeting of Geologists-Surveyors of Ukraine "Current state and tasks of development of regional geological researches"], Lviv, pp. 205-206.
5. Bulat, A.F., Naduty, V.P. and Malanchuk, Ye.Z. (2012), "Prospects for the development of the raw material base of mining based on the integrated processing of industrial waste", *Geo-Technical Mechanics*, no. 101, pp. 1-9.
6. Malanchuk, Ye. Z., "The results of the study of the location of native copper in the basalt rock mass of the Rafalov ore site", *Geo-Technical Mechanics*, no.104, pp. 198-204.
7. Melnichuk V.G. (2005), "Comparative Characteristics of Volyn and Michigan Coal Mines", *Materialy III naukovo-vyrobnychoi narady geologiv-zyomshchykiv Ukrainy "Suchasny stan I zadachi rozvytku rayonnykh geologichnykh doslidzhen"* [Materials of the III Scientific Production Meeting of Geologists-Surveyors of Ukraine "Current state and tasks of development of regional geological researches"], Lviv, 2005, pp. 183-187.
8. Naduty, V.P., Malanchuk, Z.R. and Prokopiuk, O.N. (2010), "Justification of the need for complex processing of tselolite-smectite tuffs of Volyn", *Trudy naukovoï konferentsii "Forum Hirnykiv"* [Proc. of the scientific conference "Forum of Mining Engineer"],

National Mining University, Dnepropetrovsk, pp. 50-55.

9. Nadutyi, V.P. and Malanchuk, Z.R. (2009), "A method of preparing copper-containing basalts for complex enrichment", *Materialy IX mezhegodnoy mezhdunarodnoy promyshlennoy konferentsii p. Slavskoye, Karpaty – 2009 – UIC "Nauka, tekhnika, tekhnologiya"* [Proceedings of the 9th Annual International Industrial Conference Slavskoe, Carpathian Mountains. - 2009. - Science and Technology Center. Technology], Kiev, pp. 363-364.

10. Bulat, A.F., Nadutyi, V.P. and Malanchuk, Ye.Z. (2014), "Investigation of the influence of the electrostatic field on basalt rock", *Annual Scientific and Technical Collection "Field Development 2014"*, Special Issue, pp. 353-361.

11. Nadutyi, V.P., Erpert, A.M. and Malanchuk, Ye. Z. (2012), "Summary of the magnetic susceptibility studies of the components of basalt raw materials", *Zbahachennia korysnykh kopalyn Natsionalnoho himychohouniversytetu*, no. 51, pp. 141-149.

12. Bulat, A.F., Nadutyi, V.P. and Malanchuk, Ye.Z. (2014), "The results of studies of the efficiency of the use of an electric field to obtain copper concentrate from basalt", *Geo-Technical Mechanics*, no.119, pp. 15-22.

13. Bulat, A.F., Khanin, I.H. and Malanchuk, Ye.Z. (2014), "Prospects for the use of aerospace photography in the study of Volyn basalt deposits", *Dopovidi na III mizhnarodny naukovo-tekhnishny konferentsii "Stratehicheckiye resheniya informatsionnoho razvitiya ekonomiki, obshchestva i biznesa na sovremennom etape. 2014"* [Lectures at III international scientific and technical conference "Strategic decisions of information development of economy, society and business at the present stage. 2014"], Rovno, Ukraine, 2014, pp. 271-272.

### Об авторах

**Булат Анатолий Федорович**, академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [office.igtm@nas.gov.ua](mailto:office.igtm@nas.gov.ua)

**Надутьїй Володимир Петрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [nadutyvp@gmail.com](mailto:nadutyvp@gmail.com)

**Маланчук Зиновий Романович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры разработки месторождений и добычи полезных ископаемых Национального университета водного хозяйства и природопользования МОН Украины (НУВХП МОН Украины), г. Ровно, Украина, [malanchykr@ukr.net](mailto:malanchykr@ukr.net)

**Корниенко Валерий Ярославович**, доктор технических наук, доцент Национального университета водного хозяйства и природопользования МОН Украины (НУВХП МОН Украины), заведующий кафедрой разработки месторождений и добычи полезных ископаемых, г. Ровно, Украина, [kvja@i.ua](mailto:kvja@i.ua)

### About the author

**Bulat Anatolii Fedorovich**, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Director of the Institute, Institute of Geotechnical Mechanics named by N.Poljakov of National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, [office.igtm@nas.gov.ua](mailto:office.igtm@nas.gov.ua)

**Nadutyi Volodymyr Petrovych**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Mineral Processing Machines and Processes, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS OF UKRAINE), Dnipro, Ukraine, [nadutyvp@gmail.com](mailto:nadutyvp@gmail.com)

