

УДК 622.349.21.002.8:691

*В.Н. Землянский*

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВСКРЫШНЫХ  
И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД СЕВЕРО-ОНЕЖСКОГО  
И СРЕДНЕ-ТИМАНСКОГО БОКСИТОВЫХ  
РУДНИКОВ, КАК МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

Семинар № 1

Создание в ближайшие годы горнопромышленного комплекса в Республике Коми, связанное с интенсификацией освоения природных минеральных и горючих ископаемых, обусловлено рядом причин: дефицитом сырья на алюминиевых и металлургических заводах Ленинградской области, Среднего и Южного Урала, Череповца; высоким содержанием полезных компонентов в рудных телах Тимано-Печорской провинции, их расположением вблизи земной поверхности и возможностью разработки открытым способом. Утилизация промышленных отходов способствует получению долговечных, экологически чистых изделий при малоотходных технологиях, сокращению токсичных выбросов и уменьшению отрицательного воздействия на состояние окружающей среды в сложных горногеологических и суровых климатических условиях Европейской части России, снижению радиационного загрязнения.

Районы Европейского Севера России, географически приближенные к промышленно-развитым регионам Урала и Северо-Запада России располагают на основе геологоразведочных работ собственными месторождениями металлических и неметаллических, горючих полезных ископаемых: легкоплавкими и тугоплавкими глинами девонских и триасовых отложений, каолинами; карбонатными и сульфатными осадочными породами; цеолитами; значи-

тельными запасами бокситовых, титановых, железо-марганцевых и хромитовых руд; горючих сланцев, нефти и газа, торфа, угля и др.

Создание малоотходных технологий для производства керамических материалов, цемента и вяжущих веществ автоклавного твердения возможно на примерах Пикалевского и Бокситогорского глиноземных комбинатов Ленинградской области с утилизацией шлама нефелина Кольского полуострова, отходов бокситовых руд Тихвинского и Иксинского месторождений, ряда аналогичных предприятий Урала и Сибири.

Для проведения исследований выбрано использование попутных пород бокситовых руд. Гидратные формы оксида алюминия содержатся в рудоносных толщах Иксинского (Архангельская обл.) и Вежаю-Ворыквинского (Республика Коми) месторождений, представляя собой агрегатную смесь с глинистыми минералами, хлоритом, сидеритом, оксидами и гидроксидами железа. Попутная (вскрышная) горная порода аналогична по минеральному составу и условиям образования бокситу, но не отвечает промышленным кондициям на алюминиевую руду. К ней относят: аллит, сиаллит и ферросиаллит. При высокотемпературном нагреве происходит переход из одной формы гидрата глинозема в другую с образованием  $\alpha$ - $Al_2O_3$ . Бокситовые руды Среднего Тимана

слагаются так же вмещающими магматическими породами – базальтами, диабазами, туфами базальтовыми, которые могут быть использованы для получения теплоизоляционных материалов и каменного литья. Классификация отходов горнорудной промышленности для прогнозирования производства строительных материалов Европейского Севера России представлена в табл. 1.

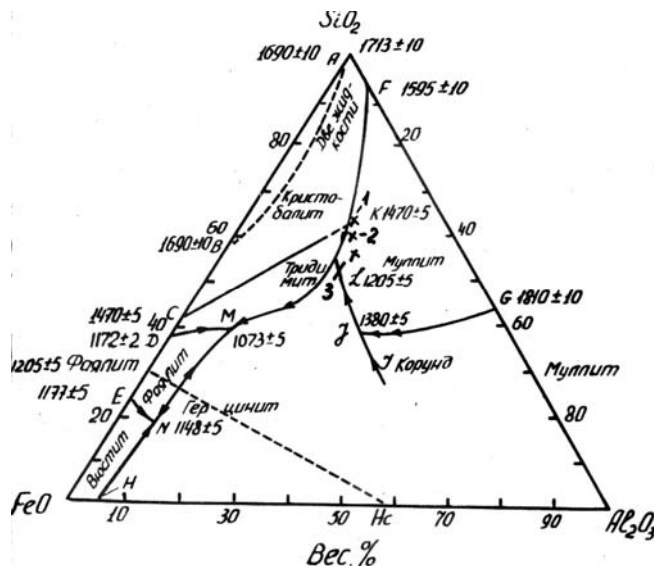
Все это является мощным толчком для исследования возможных областей применения и утилизации попутных пород, техногенных продуктов цветной металлургии, нефтеперерабатывающей, целлюлознобумажной и угольной промышленности в строительной индустрии, горнохимических технологиях и экологической обстановке, дающих значительный экономический и социальный эффекты.

