

## Фосфоритовая составляющая МСБ России в свете новых технологических возможностей

Фосфоритовая сырьевая база России, представленная в основном рудами желвакового, ракушечного, обломочно-крупстификационного, песчаниково-зернистого, микрозернистого геолого-промышленного типов, традиционно ориентирована на производство фосмуки – продукта неликвидного на внешнем и неконкурентоспособного на внутреннем рынке. Ее доля в отечественном производстве фосфорсодержащих удобрений не превышает 1%. Высокое качество и соответственно цена апатитового концентрата и производимых из него минеральных удобрений противоречат современным возможностям отечественных сельхозпроизводителей. Крайне актуальной становится задача геолого-технологической переоценки традиционных и оценки новых геолого-промышленных типов фосфоритовых руд России с учетом возможности их переработки на растворимые минеральные удобрения.

Результаты технологической переоценки традиционных и оценки новых геолого-промышленных типов фосфоритовых руд России обосновывают возможность получения фосфорсодержащих растворимых удобрений на основе новых технологий обогащения и химической переработки.

**Ключевые слова:** фосфорит, фосфорсодержащее удобрение, обогащение, химическая переработка.

Производство минеральных удобрений в России составляет 46,3% суммарного объема товарной продукции химического комплекса (Москвитина, 2015). В экспорте химической продукции минеральные удобрения составляют более 35%.

Активная минерально-сырьевая база (МСБ) фосфатных руд России, разрабатываемая в настоящее время, практически ограничивается как территориально (Мурманская обл.), так и количественно (8 месторождений апатитовых руд).

В Северо-Западном федеральном округе балансовые запасы апатитов по состоянию на 1.01.2014 г. составляли 513,1 млн. т  $P_2O_5$  кат. А+В+С<sub>1</sub>, или 68,4% общероссийских запасов фосфатного сырья аналогичных категорий и 103,2 млн. т  $P_2O_5$  кат. С<sub>2</sub>.

Семь месторождений Хибинской группы разрабатывает ОАО «Апатит», ЗАО «Северо-Западная Фосфорная Компания» – эксплуатирует месторождение Олений Ручей. Помимо Хибинской группы, в Мурманской области ОАО «Ковдорский ГОК» разрабатывает Ковдорское апатит-магнетитовое месторождение с балансовыми запасами 12,5 млн. т  $P_2O_5$  кат. А+В+С<sub>1</sub> и 2,5 млн. т  $P_2O_5$  кат. С<sub>2</sub>.

Суммарная добыча на эксплуатируемых месторождениях в 2013 г. составила 47,1 млн. т рудной массы, из них доля ОАО «Апатит» составляет 25,7 млн. т. ОАО «Ковдорский ГОК» добыто 18,2 млн. т руды. ЗАО «Северо-Западная Фосфорная Компания» добыла 3,2 млн. т рудной массы. Из добытого сырья произведено 10,5 млн. т апатитового концентрата (37-39 %  $P_2O_5$ ), в т.ч. 7,7 млн. т на ОАО «Апатит», 2,2 млн. т на ОАО «Ковдорский ГОК», на ОФ ЗАО «Северо-Западная Фосфорная Компания» – 0,6 млн. т.

Следует отметить, что Россия традиционно занимает одно из ведущих мест на мировом рынке фосфатного сырья (Табл. 1) наряду с США, Марокко и Китаем. Динамика мирового производства фосфатного сырья в целом характеризуется ростом объемов производства и незначительными колебаниями качества фосфатного сырья. Исключение из данной общемировой тенденции составляют Китай и Россия.

В середине 90-х годов фосфатная отрасль Китая претерпела реорганизацию. Качество фосфатного сырья, производимого в Китае, существенно увеличилось (с 22 до 30%  $P_2O_5$ ), что свидетельствует о прекращении производства фосфоритной муки в качестве непосредственного фосфорного удобрения и ориентированности фосфатно-сырьевой базы на производство растворимых удобрений. Аналогичное реформирование с повышением качества фосфатного сырья претерпела фосфатная промышленность США в 60-е годы.

Общее количество производимого фосфатного сырья, качеством в среднем 30,52%  $P_2O_5$ , перерабатывается главным образом (85%) сернокислотным способом на экстракционную фосфорную кислоту (ЭФК) и далее на все виды минеральных (растворимых) фосфорсодержащих удобрений. Оставшиеся 15% сырья используются для производства моющих средств, кормовых фосфатов и продуктов специального назначения в пищевой отрасли, металлургии и т.д.

Подавляющая масса мирового фосфатного сырья (85,6% или без учета РФ – 92,8%) производится из фосфоритов, запасы которых в 12 раз больше мировых запасов апатитовых руд. Апатитовые концентраты (суммарно 9,2 млн. т/год, марки выше 80 ВРЛ) производятся в ЮАР, Зимбабве, Финляндии, Швеции, Бразилии и Канаде.

Страна	Производство, млн. т	Качество, $P_2O_5$ в %	Потребление, млн. т
США	43,97	29,4	45,0
Марокко	23,59	31,9	10,4
Китай	29,0	<b>30,0</b>	24,09
Россия	10,5	<b>38,98</b>	7,2
Тунис	7,96	30,0	6,3
Иордания	5,97	33,0	2,23
Бразилия	4,42	35,3	4,88
Сумма:	125,2	<b>30,52 (без РФ)</b>	103,31

Табл. 1. Структура мирового производства, потребления и качество фосфатного сырья (по данным Ангелова и др., 2000, с уточнениями на 2006 г.).

В России за счет выбывания из промышленного освоения фосфоритовых объектов (в 2002 г. ОАО «Верхнекамский фосфоритный рудник», в 2006 г. ОАО «Фосфорит» (г. Кингисепп) и без того предельно высокое качество фосфатного сырья заметно (по сравнению с мировыми колебаниями качества) повысилось с 37,9% до 39,0%  $P_2O_5$ .

В 2013 г. добыча фосфоритов производилась только на техногенном месторождении «Участок складирования фосфоритовых шламов» Полпинского месторождения в Брянской области и составила 52 тыс. т руды. Доля некондиционной фосфоритной муки (Фосмука-17) в объемах выпуска фосфорсодержащих удобрений (январь-июнь 2015 г.) в пересчете на 100%  $P_2O_5$  составляет 0,51% (Основные показатели..., 2015). Это свидетельствует о потере значения фосмуки как фосфорного удобрения.