**Malanchuk Zinovii Romanovych**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of field development and mining, National University of Water Management and Nature Resources Use (NUWM MES of Ukraine), Rovno, Ukraine, [malanchykr@ukr.net](mailto:malanchykr@ukr.net)

**Korniienko Valerii Yaroslavovych**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of field development and mining, National University of Water Management and Nature Resources Use (NUWM MES of Ukraine), Rovno, Ukraine, [kvja@i.ua](mailto:kvja@i.ua)

**Анотація.** Наведено результати досліджень за станом розробок, мінералогічному і хімічному складах базальту, видобуток якого ведеться на кар'єрах Рівненської та Волинської областей. У процесі досліджень враховано досвід і результати досліджень в цьому напрямку інших авторів і геологічних партій. На даний час видобуток базальту ведеться, в основному, для використання в будівництві у вигляді щебеню, буту і т.п. Встановлено, що базальтове родовище містить туф і лавобрекції, які не використовуються і складаються у відвалах. Разом з тим, всі три складові родовища (базальт, туф і лавобрекції) мають складну мінералогічну будову. Лабораторними дослідженнями визначено вміст заліза, титану, марганцю, самородної міді в усіх трьох складових родовищ у кількостях, що представляють промисловий інтерес. Як приклад проведено дослідження базальтів (липень 2019 року) за процентним вмістом магнітосприйнятливої частини на наступних кар'єрах: Рафаловський (75-80 % у західному крилі кар'єра і 44-56 % – у східному), Полицький кар'єр (90-95 %), кар'єри Іванової Долини (80-85 %), Берестовецький кар'єр (26 %). Ці цифри говорять про рудні родовища, які на даний час розробляються на щебін. Також, за даними атомно-адсорбційного аналізу та іонно-плазмової електроскопії лавобрекцій, крім міді з промисловим вмістом до 5 %, у складі руд присутні срібло (до 62 г/т), золото (до 2,9 г/т), паладій (до 2,8 г/т) і родій (до 0,541 г/т).

На цій підставі запропоновано вести переробку видобутої гірничої маси, яка зводиться до поетапного

створення підприємства з комплексної безвідходної технології переробки базальтової сировини для одержання самородної міді, титаномagnetиту та продукції із силікатної частини, що залишилася (наприклад, базальтової вати для тепло- і звукоізоляції, створення високоміцної тканини, яка на даний час в зарубіжній практиці вже використовується для виготовлення корду стрічкових конвеєрів і корду шин великовантажних автомобілів). Надалі, з розвитком виробництва, доцільно ставити питання про вилучення цінних і рідкісних металів, наприклад срібла, вміст якого в базальтовій гірничій масі представляє промисловий інтерес.

**Ключові слова:** базальт, туф, лавобрекція, мінералогічний склад, комплексна переробка базальтової сировини, вилучення міді, заліза, титану.

**Annotation.** In the article, results of research of the basalt production state in the quarries of the Rivne and Volyn regions and its mineralogical and chemical composition are presented. In the process of the research, experience and results of researches obtained by other authors and geological parties in this field was taken into account. Today, basalt is produced mainly for the construction industry in the form of crushed stone, booth, etc. It is established that the basalt deposit contains tuff and lava-breccia, which are not used and are stored in dumps. At the same time, all the three components of the deposit (basalt, tuff and lava-breccia) have a complex mineralogical composition. Laboratory studies determine that they contain iron, titanium, manganese, and native copper in quantities that present commercial interest. As an example, percentage of magnetically-susceptible part in basalt was studied in July, 2019 in the following quarries: Rafalovsky (75-80% in the western wing of the quarry and 44-56% in the eastern one), Polytsky quarry (90-95%), Ivanovo Valley quarry (80-85%), Berestovsky quarry (26%). These figures were obtained in the ore deposits that are developed today for producing crushed stone only. Besides, according to atomic absorption analysis and ion-plasma electroscopy of lava-breccia, additionally to up to 5% of cooper (industrial content), the ores contain silver (up to 62 g/t), gold (up to 2.9 g/t), palladium (up to 2.8 g/t) and rhodium (up to 0.541 g/t).

On this basis, it is proposed to process the mined rock mass, and, to this effect, to create step-by-step an enterprise for a comprehensive waste-free technology on processing basalt raw materials and producing native copper, titanomagnetite and, from the remaining silicate part, other products (for example, to produce basalt cotton wool for heat- and sound insulation, or high-strength fabric, which is already used in other countries for manufacturing cords for the belt conveyors and cords for tires of heavy vehicles). In future, with further development of the production, it will be advisable to raise as issue on extraction of valuable and rare metals, for example silver, content of which in the basalt rock mass is of commercial interest.

**Keywords:** basalt, tuff, lava-breccia, mineralogical composition, complex processing of basalt raw materials, extraction of copper, iron, titanium.

*Стаття надійшла до редакції 18.10. 2018*

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Б.О. Блюссом*