Исходя из этого была решена проблема комплексной утилизации горнопромышленных отходов для получения строительных материалов, включая:

1. Керамического заполнителя из двухкомпонентной шихты, обогащенной оксидами Al, Ti, Fe, Mg и аморфным кремнеземом, с поверхностной оболочкой повышенной жесткости (модулем упругости)  $3,5-5,0 \cdot 10^4$  МПа, прочностью при сдвливании в цилиндре 10–12 МПа и высокой физико-химической активностью за

**Таблица 1**  
**Классификация и области применения промышленных и техногенных отходов для прогнозирования производства строительных материалов на Севере России**

**Рис. 1. Расположение составов сырьевых смесей на трехкомпонентной диаграмме плавкости системы  $\text{SiO}_2$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{FeO}$ : 1 – Бельгопская глина – 100 масс.%; 2 – Бельгопская глина: боксит (90:10 масс. %); 3 – То же, (80:20 масс. %)**



счет кристаллических новообразований, включая муллит, корунд, шпинели, рутил, силикаты кальция и др., способствующие улучшению адгезии оболочки с цементной матрицей, особенно в условиях низких температур;

2. Конструкционных легких бетонов классов В30–В50 и выше со средней плотностью марок Д1700–Д1900 в сухом состоянии и высокой суточной прочностью при использовании рядовых цементов средних марок и морозостойкостью F300–F500;

3. Строительной керамики с модулем упругости  $1,2...1,3 \cdot 10^4$  МПа из некондиционного сырья способом полусухого прессования распылительного порошка и скоростными режимами сушки и обжига полуфабриката, обладающей показателями повышенной прочности при сжатии (20,0 МПа) и изгибе (7,7 МПа), морозостойкости F25–F100, в том числе лицевого кирпича объемного окрашивания хроматофорами, содержащими  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ;

4. Возможности получения минеральных волокон и каменного литья из отсеков дробления магматических магнийсодержащих пород (туфа базальто-





Таблица 2

**Показатели физико-технических свойств опытно - промышленных партий керамического гравия**

| Наименование пород и соотношение компонентов, масс. % | Объемная насыпная масса, кг/м <sup>3</sup> | Водопоглощение 48 ч, масс. % | Морозостойкость, потеря массы после 25 цикл, % | Прочность при сдвиге, МПа |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|
| Бельгопская глина, 100.                               | 1000                                       | 9,0                          | 4,0                                            | 9,0                       |
| Бельгопская глина: боксит (85:15).                    | 1000                                       | 8,0                          | 3,5                                            | 13,0                      |
| Глина «Казарма», 100.                                 | 780                                        | 6,0                          | 4,0                                            | 5,2                       |
| Глина «Казарма»: боксит (88:12).                      | 950                                        | 7,2                          | 6,0                                            | 6,5                       |
| Керамзитовый гравий Ухтинского завода.                | 700                                        | 15,0                         | 9,0                                            | 3,3                       |

вого с раскислителем) в процессе плавления при высокотемпературном обжиге; высококачественной строительной извести I сорта и обожженного металлургического доломита.

Для изучения влияния  $Al_2O_3$  на процесс образования муллита в легкоплавких глинах на рис. 1 рассмотрено местоположение составов на диаграмме плавкости трехкомпонентной алюмосиликатной системы согласно закона Рауля и правила «рычага».

Разбирая условия размягчения и плавкости глины при обжиге, необходимо остановиться на характере образования легкоплавких эвтектик в температурном интервале 1000–1200 °С. Важное значение имеют эвтектики с участием оксида кальция и закиси железа, образуемые системами  $SiO_2$ -CaO-FeO с температурой плавления 1030, 1090 и 1170 °С. С целью улучшения условий вспучивания и поризации глин целесообразно вводить в состав сырьевой смеси железосодержащие компоненты, к которым относят высокожелезистые попутные породы и бокситовые руды, содержащие  $Fe_2O_3$  до 20–25 масс.% по авт.свид. СССР №№1065378 и 1188131, порошки ферросплава, например ферросилиция (силицид железа  $FeSi_2$ ) по авт.свид. №697456.

