



Processing of Apatite-Nepheline Ore into Highly Efficient Mineral Fertilizers

Alina Olegovna Grankina, Ex-Head of Innovation
Projects, Marketing and Development
Directorate of Apatit JSC in Moscow



PhosAgro enterprises

The Group's main production assets are located in the Murmansk, Vologda, Leningrad and Saratov regions.

Mining:

Kirov Branch of Apatit JSC – mining and beneficiation of apatite-nepheline ores from the Khibiny deposits, production of apatite and nepheline concentrates and syenite concentrates.

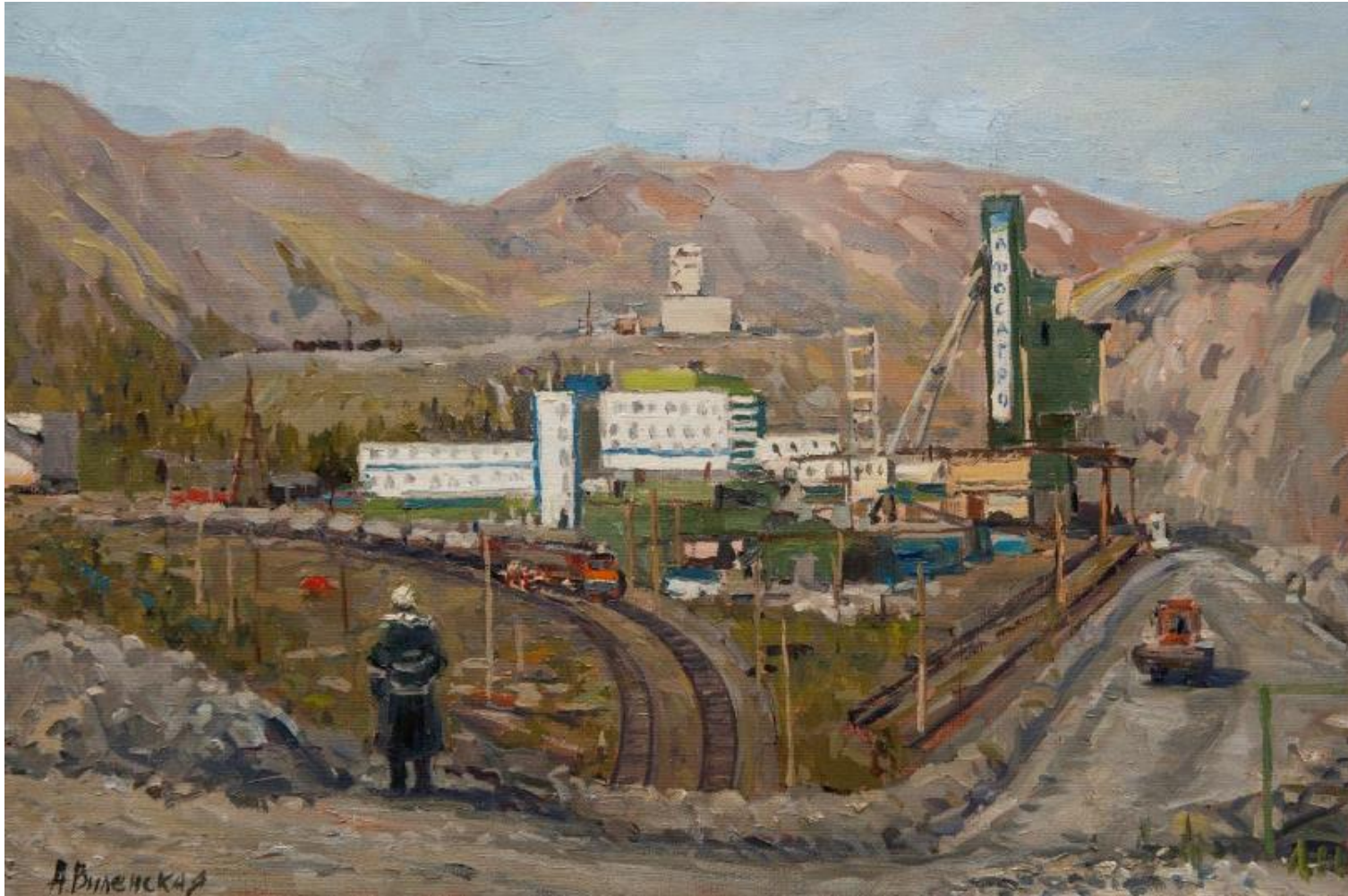
Processing:

Apatit JSC (Cherepovets)

Balakovo Branch of Apatit JSC

Volkhov Branch of Apatit JSC

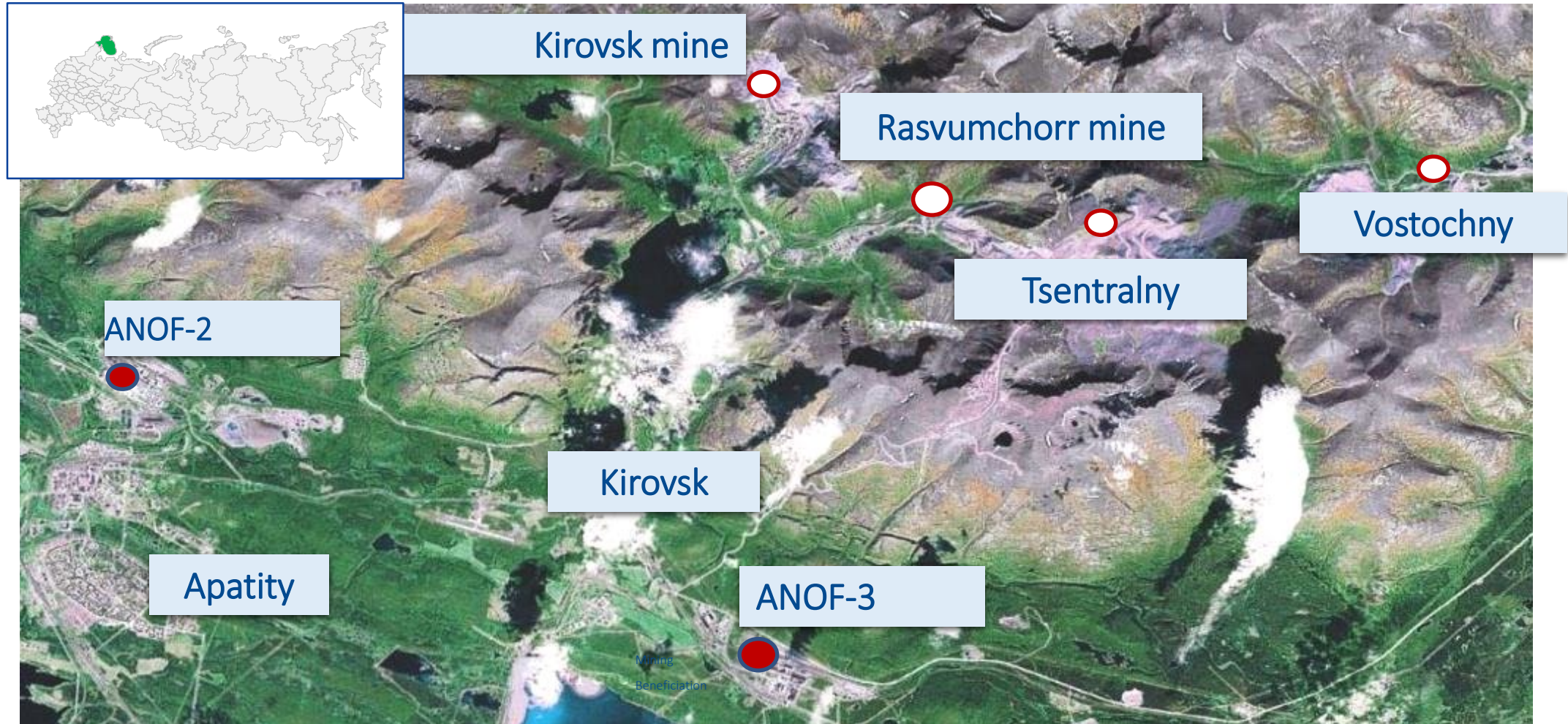




Anna Vilenskaya –
Kirovsk Mine (2017)



Location of PhosAgro's mines





Apatite-nepheline ore

Apatite-nepheline ore is mined at three mines.