Химическая переработка фосфоритового концентрата (28,15%  $P_2O_5$ ) ОАО «Фосфорит» с использованием экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) из апатитового концентрата оказалась нерентабельной. Апатитовый концентрат и продукты его индивидуальной переработки имеют существенно более высокую экспортную востребованность и ценность, чем продукты его совместной переработки с фосфоритовым сырьем.

Доля экспорта апатитового концентрата российских предприятий высока, несмотря на снижение с 50% в 1992 г. до 20-30 % от общего объема производства в настоящее время. Импортёрами концентрата являются, в частности, фирмы Yara Norge AS, Hydro Agri Norge AS (Норвегия), Prayon SA (Франция), Nordwest AG (Швейцария), «Хайфа Кемикалз» (Израиль) и др. Основными импортёрами апатитового концентрата ОАО «Ковдорский ГОК» являются фирмы Швейцарии (EuroChem Trading GmbH) и Литвы.

В 2011 г. осуществлен пуск первой очереди горно-обогательного комбината ЗАО «Северо-Западная Фосфорная Компания» мощностью 1 млн. тонн апатитового концентрата в год. В марте 2015 года на обогащательной фабрике ГОКа «Олений Ручей» достигнута производительность – 100 тыс. т концентрата в месяц. В рамках строительства II-ой очереди ГОКа «Олений Ручей» в марте начаты пуско-наладочные работы нового оборудования обогащательной фабрики.

В Китае, Индии, Бразилии, Мексике, Индонезии, Аргентине потребление фосфорных удобрений сейчас растет довольно быстрыми темпами, так как перед этими странами стоит задача достижения продовольственной безопасности в условиях быстрорастущего населения. Предполагается, что подобные тенденции сохранятся, а спрос на фосфаты ежегодно будет прирастать более чем на 3%. В то же время в ЕС, странах СНГ, Японии и США наблюдается относительное уменьшение объемов потребления фосфорных удобрений.

Руководство «ФосАгро» с целью поддержания производительности ОАО «Апатит» на уровне 8,5 млн. т концентрата в год до 2020 года планирует суммарные капитальные вложения на сумму 1 млрд. долларов. ОАО «Апатит» останется «крупнейшим и стабильным производителем фосфорсодержащего сырья для производства минеральных удобрений» (Григорьев, 2006).

Бесспорным является также следующий вывод: *существенного увеличения объемов добычи руды и производства апатитового концентрата на действующих гор-*

*но-обогащательных предприятиях страны не произойдет ни в кратко-, ни в долгосрочной перспективе.*

В России главными производителями фосфорсодержащих удобрений являются следующие компании: ОАО «ФосАгро», ОАО «Акрон», ОАО «МХК «ЕвроХим», ОАО «Минудобрения», ОАО «ОХК «УралХим». Суммарное производство минеральных удобрений в России в 2014 г. (в пересчете на 100% питательных веществ) составило 19,6 млн. т. Баланс производства удобрений (Горощенко, 2015) по компонентному составу следующий: 42% – азотных; 15% – фосфорных; 43% – калийных.

В списке ведущих стран-экспортёров удобрений (Хохлов, 2014) Россия в XXI веке прочно занимает первое место (27,2 млн. т в 2013 г.), второе место – КНР (19 млн. т), третье место – Канада (18,3 млн. т), четвертое место – США (9,9 млн. т). Динамика развития промышленности удобрений РФ представлена на рис. 1.

Отечественные потребители покупают в основном более дешевые и быстро окупаемые азотные удобрения, изменяя научно обоснованное для почв России соотношение N:P:K, равное 1:0,9:0,7 до практически реализуемого 1:0,4:0,3.

Основными рынками сбыта (70% экспорта) российских аммофоса и диаммофоса являются Латинская Америка и Азия (в основном Пакистан и Вьетнам). 30% аммофоса экспортируется в Западную Европу (Великобритания, Германия, Испания и др.). Китай – основной экспортёр НРК-удобрений (азофоски, нитроаммофоски).

Средние нормы внесения удобрений по данным Министерства промышленности и энергетики РФ (в кг/га) составляют: в России – 21, в Китае – 240, в США – 250, в ЕС – 500. По данным НИУФ в рейтинге по данному параметру Россия (16 кг/га) занимает 95-е место перед такими странами, как Бенин, Гаити, Эфиопия, Малави и Папуа - Н.Гвинея (100-е место). По производству калийных удобрений Россия занимает 2-е место, фосфатных – 3-е место, азотных – 4-е место в мире. В среднем 3-е место по производству удобрений и 95-е по их непосредственному применению представляют собой, безусловно, заметный контраст.

Стратегия развития Минсельхоза России предполагает ежегодное потребление фосфорных удобрений, содержащих 1,0 млн. т  $P_2O_5$ , для достижения дореформенного уровня необходимо потреблять 1,5 млн. т  $P_2O_5$ , а для полной продовольственной безопасности – 3,0 млн. т  $P_2O_5$  (Ангелов и др., 2006).

В настоящее время в России производится 4,09 млн. т  $P_2O_5$  в составе фосфатного сырья и 3,01 млн. т  $P_2O_5$  в составе фосфорсодержащих удобрений (Горощенко, 2015). Однако более 80% произведенного  $P_2O_5$  «иммигрирует» за границу в виде сырья (apatитового концентрата) и минеральных удобрений. Внутри страны потребляется по разным оценкам от 16% до 27% необходимого для полной продовольственной безопасности количества  $P_2O_5$ .

Все вышесказанное преимущественно касается апатитовых руд России. Закономерно возникает вопрос о месте фосфоритовых руд в балансе активных запасов и промышленного производства.

Отечественная фосфатно-сырьевая база, безусловно, достаточна для удовлетворения внутренних потребностей России (Баталин и др., 2004). Схема размещения место-

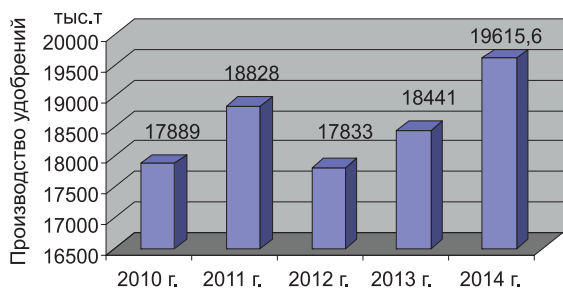


Рис. 1. Динамика производства удобрений минеральных или химических в России (в пересчете на 100% питательных веществ, тысяча тонн).

рождений и проявлений фосфатного сырья по федеральным округам РФ представлена на рис. 2.