На рис. 2 рассмотрена структура заполнителя из легкоплавких глин и боксита

Южного Тимана со средним кремниевым модулем 3,4. Результаты исследований установили, что введение боксита в количестве 10...15 масс.% в процессе термической обработки сырьевых гранул способствует получению керамического гравия с кажущейся плотностью 1,3–1,6 г/см<sup>3</sup> и максимальной прочностью при сжатии в пределах 25–30 МПа, тогда как прочность заполнителя из шихты без минеральной добавки составляет 8–14 МПа. Увеличение содержания боксита не приводит к существенному повышению прочности при обеспечении данной плотности зерна. Для производственного применения рекомендовано использование порошка боксита с удельной поверхностью 500,0–600,0 м<sup>2</sup>/кг.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены корреляционные зависимости, удовлетворительно описывающие взаимосвязь количества боксита с прочностью и кажущейся плотностью зерен при коэффициенте корреляции  $\eta=0,74$ . Эта взаимосвязь выражена уравнениями:

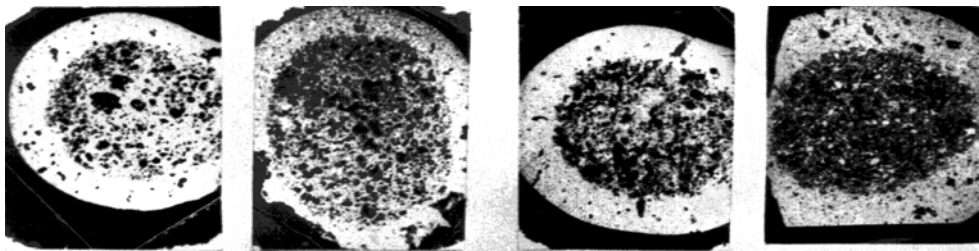
- для образцов из бельгопской глины:

$$R_{сж} = 33,5\gamma_k - 28,6, \quad (1)$$

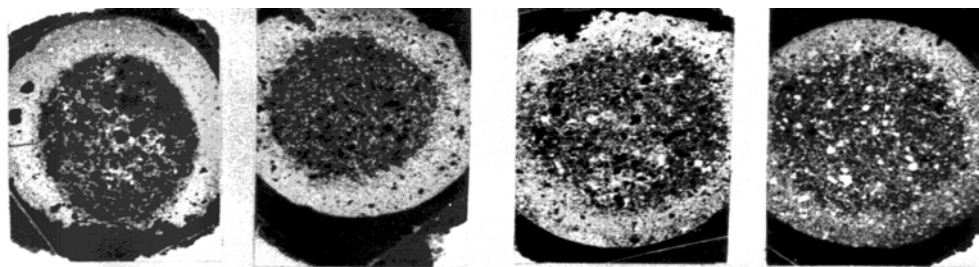
- для образцов из бельгопской глины и боксита состава 85:15 масс. %:

$$R_{сж} = 42\gamma_k - 40,0, \quad (2)$$

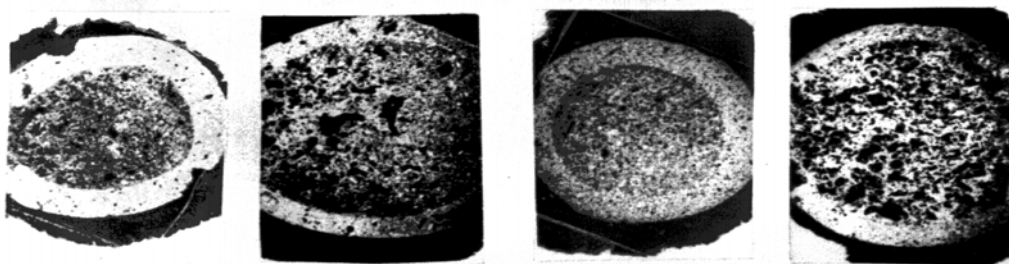
где  $R_{сж}$  – прочность при сжатии, МПа;  $\gamma_k$  – кажущая плотность, г/см<sup>3</sup>.