In 90 years, 2 billion tons of apatite-nepheline ore have been mined.

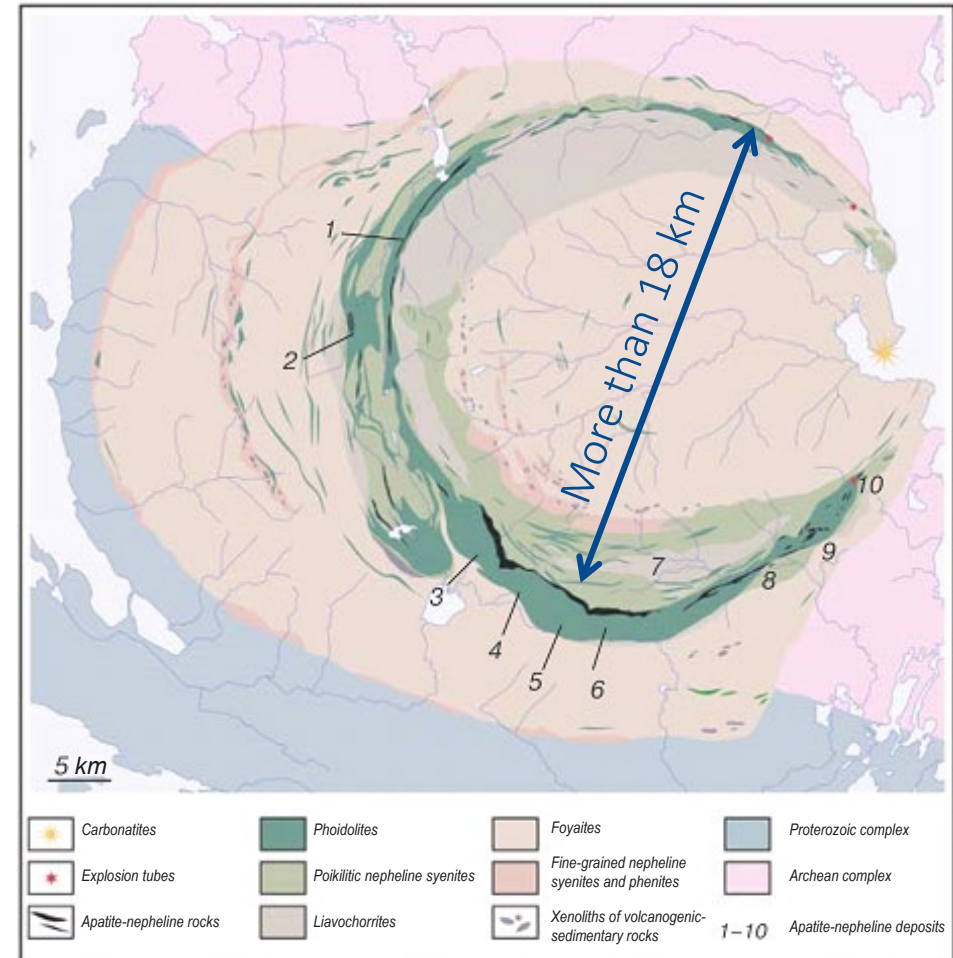
Apatite deposits in the Khibiny were discovered in the 1920s. Thanks to this discovery, the production of mineral fertilizers based on apatite concentrate processing technology was established in Russia.

Globally, phosphate fertilizer production is mainly based on the processing of phosphate rock.

The Khibiny mountain massif has 10 deposits.

The main ones are: Kukisvumchorr, Yukspor, Apatity Circus, Rasvumchorr Plateau, Koashvinskoye, Njorkpahk, Oleniy Ruchey, Kuelpor, Eveslogchorr and Partomchorr.

Source: Mining Journal, 2009 No.9/"Implementation of PhosAgro's Investment Program for the Development of PhosAgro's Enterprises".

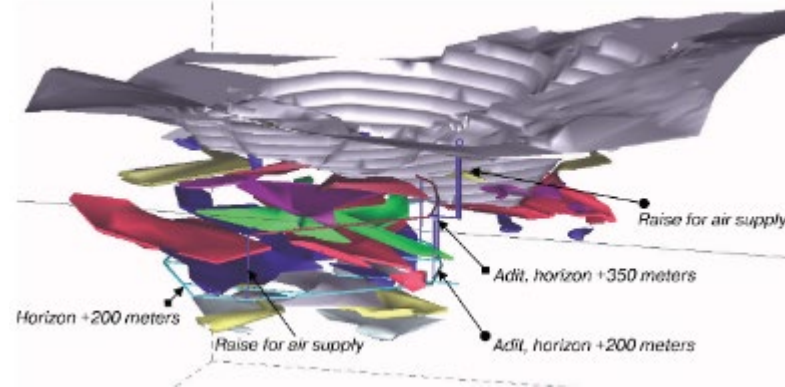


Deposits of apatite-nepheline ores in the Khibiny massif

Ore production – 38 million tons for 2019 – 10.5 million tons of apatite concentrate



Open pit mining – quarry



Underground mining method – mine



Geological model of the Njorkpahk open pit



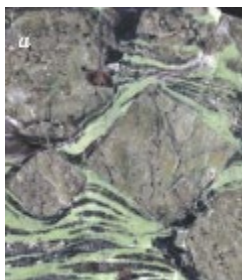
Source: Mining Journal, 2010 №2/"THE COMBINED OPENCAST-UNDERGROUND MINING OF NEARBOARD AND SUB-QUARRY RESERVES OF APATITE-NEPHELINE ORES".



Ore characteristics

Variety of texture	Abundance, %	Mineral content, %					
		Apatite	Nepheline	Pyroxene	Feldspar	Sphene	Titanium-magnetite
Spotted	11–20	74.6	14.6	5.9	1.6	1.4	0.4
Brecciated	3-13	47.0	33-37	11-17	2.5	4.5	1.1
Lenticular	35-36	43.3	42.1	7.7	0.7	2.2	2.0
Striped	44	39.8	8.7	1.2	3	1.2	1.2
Block	10-34	31.7	51.8	9.3	0.5	2.6	2.6
Mesh	21.9	30.0	17.7	2.2	18.2	4.2	4.2
Sphene-apatite	2-10	20.4	31.4	17.3	1.5	18.6	5.2

Varieties of apatite-nepheline ores of the Khibiny deposit:



Block



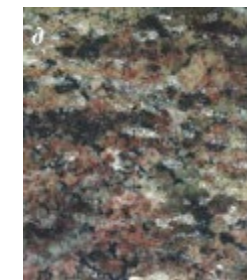
Lenticular-striated



Spotted-striated



Spotted



Apatite urtite

Characteristics comparison of the ores from various deposits around the world



Parameter	Country, deposit					
	Russia, Khibiny deposit	Morocco, Youssoufia	Morocco, Khouribga	Tunisia, Gafsa	Jordan, El Shidiya	USA, Florida
1. P ₂ O ₅ content in ore, %	14.6	18-23	18-23	23-28	24-25	10–11
2. Type of beneficiation	mechanical preparation, flotation beneficiation	crushing, screening	screening, washing, deslurrying	crushing, screening, deslurrying in hydrocyclones, rinsing	crushing, screening, washing, deslurrying in hydrocyclones	mechanical preparation, flotation beneficiation
3. Commercial recovery, %	90	78-80	76	80	80-85	75
4. Specific consumption per 1 ton of concentrate, tons of ore	3.5-3.3		2.3-1.8	1.6-1.2	1.8-1.6	3.9-3.5
5. P ₂ O ₅ content in concentrate, %	39	32	32	29	34	29

Source: Beneficiation of Mineral Resources, Results of Science and Technology, 1984. All-Union Institute of Scientific and Technical Information. Phosphorus and Potassium, 1982 Phosphate raw materials for fertilizer production. Review Information, 1987.