Очевидны следующие выводы:

1. Россия не только обладает весьма значительной фосфатно-сырьевой базой (5 место в мире), но и производит достаточное количество фосфатного сырья (4 место) и фосфорсодержащих удобрений (3 место после США и Марокко). Предельно высокое качество производимого апатитового концентрата (83-86 BPL) и, соответственно, удобрений противоречит современным возможностям и опосредованно препятствует развитию отечественного сельхозпроизводства. Мировые цены на фоссырье существенно зависят от качества (в \$ /тонна): 160 – марка 85 BPL (Россия); 115 – марка 74 BPL (Индия); 80 – марка 71 BPL (Марокко). Высокие цены на высококачественные минеральные удобрения делают российские агрофирмы и фермеров без господотаций в сельское хозяйство неконкурентоспособными. Инвестиции в сельское хозяйство составляют в Швеции – 3200 долл./га, в ЕС в среднем – 800 долл./га.

2. Фосфоритовая составляющая МСБ России (Табл. 2)

полностью потеряла хозяйственное значение. Российские промышленные запасы фосфоритовых руд на 77,7% представлены труднообогатимыми желваковыми фосфоритами, оцененными для производства нерентабельного продукта – фосмуки.

Ракушечные фосфориты (3,6 % промышленных запасов) могут перерабатываться только совместно с остродефицитным апатитовым сырьем.

3. Возможностей существенного увеличения промышленного производства апатитовых концентратов в Европейской части России нет.

Для сельского хозяйства Европейской части России альтернативным источником растворимых фосфорсодержащих удобрений может стать фосфоритовое сырье.

Фосфоритовые концентраты (и, соответственно, произведенные из них удобрения) более низкого качества, чем апатитовые, будут преимущественно потребляться внутри страны. Общемировой тенденцией является использование низкокачественного фоссырья внутри стран продуцентов.

В связи с высокими транспортными тарифами экономически значимым становится неравномерное распределение апатитовых и фосфоритовых руд по федеральным округам России. Апатитовые руды представлены в северной части Северо-Западного округа, а также в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. Месторождения фосфоритовых руд, напротив, территориально приурочены к аграрным районам страны в Европейской части РФ, где расположено подавляющее большинство химических комбинатов, производящих минеральные удобрения.

Загрузка производственных мощностей химических предприятий неполная и изменяется по мере удаления от производителей сырья от 100% и более в Вологодской,

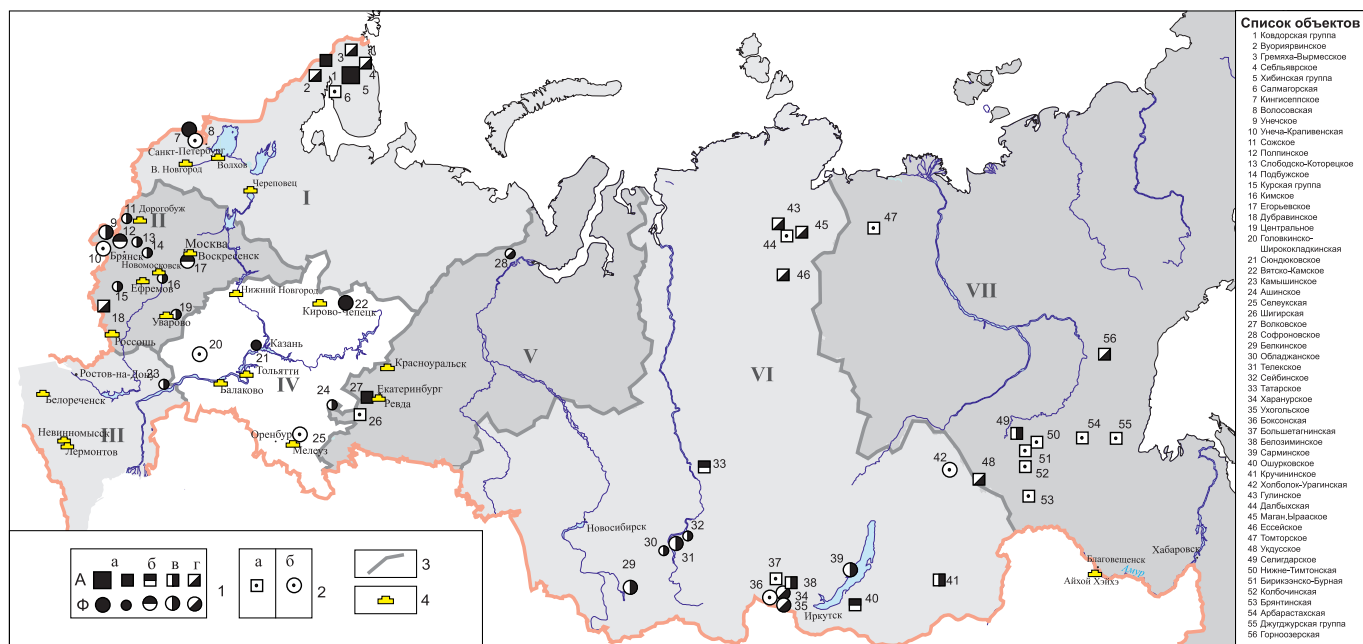


Рис. 2. Схема размещения месторождений и проявлений фосфатного сырья и химзаводов по федеральным округам России. 1 – месторождения (А – апатитовые, Ф – фосфоритовые): а – разрабатываемые, б – законсервированные, в – резервные, г – не состоящие на государственном балансе; 2 – проявления и прогнозные площади: а – апатитовые, б – фосфоритовые; 3 – границы федеральных округов (на схеме: I – Северо-Западный, II – Центральный, III – Южный, IV – Приволжский, V – Уральский, VI – Сибирский, VII – Дальневосточный); 4 – перерабатывающие заводы. Примечание: уменьшение величины знака месторождений отражает уровень их значимости: федеральный и региональный – для апатитов, региональный и местный – для фосфоритов

Новгородской, Ленинградской областях до 40% и менее в Приволжском (г. Кирово-Чепецк) и Уральском (г. Ревда) федеральных округах, вплоть до полной остановки производства в городах Тольятти, Красноуральск, Ефремовск, Чириуртовск, Уваровск.

Таким образом, исключительная ориентированность предприятий на переработку апатитового концентрата и монополизация рынка сырья имеют заметные негативные последствия.