**Бельгопская глина**



**Локосовская глина**



**Гарьинская глина**

5 %  
1200 °С

10 %  
1220 °С

15 %  
1230 °С

20 %  
1250 °С

**Рис. 2. Структура гранул заполнителя из исследуемых глин с различным количеством бокситов Южного Тимана**

Согласно технологических параметров, установленных методом математического моделирования, для получения керамического заполнителя на основе местной легкоплавкой глины и бокситовых пород СОБРа на вращающейся печи Опытного завода института «Гипроцемент» (г. Ленинград) выпущены опытно-промышленные партии с

прочностью, превышающей в 3–4 раза прочность рядового керамзитового гравия из аналогичного сырья, повышенной морозостойкостью. В табл. 2 представлены показатели некоторых свойств заполнителя.

Формирование структуры и качественного фазового состава керамического заполнителя изучено с помощью петрографического анализа на прозрачных шлифах

под поляризационным микроскопом МИН-8 при увеличении 50, 100, 200, 300 и 480<sup>x</sup> параллельно с определением развития процесса порообразования. При нагревании сырцовый гранулы из бельгопской глины наблюдается ее усадка, резко выраженная в процессе сушки. Она связана с образованием усадочных трещин. В ней также возникает большое количество крупных (0,08–0,4 мм) и единичных средних (0,02–0,05 мм) пор с неровными извилистыми стенками. Образование крупных пор связано с удалением свободной и части физически связанной воды при температуре 450...500 °С, а мелких пор – с удалением части гидроксильной воды и дегидратацией глинистых минералов. Петрографический анализ гранул, нагретых до 600 °С, указывает на снижение свето- и двупреломления глинистых минералов. Каолинит, находящийся в преобладающем количестве в составе глинистой породы, изменен в разной степени процессами аморфизации, сохраняя слабо измененные чешуйки. Листочки гидрослюды также претерпели изменения в разной степени. Количество органических примесей в породе заметно уменьшилось. С подъемом температуры до 800–900 °С наблюдается некоторое увеличение усадочных средних пор размером от 0,01 до 0,05 мм, расположенных в поверхностном слое. Наблюдается резкое изменение фазового состава заполнителя с аморфизацией глинистых минералов за счет разрушения их кристаллической решетки. С подъемом температуры до 1000 °С, как в наружной, так и центральной зоне, наблюдается черное изотропное глинистое вещество со значительным количеством измененных листочков гидрослюды, а также псевдоморфоз гематита во внешнем слое. В обломочном материале изменения не обнаружены. В то же время в образцах, нагретых до температуры выше 1000 °С, высота пиков кварца (4,2; 3,36; 2,28; 2,12; 1,87; 1,54 Å) снижается, указывая на уменьшение его количества. Он частично раство-

ряется в образовавшемся силикатном расплаве с оплавлением поверхности зерна.

В грануле, подвергнутой поризации при 1180–1200 °С, наружный слой оболочки толщиной 2–3 мм содержит полностью аморфизованное глинистое вещество с игловидными листочками измененной гидрослюды, обломками зерен кварца и рутила, мелкими (до 0,03 мм) вкраплениями гематита. Центральная часть сложена темно-серой поризованной стеклообразной массой, в межпоровых перегородках которой наблюдаются мелкие включения магнетита размером 0,07–0,02 мм, зерна муллита, шпинели, рутила, кварца.

С помощью количественного рентгенофазового анализа установлено, что в гранулах их бельгопской глины содержание кварца в ядре уменьшается с 38,6 до 18,5 %. Аналогичная картина наблюдается в образцах с 15...20 % боксита. Наличие шпинели составляет 3 % с ее увеличением до 5 % в образцах, содержащих боксит. В них при температуре обжига 1100–180 °С обнаружено большее количество муллита (15% в ядре и 11 % в оболочке), чем в исходных образцах, особенно при замедленном охлаждении. Методом ртутной порометрии выявлено, что в температурном интервале 1100–1180 °С при переходе из твердого в пиропластическое состояние с накоплением жидкой фазы наблюдается резкое снижение количества мелких пор (радиусом менее 0,1 мкм) при росте средних пор с радиусом 0,1–10 мкм. Количество пор крупнее 10 мкм, находящихся в ячеистой части гранулы, составляет незначительную величину. При размягчении происходит