Ore beneficiation

The mined ore is processed at two apatite-nepheline beneficiation plants, ANOF-2 and ANOF-3.

The first Apatite-Nepheline Benefication Plant, ANOF-1, was launched in 1931.

ANOF-2 was launched in 1963.

ANOF-3 was launched in 1984.

During 2019, **38** million tons of ore were beneficiated, from which **10.5 million tons of apatite concentrate** and almost 1 million tons of nepheline concentrate were obtained.





ANOF-2

1.27 km



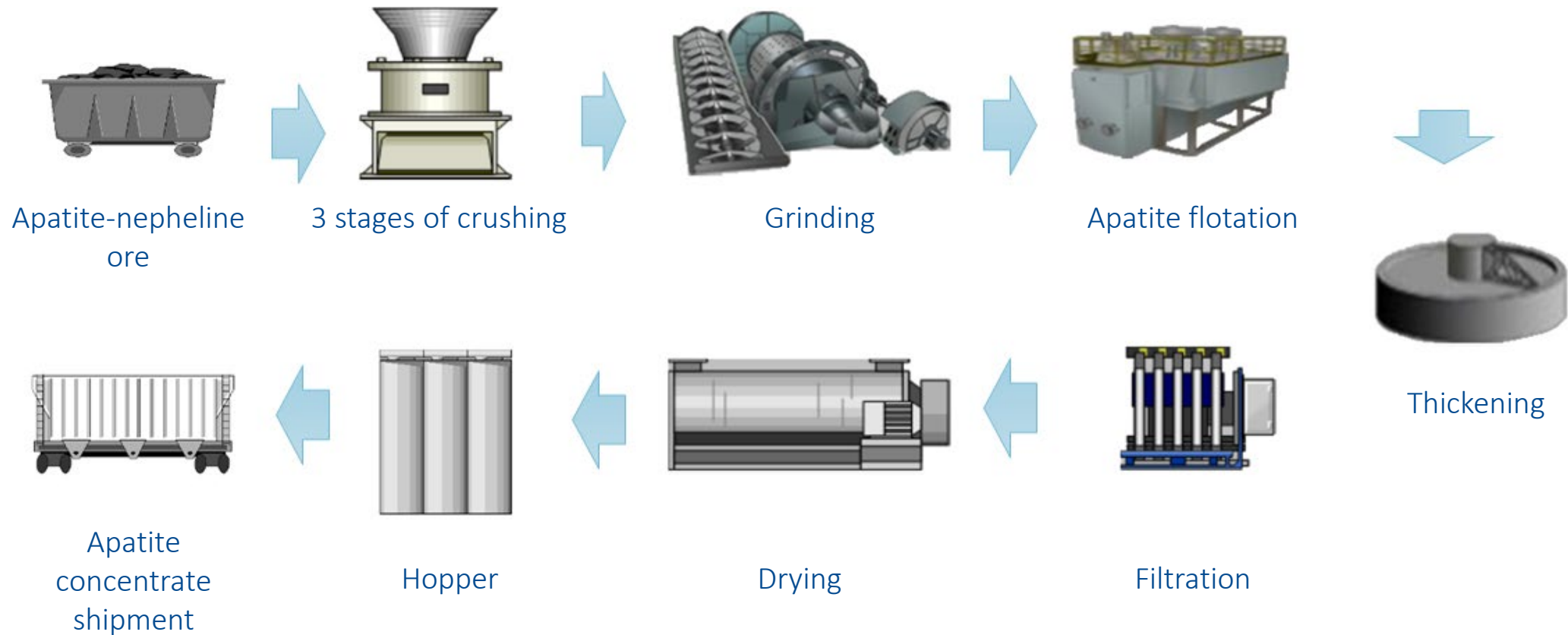
ANOF-3

1.39 km



Ore beneficiation and apatite concentrate production

Increase of P_2O_5 content from 14.6% in ore to 39% of P_2O_5 in apatite concentrate. $Ca_5(PO_4)_3F$ obtaining

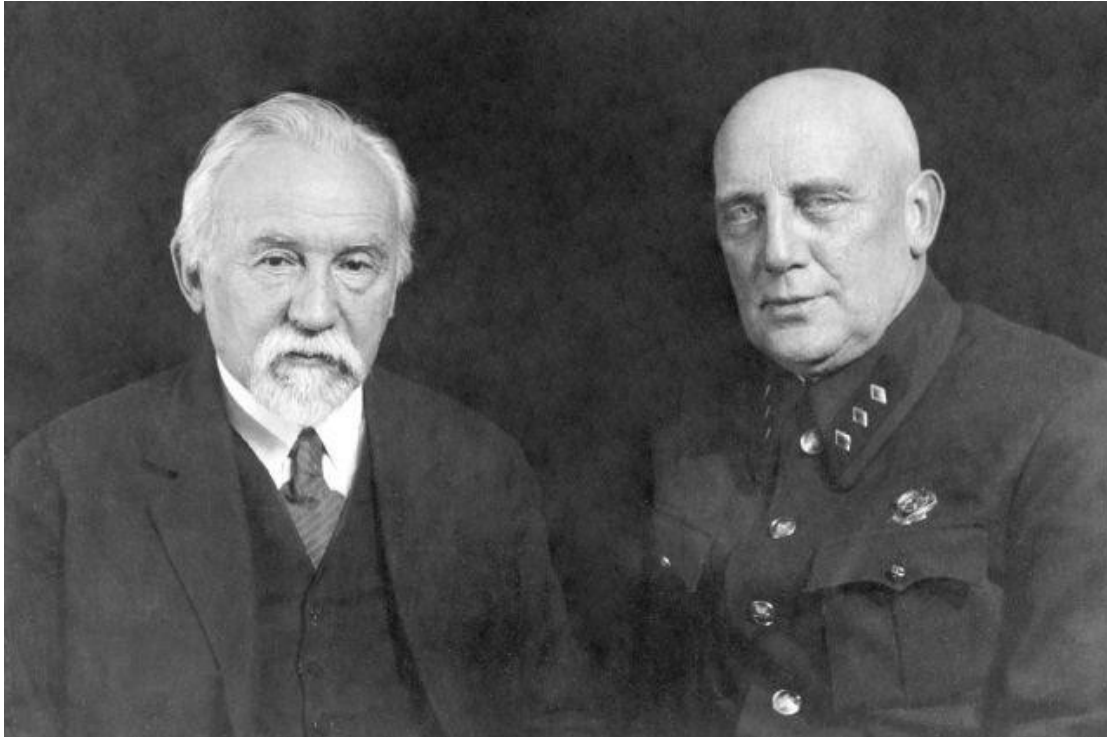








Establishment of the Scientific Institute of Fertilizers



on September 12, 1919 by a separate decree of the Higher Council of National Economy, which had existed since 1916, the Public Committee for Fertilizers established the Scientific Institute of Fertilizers.