Экскурс в историю обнаруживает весьма значительную роль фосфоритовых руд в промышленном производстве СССР. Баланс запасов фосфатного сырья на 1.01.1964 г. предполагал, что для производства намечаемого количества фосфорных удобрений потребуется добыть в 1965 г. – фосфоритов 17 млн. т и апатитов 22 млн. т, в 1970 г. – 35 млн. т и 23 млн. т, соответственно. Основное количество фосфорных удобрений – около 73% (12,6 млн.т, в том числе 4,0 млн. т фосмуки) – планировалось для потребления в Европейской части Союза, включая Урал; 13% (2,2 млн. т, в том числе 0,6 млн. т фосмуки) – в Средней Азии и Казахстане; 12% (2,1 млн. т, в том числе 0,3 млн. т фосмуки) – в Сибири и на Дальнем Востоке.

Интересно отметить планы на опережающие темпы освоения именно фосфоритовой составляющей МСБ.

Государственным балансом запасов в РФ на 01.01.2014 г. учитываются 34 месторождения фосфоритовых руд с суммарными запасами кат. А+В+С<sub>1</sub> 1861,8 млн. т (209,98 млн. т Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>). Запасы кат. С<sub>2</sub> учтены в количестве 2128,9 млн. т руды (244,9 млн. т Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>).

Запасы основных геолого-промышленных типов фосфоритовых руд РФ в настоящее время значительны

(Табл. 3), а прогнозные ресурсы фосфоритов в 1,7 раза больше, чем апатитов.

Все вышесказанное подчеркивает важность незамедлительной промышленной реанимации фосфоритовой составляющей отечественной фосфатно-сырьевой базы. Стратегическим направлением ее развития должно стать промышленное освоение новых технологий производства растворимых минеральных удобрений для отечественного потребителя.

Фосфоритовая сырьевая база России (Табл. 3) представлена в основном рудами желвакового геолого-промышленного типа (ГПТ), в меньшей степени – ракушечного, обломочно-крустификационного, песчаниково-зернистого, микрозернистого ГПТ и традиционно ориентирована на производство фосмуки – продукта неликвидного на внешнем и неконкурентоспособного на внутреннем рынке.

Поэтому крайне актуальной становится задача геолого-технологической переоценки традиционных и оценки новых геолого-промышленных типов фосфоритовых руд России с учетом возможности их переработки на растворимые минеральные удобрения.

На территории европейской части России наиболее значительными по запасам и прогнозным ресурсам являются три ГПТ фосфоритовых руд:

1) **желваковый** (А+В+С<sub>1</sub> – 160,9 млн.т Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>, С<sub>2</sub> – 191,7 млн. т Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>, суммарный ресурсный потенциал составляет 261 млн. т Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>);

2) **комплексный песчаниково-зернистый** (запасы по категории С<sub>2</sub> – 32,6 млн. т Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>, прогнозные ресурсы по категории Р<sub>1</sub>+Р<sub>2</sub> – 237,5 млн. т Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>) – Унечское месторождение, Унеча-Кративенская зона Брянской области;

3) **песчаниково-гравийно-зернистый**, выявленный сотрудниками ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» в 2004 г. на территории Пензенской области (Ширококкладко-Головинская прогнозная фосфоритоносная площадь с суммарными прогнозными ресурсами Р<sub>1</sub>+Р<sub>2</sub>+Р<sub>3</sub> – 86 млн. т Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>).

С учетом совокупности технологических параметров, минералого-петрографического и химического состава оценка фосфоритовых руд, предполагающая их химическую переработку, в настоящее время может быть основана на следующих направлениях (Непряхин, 2006).

1. Совместная переработка апатитового и низкосортного фосфоритового сырья с усреднением качественных параметров в конечном продукте.

2. Обогащение фосфоритовых руд с получением фосфоритовых концентратов для стандартной химической переработки.

3. Инновационные технологии

ГПТ	Запасы по категориям в млн. т Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>			Перспективы и направления оценки для химпереработки
	А+В+С <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>	Баланс, %	
Желваковый	160,9	191,65	77,67	требуется разработка инновационных технологий (3-е направление)
Ракушечный	14,3	2,08	3,61	зависят от производства апатитового сырья (1-е направление)
Песчаниково-зернистый (комплексный)	-	32,6	7,18	хорошие при наличии заинтересованных инвесторов (2-е и 3-е направления)
Микрозернистый	2,3	14,0	3,59	не определены
Обломочно-крустификационный	31,6	4,5	7,95	хорошие при наличии заинтересованных инвесторов (2-е направление)

Табл. 2. Запасы основных ГПТ фосфоритовых руд России (на 01.01.2014 г.) и перспективы их использования для химпереработки на растворимые удобрения.

Компонент, м одуль	Содержание по сортам		Предельные значения	Флорида (США) 72 BPL	Коссиер (Египет) 62 BPL
	Высший	Рядовой			
Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> , %	≥ 32,5	≥ 28	24,5	33,19	28,30
Величина модуля, не более					
Мж = Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>	0,02	0,08	0,15	0,03	0,04
Мпо=Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>	0,06	0,12	0,18	0,06	0,06
Мк = СО <sub>2</sub> / Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>	0,12	0,15	0,27	0,10	0,18
Мм = MgO / Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>	0,02	0,06	0,14	0,01	0,01
SM = М <sub>по</sub> (М <sub>ж</sub> ) + М <sub>к</sub> + М <sub>м</sub>	<b>0,20</b>	<b>0,33</b>	-	<b>0,17</b>	<b>0,25</b>

Табл. 3. Кондиции фосфоритового сырья для стандартной химической переработки.

обогащения и химической переработки фосфоритов с определением соответствующих кондиций сырья.

Первое альтернативное направление связано с использованием фосфоритной муки в составе новых форм комплексных удобрений, которые получают при введении фосфоритной муки на определенной стадии технологического процесса без расхода дополнительного количества кислоты на ее разложение. Данное направление актуально для переоценки **желваковых фосфоритов**, и в частности крупнейшего в России **Вятско-Камского месторождения** с балансовыми запасами:  $A+B+C_1 - 100,7$  млн. т  $P_2O_5$ ,  $C_2 - 170,7$  млн. т  $P_2O_5$ , которые составляют 47,9% от запасов РФ. 14,1%  $P_2O_5$  от общих запасов России в фосфоритах сосредоточено на Егорьевском месторождении желваковых фосфоритов в Московской области.

Норма  $P_2O_5$ , вводимого с фосфоритной мукой, может составлять 10-30 % от общего содержания  $P_2O_5$  в продукте. Одним из таких удобрений является **аммофосфат** – комплексное азотно-фосфорное удобрение, содержащее 38-46 %  $P_2O_5$  общ., 26-31 %  $P_2O_5$  вод и 4-7 % N (в зависимости от вида перерабатываемого сырья).