Таблица 3

## Изменение открытой пористости, распределения пор по размерам в гранулах из бельгопской глины в процессе их термической обработки

| Наименование сырья и соотношение компонентов в смеси, масс. % | Температура нагрева гранул, °С | Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup> | Общий объем пор, см <sup>3</sup> /г | Открытая пористость, % | Распределение пор по радиусам и их объем, % |           |                               |              |                               |            |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|-----------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|------------|
|                                                               |                                |                                        |                                     |                        | Средние (0,5 – 0,0001 мм)                   |           | Мелкие (0,0001 – 0,000004 мм) |              | Мелкие (0,0001 – 0,000004 мм) |            |
|                                                               |                                |                                        |                                     |                        | 5-10 мкм                                    | 1-0,1 мкм | 10-1 мкм                      | 0,1-0,01 мкм | 0,01-0,04 мкм                 | <0,004 мкм |
| Бельгопская глина                                             | 105                            | 1,71                                   | 0,134                               | 25,0                   | 7,45                                        | 2,41      | 32,6                          | 47,4         | 6,35                          | 3,6        |
| То же                                                         | 600                            | 1,67                                   | 0,131                               | 27,0                   | 1,88                                        | 1,4       | 18,1                          | 70,9         | 5,03                          | 3,7        |
| То же                                                         | 900                            | 1,57                                   | 0,272                               | 25,2                   | 1,12                                        | 4,32      | 45,6                          | 13,8         | 28,1                          | 7,0        |
| То же                                                         | 1000                           | 1,66                                   | 0,161                               | 22,3                   | 1,14                                        | 0,41      | 78,8                          | 9,92         | 0,57                          | 9,2        |
| То же                                                         | 1100                           | 1,55                                   | 0,184                               | 32,3                   | 2,81                                        | 29,1      | 51,5                          | 2,67         | 2,17                          | 11,6       |
| То же                                                         | 1150                           | 1,42                                   | 0,237                               | 34,0                   | 1,18                                        | 57,1      | 26,2                          | 1,89         | 8,47                          | 5,4        |
| То же                                                         | 1180                           | 1,30                                   | 0,36                                | 40,1                   | 13,2                                        | 16,9      | 54,5                          | 13,8         | -                             | 1,5        |
| Бельгопская глина: боксит(85:15)                              | 1230                           | 1,47                                   | 0,162                               | 32,3                   | 19,2                                        | 12,8      | 41,1                          | 23,8         | 2,12                          | 1,0        |

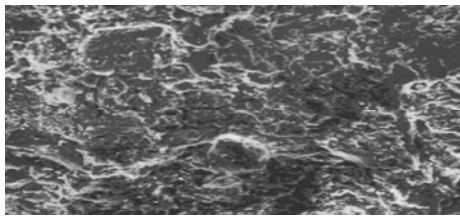
выделение умеренного количества газообразных продуктов, что приводит к поризации материала во внутренней части гранулы, а не к его вспучиванию. Результаты определения суммарной пористости и распределение пор по радиусам представлены в табл. 3.

На рис. 3 рассмотрены снимки отдельных слоев гранулы керамического заполнителя, выполненные на растровом электронном микроскопе – микроанализаторе ГХА-50А. На них наблюдается незначительное различие конфигурации пор и межпоровых перегородок в поверхностных и внутренних слоях, идентичное их определению методом ртутной порометрии.

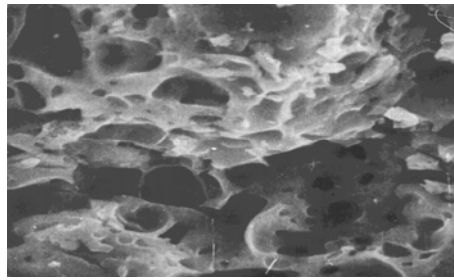
Рассматривая технологию появления стеклофазы, составляющей 83–85 % легкоплавкого керамического или тугоплавкого материала, ряд ученых считают, что его структура представляет собой каркас из кремнекислородных тетраэдров, пространство в котором заполнено силикатами различных модифицирующих катионов флюсующего действия (Н.А. Торопов, А.А. Новопашин). Прочность ионных связей между цепями тетраэдров и плотность их упаковки, определяющая стойкость структуры, зависит от количества модифицирующих ионов, их размера и величины заряда.

Роль иона  $Al^{3+}$  в силикатном стекле двойственна. При его большом содержании он выступает в роли модификатора – кристаллизатора, уплотняя структуру силикатного стекла и увеличивая стойкость против воздействия окружающей среды, в том числе гидратации. Использование глиноземсодержащих компонентов





1)



2)

*Рис. 3. Микроструктура высокопрочного керамического заполнителя: 1 – поверхностная оболочка; 2 – внутренняя ячеистая зона. 6000<sup>x</sup>*

из попутных пород способствует изменению температуры плавкости бинарных силикатных и тройных алюмосиликатных систем, а также их ионной плотности.