Dmitry Nikolayevich Pryanishnikov, Ergard Viktorovich Britske and Yakov Vladimirovich Samoilov became the founders of the Institute. It was later renamed to the Yakov Vladimirovich Samoilov Research Institute of Fertilizers and Insectofungicides.



Main types of fertilizers

- Organic
- Mineral
 - With macroelements
 - Nitrogen
 - Phosphorus
 - Potassium
 - Sulphur-containing
 - Double
 - Triple
 - With microelements
 - Boron
 - Zinc
 - Manganese
 - Copper
 - Molybdenum
 - Iron
 - Nickel
 - Water-soluble
- Organomineral

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Ammonia	82	0	0	0
Urea	45-46	0	0	0
Ammonium sulfate	21	0	0	24
Ammonium nitrate (ammonium saltpeter)	33.0-34.5	0	0	0
KAS	20.4-27.0	0	0	0
Urea-ammonium nitrate	28-32	0	0	0
Monoammonium phosphate	11	52	0	0
Diammonium phosphate	18	46	0	0
NPK fertilizers	Various	Various	Various	Various
Potassium nitrate (potassium saltpeter)	13	0	44	0
Crushed ore	0	20-40	0	0
Simple superphosphate	0	16-20	0	12
Double superphosphate	0	46	0	0
Potassium chloride	0	0	60	0
Potassium sulfate	0	0	50	18
Polyphosphates	10-11	34-37		

Source: International Fertilizer Association,
World Farmers' Organization\\Nutrient
Management Handbook



Fertilizer production

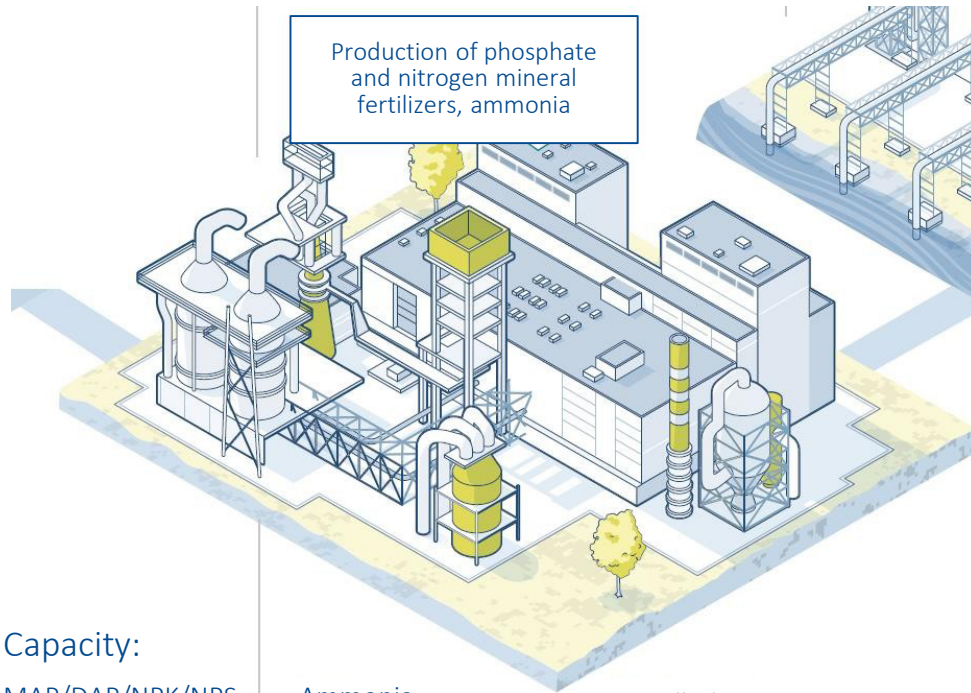
3 key enterprises:

- Apatit JSC
- Balakovo Branch of Apatit JSC
- Volkhov Branch of Apatit JSC





JSC Apatit, Vologda Region



Production of phosphate and nitrogen mineral fertilizers, ammonia

Capacity:

MAP/DAP/NPK/NPS

4.4 mln tons

Ammonium nitrate

530 thous. tons

Ammonia

1.9 mln tons

Liquid complex fertilizers

200 thous. tons

Prilled urea

1,030 thous. tons

Granular urea

550 thous. tons

DAF

NPK(S)

NPK(S)

Аммофос № 12-52
Лучший вариант фосфорнокалийного удобрения для плодородных сельскохозяйственных земель. Повышает урожайность и качество продукции. Обеспечивает высокую влажность почвы и повышает устойчивость к засухе. Применяется в качестве удобрения для картофеля, овощей, ягодных культур, декоративных растений. Применяется в качестве удобрения для газонов, парков, спортивных площадок.

Диаммонийфосфат № 18-46
Для высокопродуктивных сельскохозяйственных культур. Обеспечивает высокую урожайность и качество продукции. Применяется в качестве удобрения для картофеля, овощей, ягодных культур, декоративных растений. Применяется в качестве удобрения для газонов, парков, спортивных площадок.

NPK(S) 15:15:15(10)
Универсальное комплексное удобрение для плодородных земель. Обеспечивает высокую урожайность и качество продукции. Применяется в качестве удобрения для картофеля, овощей, ягодных культур, декоративных растений. Применяется в качестве удобрения для газонов, парков, спортивных площадок.

NPK(S) 8-20-30(2)
Универсальное комплексное удобрение для плодородных земель. Обеспечивает высокую урожайность и качество продукции. Применяется в качестве удобрения для картофеля, овощей, ягодных культур, декоративных растений. Применяется в качестве удобрения для газонов, парков, спортивных площадок.

Сульфаммофос NPK(S) 16-20(21)
Универсальное комплексное удобрение для плодородных земель. Обеспечивает высокую урожайность и качество продукции. Применяется в качестве удобрения для картофеля, овощей, ягодных культур, декоративных растений. Применяется в качестве удобрения для газонов, парков, спортивных площадок.

NPK(S) 10:26:26(2)
Универсальное комплексное удобрение для плодородных земель. Обеспечивает высокую урожайность и качество продукции. Применяется в качестве удобрения для картофеля, овощей, ягодных культур, декоративных растений. Применяется в качестве удобрения для газонов, парков, спортивных площадок.

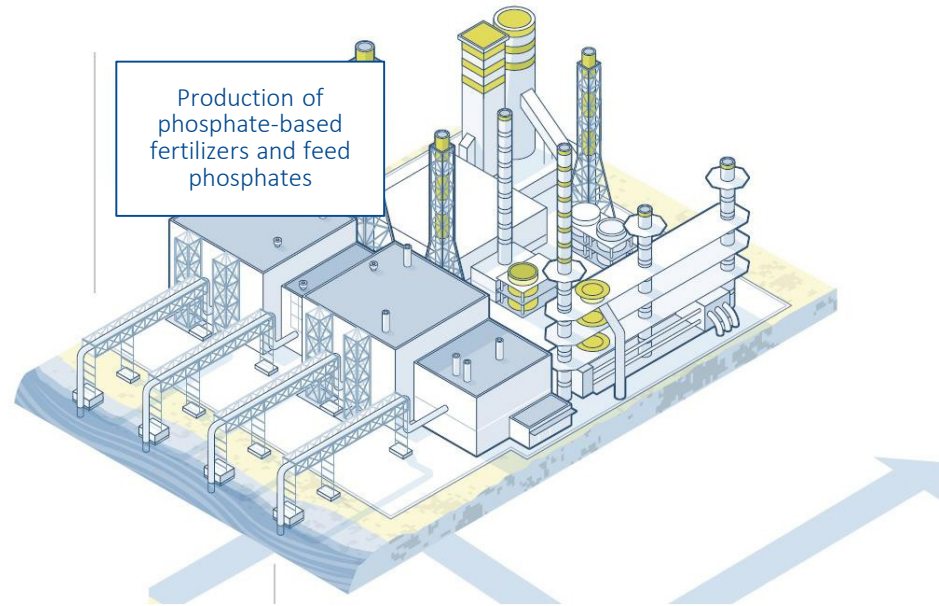
NPK(S)+Ca 5:15:30(S)+7
Универсальное комплексное удобрение для плодородных земель. Обеспечивает высокую урожайность и качество продукции. Применяется в качестве удобрения для картофеля, овощей, ягодных культур, декоративных растений. Применяется в качестве удобрения для газонов, парков, спортивных площадок.