Другими новыми продуктами, получаемыми с использованием предварительно химически не обработанной фосфоритной муки, являются **NP- и NPK-удобрения с фосфоритной мукой**. Введение 10-20 %  $P_2O_5$  в виде фосмуки на стадии гранулирования не снижает агрохимической эффективности нитроаммофоса, нитроаммофоски и сложно-смешанных удобрений на основе суперфосфата, нитрата аммония и хлорида калия. При использовании фосфоритной муки Кингисеппского месторождения количество  $P_2O_5$ , вводимое с ней, не должно превышать 10-15 % от общего количества  $P_2O_5$  в удобрении; при использовании муки Вятско-Камского, Егорьевского и Полпинского месторождений с мукой можно вводить 20%  $P_2O_5$  и более. Основной задачей, ставившейся при разработке подобных NPK-продуктов, являлось повышение агрохимической эффективности фосфоритной муки, главным образом за счет снижения ее потерь с пылью при внесении в почву.

Аналогичный подход при химической переработке фосмуки Вятско-Камского месторождения развивается ОАО «НИУИФ» совместно с АООТ «Минудобрения», которыми разработана технология получения из мытого концентрата Вятско-Камского месторождения с содержанием  $P_2O_5$  22-23 % нового фосфорного удобрения, получившего наименование **«димонифосфат кальция»**. Представленность вятско-камского фосфора в конечном продукте составляет от 30 до 60% относительно его общего содержания.

Второе направление для желваковых фосфоритов из-за особенностей минералого-петрографического состава неприемлемо.

Принципиально новым направлением в технологии производства концентрированных фосфорных и комплексных фосфорсодержащих удобрений является развитие методов селективного выщелачивания, осуществляемое в ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» в рамках третьего направления оценки. Переработка вятско-камских фосфоритов способом выщелачивания позволяет получать продукты типа нитроаммофоса с содержанием суммы питательных компонентов до 52,2%. При этом извлечение  $P_2O_5$  составляет 89-92%.

Второе направление технологической оценки, связанное с получением фосфоритового концентрата для стандартной химической переработки, представляется в краткосрочной перспективе наиболее целесообразным.

Из числа традиционных и новых геолого-промышленных типов фосфоритовых руд лучшие перспективы для стандартной химической переработки имеют песчаниково-зернистые, песчаниково-гравийно-зернистые, обломочно-крустификационные (суммарно более 75% прогнозных ресурсов).

Кондиции фосфатного сырья пригодного для стандартной химической переработки (Табл. 3) определяются, в первую очередь, соотношением содержаний вредных компонентов ( $Fe_2O_3$ ,  $CO_2$ ,  $MgO$ ,  $Fe_2O_3+Al_2O_3$ ) к содержанию полезного компонента  $P_2O_5$ .

Представленные значения параметров определены нами на основании анализа качества мирового и отечественного фосфатного сырья. Очевидно, что кондиции апатитовых и фосфоритовых концентратов, а также технологические параметры обогатимости значительно отличаются.

Существенное значение имеет абсолютное содержание  $P_2O_5$ , которое помимо содержания вредных примесей определяется содержанием балластных компонентов, а предельно высокие значения – главным образом минеральным составом фосфата. В таблице 3 приведены примеры фосфоритового сырья, производимого в США и Египте, удовлетворяющие качеству высшего и рядового сортов в нашей градации. Указанные предельные значения параметров отмечались в перерабатываемом фосфоритовом сырье различных месторождений, а их суммирование для оценки конкретного сырья естественно недопустимо.

**Песчаниково-гравийно-зернистые фосфориты** Пензенской области по суммарному ресурсному потенциалу (86 млн. т  $P_2O_5$ ) и качеству отнесены к числу перспективных объектов для расширения фосфатной сырьевой базы Приволжского округа. Проведенная в ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» технологическая оценка выявила возможность их химической переработки концентратов из руд Ширококладкинского и Черкасского проявлений.

Гравитационные концентраты (27,1-26,63 %  $P_2O_5$ ,  $M_k=0,19$ ,  $M_{ж}=0,03$ ,  $M_m=0,01$ ,  $SM=0,23$ ) характеризуются низким содержанием вредных для химпереработки компонентов. Полученные продукты азотнокислотной переработки характеризуются хорошими качественными параметрами. При высоком суммарном содержании питательных компонентов (50,8%) доля усваиваемой  $P_2O_5$  составляет 94,2 отн. %, а соотношение  $N:P_2O_5 = 0,8:1$ , что обосновывает возможность при добавлении KCl получать уравновешенную по питательным компонентам нитроаммофоску марки 16:16:16.

Руды изученных проявлений отнесены к одному технологическому типу – бескарбонатных маложелезистых фосфоритовых руд. Определены технологические параметры извлечения попутных титано-циркониевых компонентов, дистена, а также кварцевого стекольного песка (марок ВС-030-В, ВС-050-2, ПС-250). Выход стекольного сырья составляет от 55 до 75 % массы исходной руды.

**Песчаниково-зернистый** геолого-промышленный тип комплексных фосфатно-титаноциркониевых руд выявлен

в 1988 г. Иконниковым Н.Н. на территории Брянской области. В качестве перспективной в настоящее время выделяется Унеча-Крапивенская зона россыпей фосфатно-титаноциркониевых песков с наиболее изученным Унечским месторождением (запасы по категории  $C_2$  – 32,6 млн. т  $P_2O_5$ , прогнозные ресурсы по категории  $P_1+P_2$  – 237,5 млн. т  $P_2O_5$ ). Наиболее перспективным способом добычи руд является способ скважинной гидродобычи (СГД), интенсивно развиваемый в настоящее время в ФГУП «ЦНИИ-геолнеруд» (Аксенов и др., 2008).

Основными проблемами, затрудняющими технологическую оценку и освоение, являются минералого-петрографические особенности руд.

Общее количество фосфата в руде составляет не более 25%. Фосфат присутствует в четырех формах: 1) пленоч-

ный и оболочечный фосфат – 72,5%; 2) самостоятельные фосфатные зерна – 22,5%; 3) фосфатный цемент в породе – 3,5%; 4) органогенный фосфат – 1,5%.