Изготовлены в опытно-промышленных условиях партии напорных виброгидропрессованных труб, предназначенных для транспортирования жидких и газообразных продуктов под рабочим напором до 1,5 МПа; плит покрытий и перекрытий, решетчатых строительных балок, дорожных плит и свай-опор под газопровод высокого давления, экспонированные на ВДНХ СССР. Высокие показатели физико-технических свойств (пониженные на 10–15 % модуль упругих деформаций и проницаемость по отношению к воде, нефти и газу на примере напорных труб, в т.ч. мелиоративных, повышенные коэффициент Пуассона и морозостойкость) конструкционного легкого бетона по сравнению с равнопрочным тяжелым позволяют рекомендовать использование изделий из него на разнообразных объектах строительства согласно ГОСТ 25820-2000 «Бетоны легкие. Технические условия». Крупнотоннажные отходы промышленности и техногенное сырье могут быть утилизированы для производства строительных материалов и изделий, уменьшая вредное воздействие на природу.

В Северном филиале ВНИИСТА (г. Ухта) в содружестве с МИСИ им. В.В. Куйбышева (г. Москва) была разработа-

на технологическая схема шликерной подготовки некондиционного сырья местного Ветлосянского месторождения с сушкой в башенной распылительной сушилке конструкции НИИСтройкерамика (г. Кучино Московской области). Порошок, получаемый распылением при сушке, имеет частицы сферической формы размером 0,2–0,5 мм. Исследования показали, что на его основе могут быть изготовлены изделия полусухого прессования с прочностью при сжатии на 40 %, а при изгибе в 2 раза выше, чем для образцов, отформованных пластическим способом из глины заводской переработки. Морозостойкость изделий составляет F35–F100. Разработана технология производства строительного кирпича полусухого прессования со скоростными режимами однорядной сушки в течение 3–4 ч и обжига-охлаждения в течение 9...10 ч. Рентгенографическим методом установлена однородность структуры, способствующая повышению физико-механических и эксплуатационных характеристик изделий. Это способствует расширению ассортимента строительной керамики, в том числе лицевого кирпича.

Результаты исследований по использованию попутных пород бокситовых руд Северо-Онежского бокситового рудника Архангельской области в качестве опудривающей и корректирующей минеральных добавок были включены в рабо-

чий проект I очереди керамзитового завода в г. Котласе, выполненным СПКБ НИИКерамзит (г. Куйбышев) и введенным в эксплуатацию в 1991 г. (а.с. СССР №1066967), а так же в готовившийся технический проект 2-й очереди завода – опытно-промыш-ленного цеха высокопрочного гравия (а.с. СССР №1188137) и цеха мощностью 50 тыс. м<sup>3</sup> в год в г.Ухта (а.с. №313813) на основе бокситовых пород Среднего Тимана.

Технико-экономический и экологический эффекты ресурсо- и энергосберегающих технологий производства строительных материалов будут способствовать восстановлению строительного комплекса Республики Коми, Архангельской и Вологодской областей на основе глиноземно-алюминиевого предприятия ОАО «СУАЛ-холдинг» в г. Ухте, расширению СОБРа (г.Плесецк) и решению вопросов охраны окружающей среды.

### **Коротко об авторах**

*Землянский В.Н.* – кандидат технических наук, заслуженный деятель науки и техники Республики Коми, Ухтинский государственный технический университет,

## **ДИССЕРТАЦИИ**

### **ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ**

| <i>Автор</i>                                                                                             | <i>Название работы</i>                                                                                                                                                   | <i>Специальность</i> | <i>Ученая степень</i> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| <b>ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ЦНИЭИуголь</b>                                      |                                                                                                                                                                          |                      |                       |
| НИКИТЕНКО<br>Владислав<br>Анатольевич                                                                    | Разработка методических рекомендаций по управлению затратами в угледобывающих организациях                                                                               | 08.00.05             | к.э.н.                |
| <b>ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ<br/>ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ</b> |                                                                                                                                                                          |                      |                       |
| ДОКИН<br>Денис<br>Викторович                                                                             | Исследование взаимодействия гидротехнических сооружений и просадочных оснований с учетом инженерно-геологических особенностей лёссовых грунтов Центрального Предкавказья | 25.00.08             | к.т.н.                |