Карбамид N 46,2
Универсальное азотное удобрение для плодородных земель. Обеспечивает высокую урожайность и качество продукции. Применяется в качестве удобрения для картофеля, овощей, ягодных культур, декоративных растений. Применяется в качестве удобрения для газонов, парков, спортивных площадок.





Balakovo branch of Apatit JSC, Saratov region



Production of phosphate-based fertilizers and feed phosphates

MAF

NP(S)

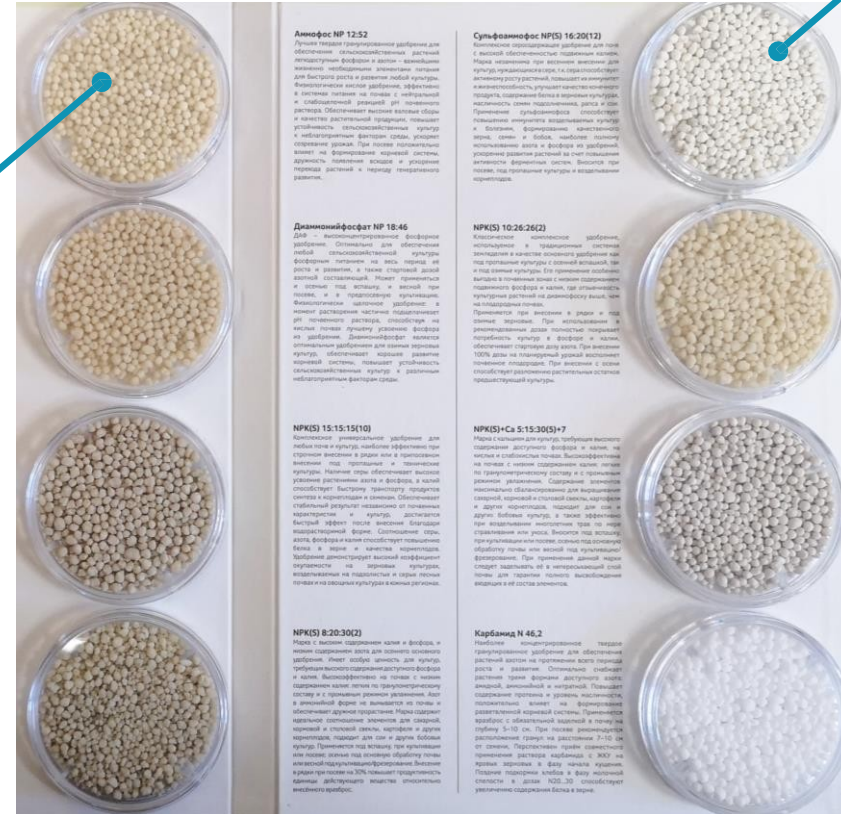
Capacity:

DAP/MAP/NPS

1.8 mln tons

Feed monocalcium phosphate

360 thous. tons



Амофос NP 12:52
Лучше всего транспортируемые удобрения для обеспечения сельскохозяйственных растений фосфором и калием - важнейшим элементом питания растений для быстрого роста и развития любой культуры. Биологически активное действие, эффективное в течение питания на протяжении вегетационного периода, способствует устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным факторам среды, повышает содержание урожая. При полевом применении влияет на формирование корневых систем, улучшает усвоение азота и фосфора, повышает урожайность зерновых и технических культур и улучшает качество продукции.

Диаммонийфосфат NP 18-46
Для высокопродуктивных фермерских хозяйств. Оптимально для обеспечения любой сельскохозяйственной культуры фосфором, калием на весь период ее роста и развития, а также стимулирует дозой азота, содержащийся, имеет фунгицидные и бактерицидные свойства и способствует устойчивости сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды.

NP(KS) 15:15:15(10)
Классические универсальные удобрения для любых почв и культур, наиболее эффективны при внесении в виде жидкой или гранулированной формы. Наилучшие результаты достигаются при внесении в виде жидкой или гранулированной формы. Удобрения обеспечивают высокую устойчивость растений к болезням и вредителям, способствуют формированию мощной корневой системы и повышению урожайности. Обеспечивают устойчивый прирост урожая от начальных стадий вегетации и до уборки урожая. Высокая эффективность при внесении в виде жидкой или гранулированной формы. Содержит калий, азот, фосфор и калий способствует повышению урожайности и качества продукции. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды.

NP(KS) 8:20:30(2)
Масло с высоким содержанием азота и фосфора, и калия. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды.

Сульфаммофос NP(S) 16:20(12)
Классические высокопродуктивные удобрения для почв с высокой кислотностью. Повышение качества продукции. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды.

NP(KS) 10:26:26(2)
Классические высокопродуктивные удобрения для почв с высокой кислотностью. Повышение качества продукции. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды.

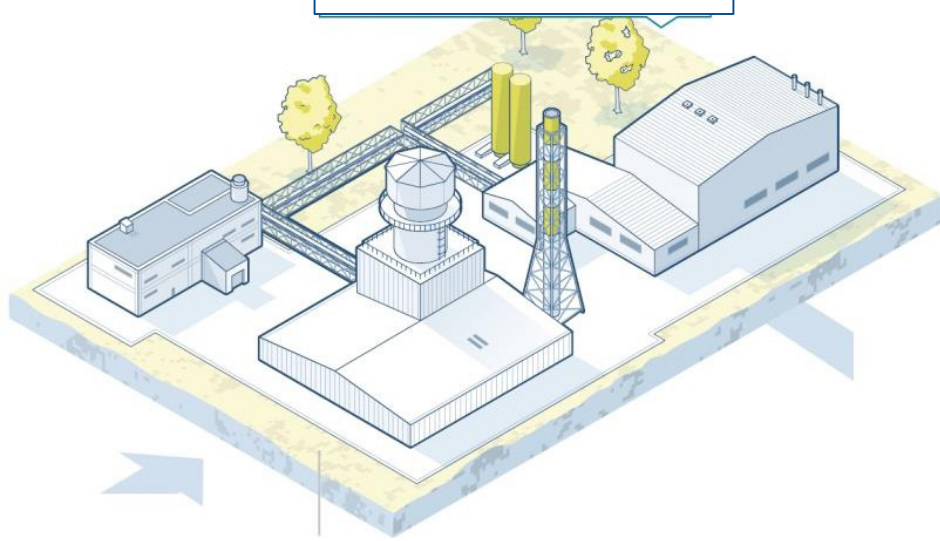
NP(KS)+Ca 5:15:30(S)+7
Масло с высоким содержанием азота и фосфора, и калия. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды.

Карбамид N 46.2
Наилучшие результаты достигаются при внесении в виде жидкой или гранулированной формы. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды. Удобрение способствует формированию мощной корневой системы, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным факторам среды.