Преобладание пленочно-оболочечной формы препятствует использованию традиционных способов обогащения. Разработанная технологическая схема (Рис. 3) определяет в качестве основных продуктов стадии обогащения – кальцитовый продукт (сырье для производства портландцемента и известняковой муки) и фосфатный промпродукт для выщелачивания. Химический состав фосфатного промпродукта не удовлетворяет кондициям сырья для стандартной химической переработки (Табл. 4), при этом извлечение полезных компонентов –  $P_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$  – в данный промпродукт превышает 88%.

Метод выщелачивания применим к фосфатному сырью с чрезвычайно низким содержанием  $P_2O_5$  (в данном случае – 15,41%). В результате выщелачивания образуется продуктивный фосфорсодержащий раствор и кек. Кек представляет собой продукт, по составу аналогичный составу руд богатых титано-циркониевых россыпей. Он легко обогащается на мономинеральные концентраты с использованием стандартных промышленных технологий.

Переработка продуктивных растворов выщелачивания, в зависимости от способа позволяет получать различные продукты, близкие к качеству промышленных аналогов: азофоска, нитроаммофосфат, нитрофос (Табл. 5). Они характеризуются высоким относительным содержанием усваиваемой формы  $P_2O_5$  (94,8-96,8 %). Сквозное извлечение  $P_2O_5$  в целевые фосфатные продукты составляет 86,1%, а низкое содержание железа и алюминия (Табл. 5) в них не предполагает процессов ретроградации.

Обогащение черного концентрата определяется следующими параметрами извлечения титано-циркониевых компонентов: извлечение  $TiO_2$  в ильменитовый концентрат (при выходе концентрата – 2,90%, содержания  $TiO_2$  – 58,22%) составляет 61,85 %, в рутиловый концентрат (выход – 0,21%; 82,24%  $TiO_2$ ) – 6,33%, в лейкоксеновый концентрат (выход – 0,32%; 63,92%  $TiO_2$ ) – 7,49%; извлечение  $ZrO_2$  в цирконовый концентрат (выход концентрата – 0,15%; 57,46%  $ZrO_2$ ) – 62,46%. Получены кварцевые продукты, соответствующие маркам стекольного кварцевого песка: ВС-050-2, С-070-2, Б-100-2.

Новым комплексным фосфоритсодержащим сырьем являются **фосфатно-кварцевые пески Волгоградской**

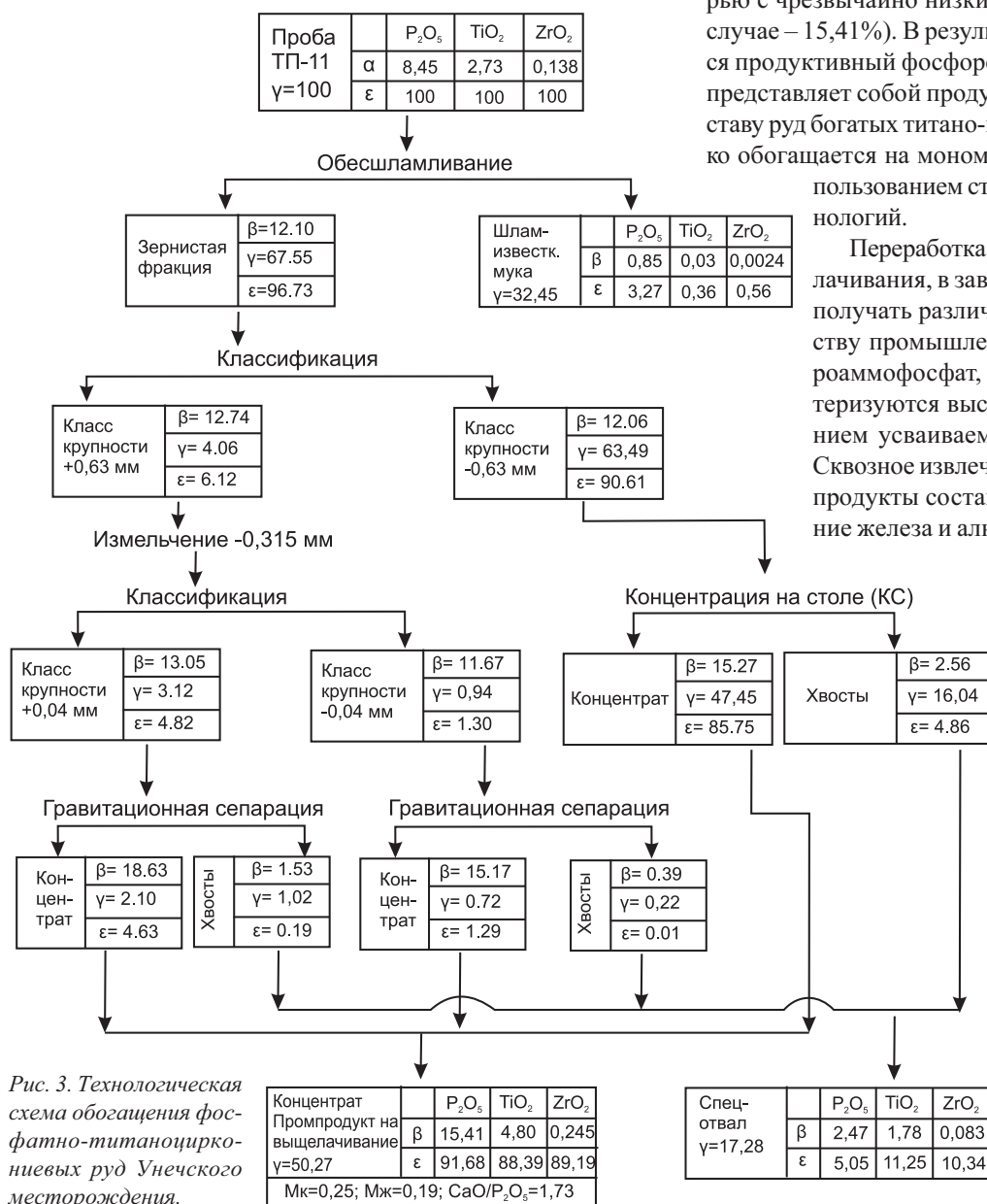


Рис. 3. Технологическая схема обогащения фосфатно-титаноциркониевых руд Унечского месторождения.

Проба	Содержание компонентов *, %									
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub> г/т	SM б/разм
Исх. руда	33,13	2,73	1,48	1,78	32,84	0,28	8,45	16,70	1380	-
Промпродукт	45,81	4,80	1,65	2,18	25,08	0,21	15,41	3,08	2100	0,35

Табл. 4. Химический состав Унечских руд и промпродукта. \* Аналитики: Гузиева Г.И., Шунина Е.Н., Гильмутдинов Р.Р.

Способ переработки	Содержание компонента *, %						Марки удобрений-аналогов
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> усв.	N	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Мд	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Мж	F	
Сульфатный	14,40	13,94	25,6	<u>0,29</u> 0,02	<u>0,48</u> 0,03	0,48	Азофоска марка (2:1:0)
Азотно-фосфорнокислотный	24,29	23,03	18,25	<u>0,24</u> 0,01	<u>0,28</u> 0,01	0,20	Нитроаммофос марка Б (1:1,5:0)
Азотно-фосфорнокислотный	18,01	17,26	21,83	<u>0,27</u> 0,01	<u>0,32</u> 0,02	0,39	Нитрофос марка А

Табл. 5. Химический состав продуктов химической переработки Унечских руд.

\*Аналитики: Гузиева Г.И., [Тимонина Е.Б.], Князева Н.В.

Параметр	Величина параметра в продуктах обогащения по технологическим типам руд			
	«Чистый»	Маложелезистый	Железистый	Высокожелезистый
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	31,72	29,09	29,54	30,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,108	0,115	0,135	0,281
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,133	0,160	0,167	0,121
MgO / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,014	0,028	0,030	0,018
CO <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,010	0,043	0,055	0,039
Сумма модулей (SM)	0,265	0,346	0,387	0,459

Табл. 6. Химический состав продуктов обогащения фосфоритов Софроновского месторождения.

области (Верхнебузиновская прогнозная фосфоритоносная площадь), прогнозные ресурсы которых оценены ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» в 2006 г. по категории P<sub>3</sub> – 30 млн. т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Данное сырье относится к разряду легкодоступных (небольшая глубина залегания) и легкообогащаемых. Технологические схемы, используемые при обогащении кварцевого сырья для стекольной промышленности, позволяют попутно получать фосфоритовые концентраты (29-31 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Мж=0,06, Мк=0,15, Мм=0,01) для стандартной химической переработки, соответствующие среднемировому качеству. Технологический параметр извлечения P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в данные концентраты составляет 98-94 %, существенно превышая данный параметр для известных геолого-промышленных типов фосфоритовых руд.

Перспективы промышленного освоения песчаниково-зернистых и песчаниково-гравийно-зернистых фосфоритов, фосфатно-кварцевых песков вполне реальны в связи со значительным дефицитом на рынке кварцевого стекольного сырья. Последнее может стимулировать промышленное освоение данных фосфоритов, при обогащении которых достаточно высок выход качественного стекольного сырья дефицитных марок ВС-050-2, С-070-2.

Фосфоритовые руды **обломочно-крустификационного** ГПТ составляют 8% балансовых запасов P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в фосфоритах РФ. На примере *Софроновского месторождения (Ямало-Ненецкий автономный округ Тюменской области)*, запасы и ресурсы категорий C<sub>2</sub> + P<sub>1</sub> – 15,3 млн. т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) рассмотрены перспективы освоения данного ГПТ, связанные с благоприятными особенностями вещественного состава и технологическими свойствами руд. Технологическая переоценка, выполненная в ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» в 2007-2008 гг., выявила эффективность процессов избирательной классификации, гравитационной и электромагнитной сепарации и флотации с получением фосфоритовых концентратов, пригодных для стандартной химической переработки.

В таблице 6 представлены параметры химического состава фосфоритовых концентратов, полученных из софро-

новских руд различных технологических типов. Для данных концентратов установлена эффективность как сернокислотного, так и азотнокислотного метода переработки с получением экстракционной фосфорной кислоты, аммофоса (соответствующего требованиям ТУ 95-255-74 на «Аммофос удобрительный» марки А) и нитрофоса (соответствующего «Нитрофосу» марки А по ОСТ 95.11-87). Извлечение P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в конечные продукты составляет 93-99 % от исходной руды.

Таким образом, Россия является одним из мировых лидеров по запасам и прогнозным ресурсам фосфатного сырья, по производству сырья и минеральных удобрений, по количеству земель сельскохозяйственного назначения и пахотных

земель на душу населения. Несмотря на это, в рейтинге стран по количеству вносимых удобрений на гектар пашни Россия замыкает первую сотню, а продукты питания импортирует из стран, имеющих на порядок меньший размер сельхозугодий.

Россия была страной с весьма значительной долей сельскохозяйственного сектора в экономике и должна стать эффективным пользователем природных ресурсов для самостоятельного производства продовольствия.

В этой связи необходимо развитие внутреннего рынка минеральных удобрений и, особенно, его самой неблагоприятной части – рынка фосфатного сырья. Монополизация рынка фосфатного сырья приводит к необоснованному росту цен на сырье и минеральные удобрения. Предельно высокое качество и цена фосфатсодержащих удобрений противоречит возможностям отечественного сельхозпроизводителя.

Таким образом, в настоящее время сложились условия для промышленной реанимации значительной фосфоритовой составляющей отечественной фосфатно-сырьевой базы. Представленные результаты технологической переоценки традиционных и оценки новых геолого-промышленных типов фосфоритовых руд России обосновывают возможность получения фосфорсодержащих растворимых удобрений на основе новых технологий обогащения и химической переработки.

## Литература

- Аксенов Е.М., Баталин Ю.В., Вишняков А.К. и др. Перспективы освоения сырьевой базы калийных удобрений на Востоке России. *Минеральные ресурсы России*. 2008. № 1. С. 79-89.
- Ангелов А.И., Алейнов Д.П. и др. Перспективы обеспеченности промышленности минеральных удобрений фосфатным сырьем. *Химическая промышленность сегодня*. 2006. № 7. С. 11-17.
- Ангелов А.И., Левин Б.В., Черненко Ю.Д. Фосфатное сырье. *Справочник*. М: ООО «Недра-Бизнесцентр». 2000. 120 с.
- Баталин Ю.В., Карпова М.И., Фахрутдинов Р.З. Сырьевая база агрохимического сырья России как основа повышения эффективности производства и потребления минеральных удобрений. *Неметаллические полезные ископаемые России: современное состояние сырьевой базы и актуальные проблемы научных исследований*. М: ИГЕМ РАН. 2004. С. 53-55.

Горощенко Л.Г. Российское производство минеральных удобрений в 2014 году и в 1 квартале 2015 года. *Химический комплекс России*. 2015. № 6(248). С.22-27.