Volkhov branch of Apatit JSC, Leningrad region

Production of phosphate mineral fertilizers, technical phosphates, sulphuric and phosphoric acids



Capacity:

PKS, NPK

200 thous. tons

Sulfuric acid

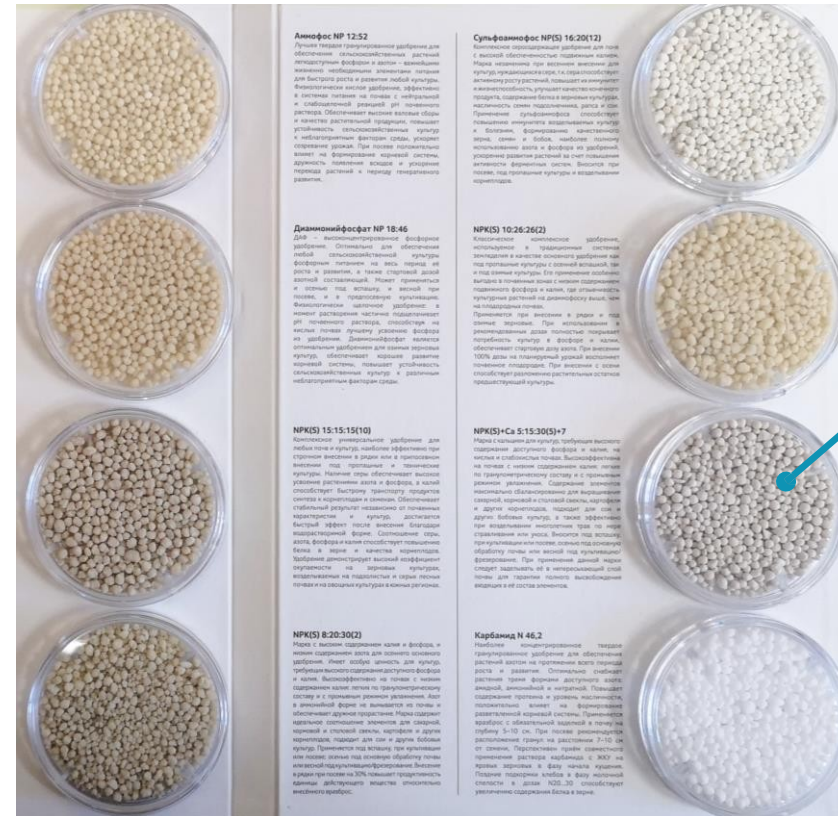
240 thous. tons

Phosphoric acid

100 thousand tons P₂O₅

Sodium triphosphate

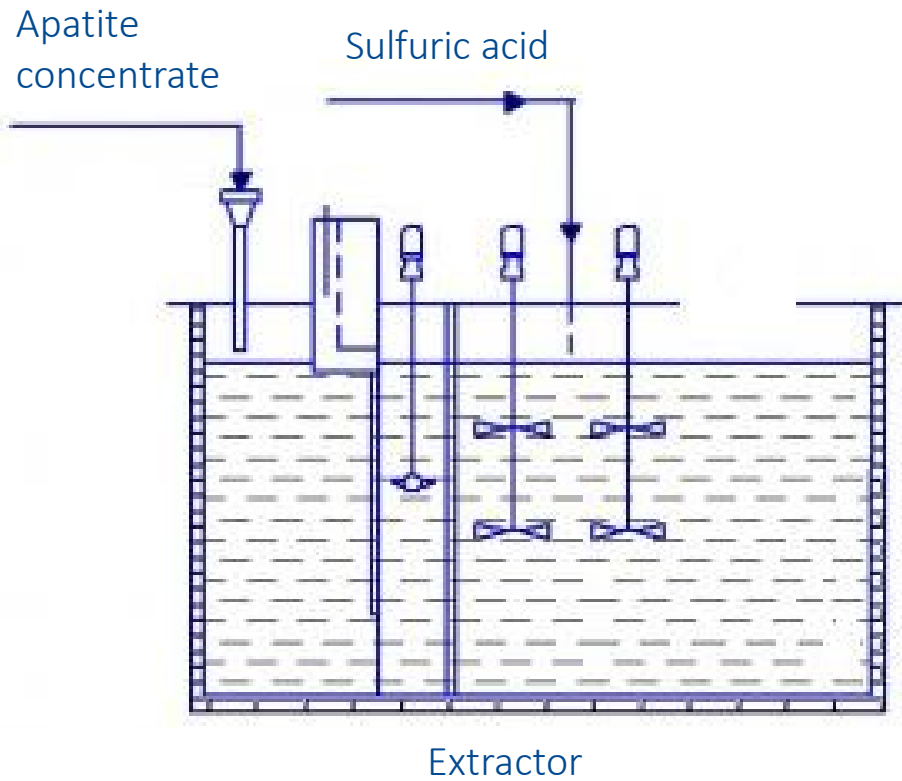
105 thous. tons



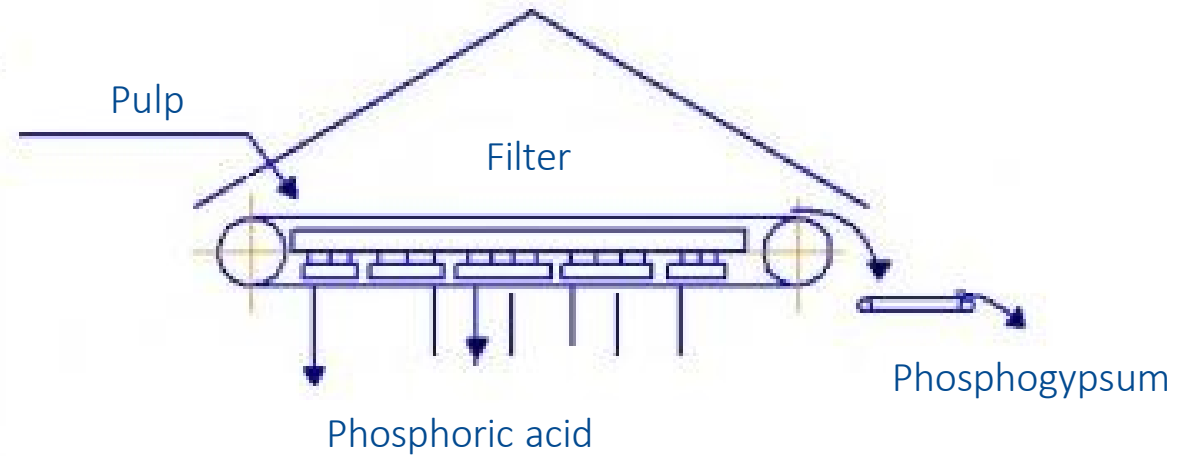
NPK(S)+Ca



Phosphoric acid production

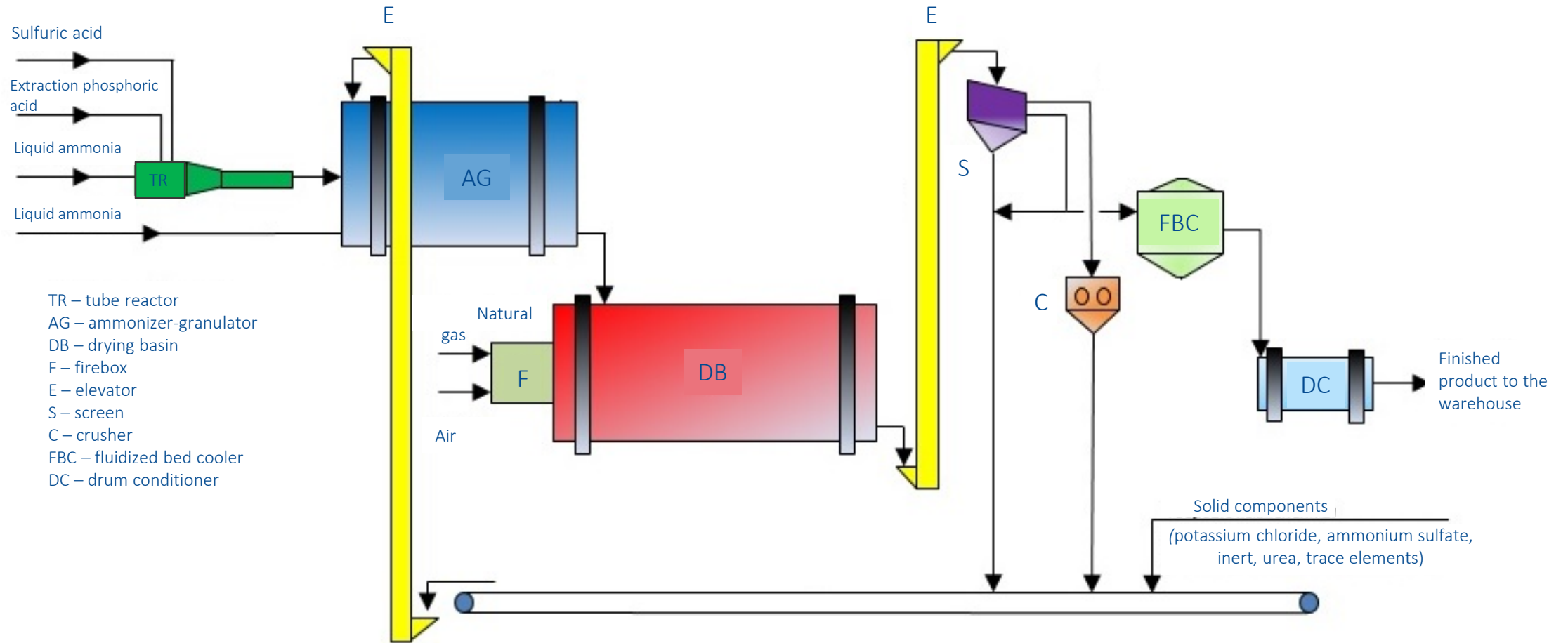


Phosphoric acid, 52-54% of P_2O_5



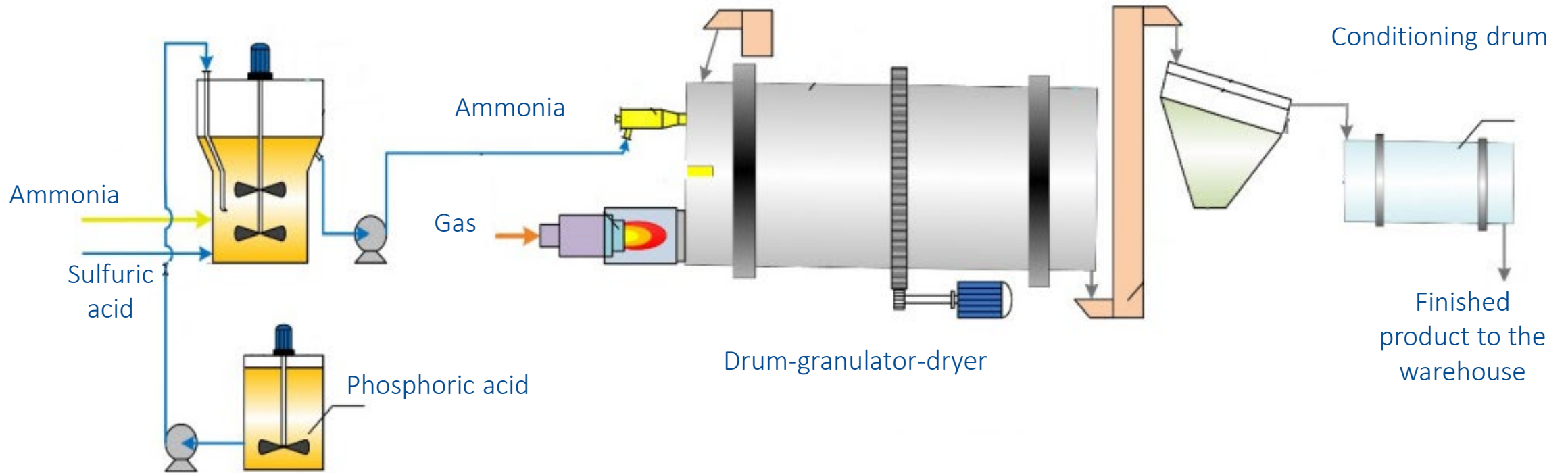


NPK production under the AG and DB scheme



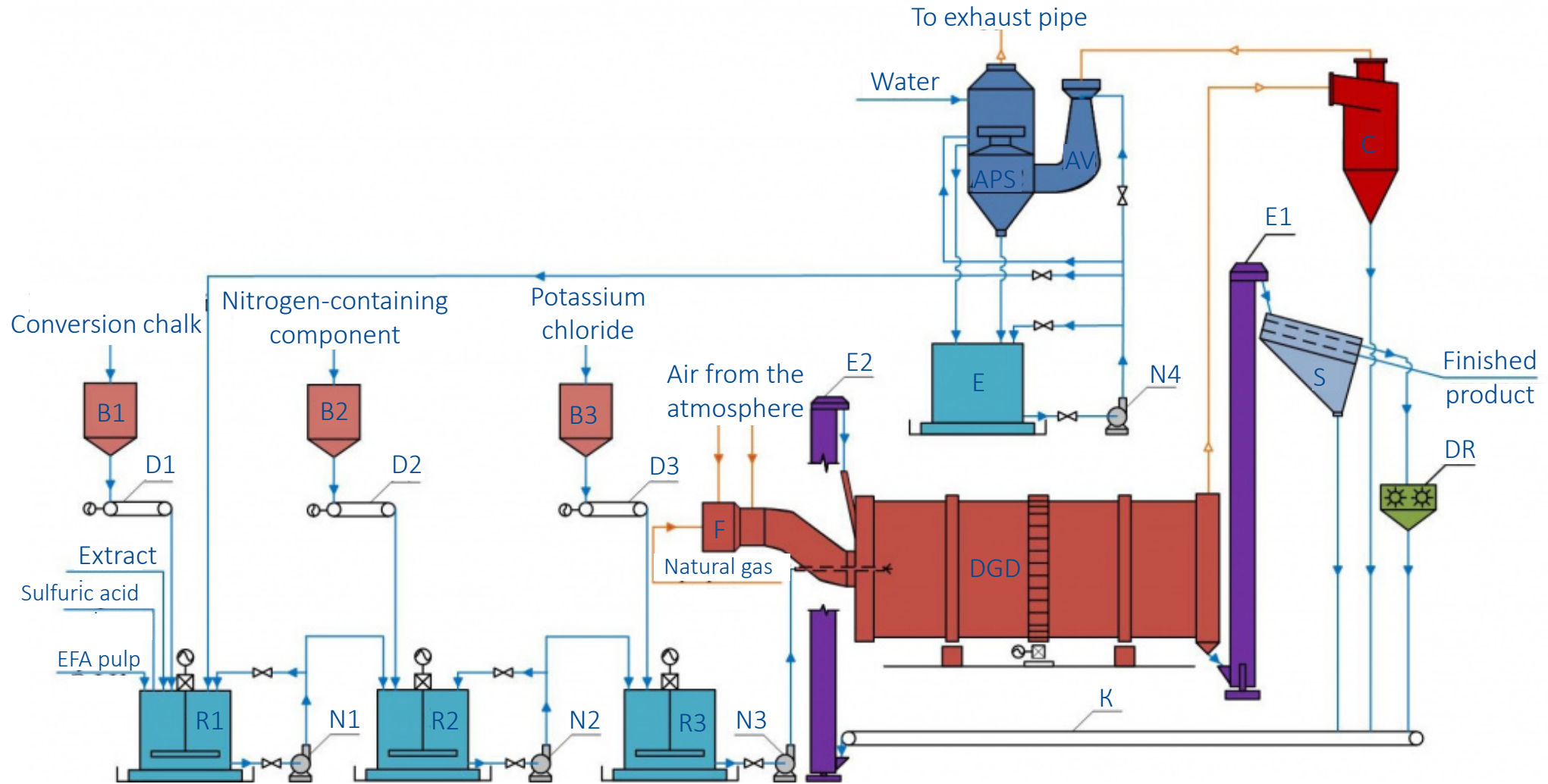


Obtaining of DAP/MAP fertilizers under the DGD scheme



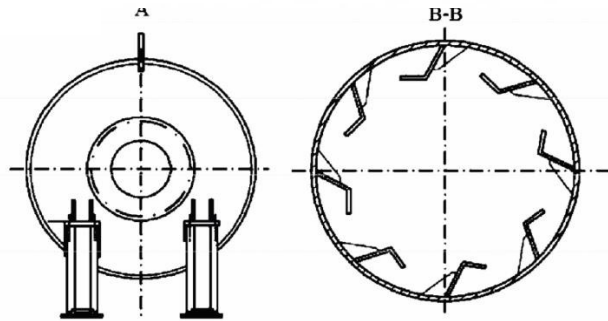
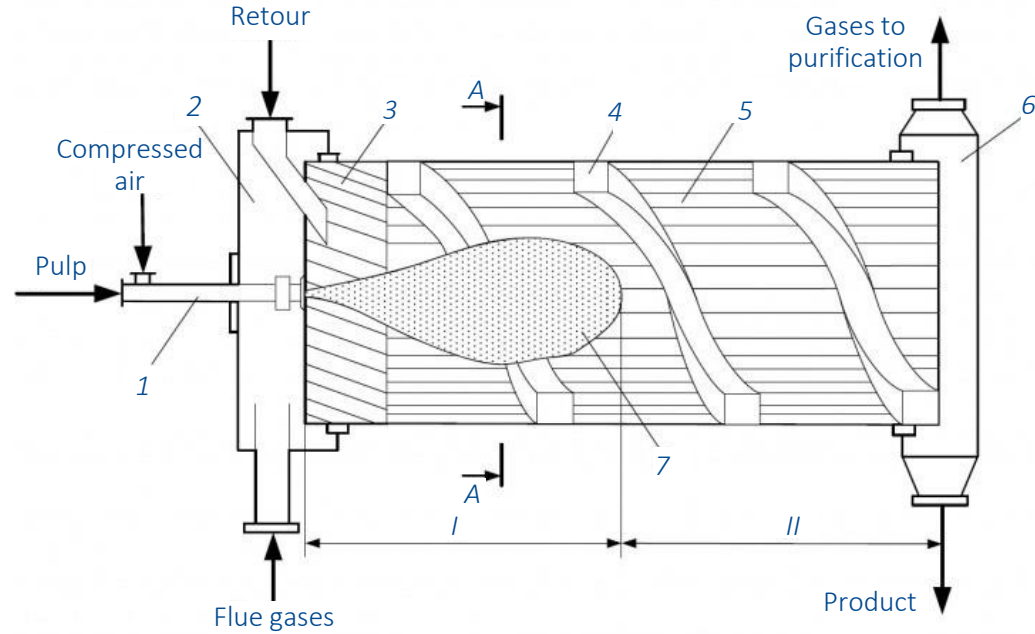