Григорьев А.В. Минерально-сырьевая база ОАО «Апатит». Перспективы развития. *Горная промышленность*. 2006. № 6. С. 5-8.

Непряхин А.Е. Геолого-технологическая оценка фосфоритовых руд европейской части России. *Отечественная геология*. 2006. № 4. С. 66-71.

Москвитина Т.Г. Региональная структура и развитие производства в российском химическом комплексе. *Вестник химической промышленности*. 2015. № 4(85). С. 26-33.

Основные показатели работы химического комплекса России за январь-июнь 2015 г. *Вестник химической промышленности*. 2015. № 4(85). С.13-21

Хохлов А.В. Мировая торговля важнейшими товарами в 2013 году. *БИКИ*. № 4. 2014. С. 4-18.

## Сведения об авторах

*Александр Евгеньевич Непряхин* – канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник, Отличник разведки недр.

*Евгений Владимирович Беляев* – канд. геол.-мин. наук, заведующий отделом промышленных минералов, Почетный разведчик недр

*Мargarita Ивановна Карпова* – канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник, Почетный разведчик недр

*Ирина Викторовна Лужбина* – ведущий инженер

ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых» («ЦНИИГеолнеруд»)

420097, г. Казань, ул.Зинина, 4. Тел: (843) 238-74-66

## Phosphate Material Resource Base of Russia in the Light of New Technological Possibilities

*A.E. Nepryakhin, E.V. Belyaev, M.I. Karpova, I.V. Luzhbina*

Central Research Institute of Geology of Non-metallic Mineral Resources (FSUE «TsNIIgeolnerud»), Kazan, Russia  
e-mail: root@geolnerud.net

**Abstract.** Phosphate resource base of Russia is represented mainly by concretion, shell, clastic-crustified, sand-grainy, micro-grained geological and industrial ores, and is traditionally focused on the production of phosphate meal - illiquid product in the foreign market and uncompetitive in the domestic market. Its share in the domestic production of phosphate fertilizers does not exceed 1%. High quality and therefore price of apatite concentrate and fertilizers produced from it are contrary to modern possibilities of domestic agricultural producers. Geological and technological revaluation of conventional deposits and evaluation of new phosphate ores are becoming urgent with the possibility of converting them into soluble fertilizers. Revaluation of conventional technologies and evaluation of new phosphate ores in Russia substantiate the possibility of obtaining soluble phosphate fertilizers on the basis of new technologies of enrichment and chemical conversion.

**Keywords:** phosphate, phosphate fertilizers, enrichment, chemical conversion.

### References

Aksenov E.M., Batalin Yu.V., Vishnyakov A.K. et al. Perspektivy osvoeniya syr'evoy bazy kaliynikh udobreniy na Vostoke Rossii [Prospects for the development of the resource base of potash fertilizers in the east of Russia]. *Mineral'nye resursy Rossii* [Mineral Resources of Russia]. 2008. № 1. Pp. 79-89.

Angelov A.I., Aleynov D.P. et al. Perspektivy obespechennosti promyshlennosti mineral'nykh udobreniy fosfatnym syr'em [Prospects for mineral fertilizer industry supply by phosphate raw materials]. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya* [Chemical industry today]. 2006. № 7. Pp. 11-17.

Angelov A.I., Levin B.V., Chernenko Yu.D. Fosfatnoe syr'e [Phosphate raw materials]. Spravochnik [Directory]. Moscow: OOO «Nedra-Biznestsentr». 2000. 120 p.

Batalin Yu.V., Karpova M.I., Fakhruddinov R.Z. Syr'evaya baza agrokhimicheskogo syr'ya Rossii kak osnova povysheniya effektivnosti proizvodstva i potrebleniya mineral'nykh udobreniy. Nemetallicheskie poleznye iskopaemye Rossii: sovremennoe sostoyanie syr'evoy bazy i aktual'nye problemy nauchnykh issledovaniy [The raw material base of Russian agrochemical raw

materials as the basis for increase of efficiency of production and consumption of mineral fertilizers. Non-metallic mineral resources of Russia: the current state of the resource base and current problems of research]. Moscow: «IGEM RAN». 2004. Pp. 53-55.

Goroschenko L.G. Rossiyskoe proizvodstvo mineral'nykh udobreniy v 2014 godu i v 1 kvartale 2015 goda [Russian production of mineral fertilizers in 2014 and the 1st quarter of 2015]. *Khimicheskii kompleks Rossii* [The chemical complex of Russia]. 2015. № 6(248). Pp. 22-27.

Grigor'ev A.V. Mineral'no-syr'evaya baza ОАО «Апатит». Perspektivy razvitiya [Mineral resources base of JSC «Apatit». Development prospects]. *Gornaya promyshlennost'* [Mining industry]. 2006. № 6. Pp. 5-8.

Nepryakhin A.E. Geologo-tekhnologicheskaya otsenka fosforitovykh rud evropeyskoy chasti Rossii [Geological and technological evaluation of phosphate rock in European Russia]. *Otechestvennaya geologiya* [Patriotic geology]. 2006. № 4. Pp. 66-71.

Moskvitina T.G. Regional'naya struktura i razvitie proizvodstva v rossiyskom khimicheskoy kompleks [Regional structure and development of the Russian chemical industry]. *Vestnik khimicheskoy promyshlennosti* [Journal of Chemical Industry]. 2015. № 4(85). Pp. 26-33.

Osnovnye pokazateli raboty khimicheskogo kompleksa Rossii za yanvar'-iyun' 2015 g. [Basic indicators of the chemical complex of Russia for January-June, 2015]. *Vestnik khimicheskoy promyshlennosti* [Journal of Chemical Industry]. 2015. № 4(85). Pp. 13-21.

Khokhlov A.V. Mirovaya trgovlya vazhneyshimi tovarami v 2013 godu [World produce trade in 2013]. *BIKI* [Bulletin of Foreign Commercial Information]. № 4. 2014. Pp. 4-18.

### Information about authors

*Aleksandr E. Nepryakhin* – PhD (Chem.), Leading Researcher

*Evgeniy V. Belyaev* – PhD (Geol. and Min.), Head of the Industrial Minerals Department

*Margarita I. Karpova* – PhD (Geol. and Min.), Leading Researcher

*Irina V. Luzhbina* – Leading Engineer

Central Research Institute of Geology of Non-metallic Mineral Resources (FSUE «TsNIIgeolnerud»)

420097, Russia, Kazan, Zinina str. 4. Phone: (843)238-74-66