PK/NPK fertilizer production technology





Fertilizer granulation



Drum granulator-dryer

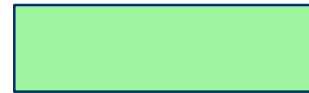




Structure of NPK complex fertilizer granules



potassium chloride

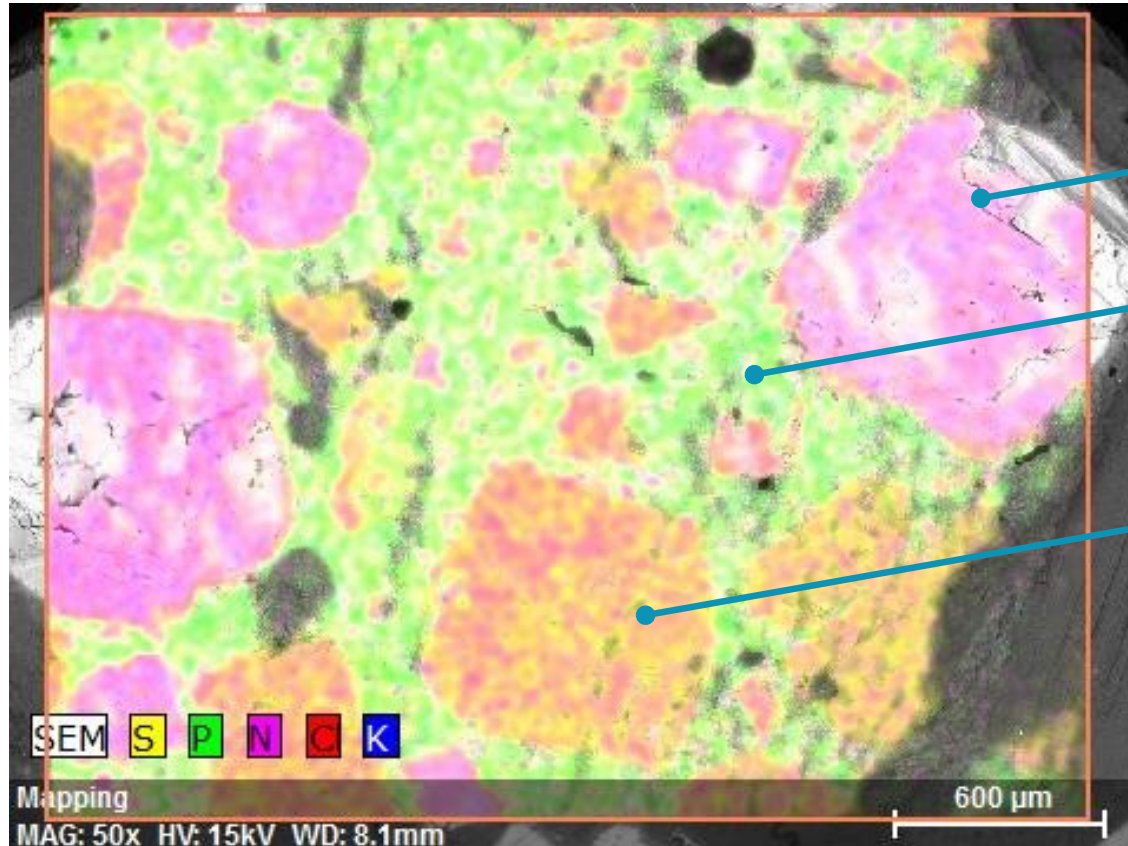


ammonium phosphates



pores

Distribution of active substances in a granule – section of NPK(S) 15-15-15(10)



KCl

$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$

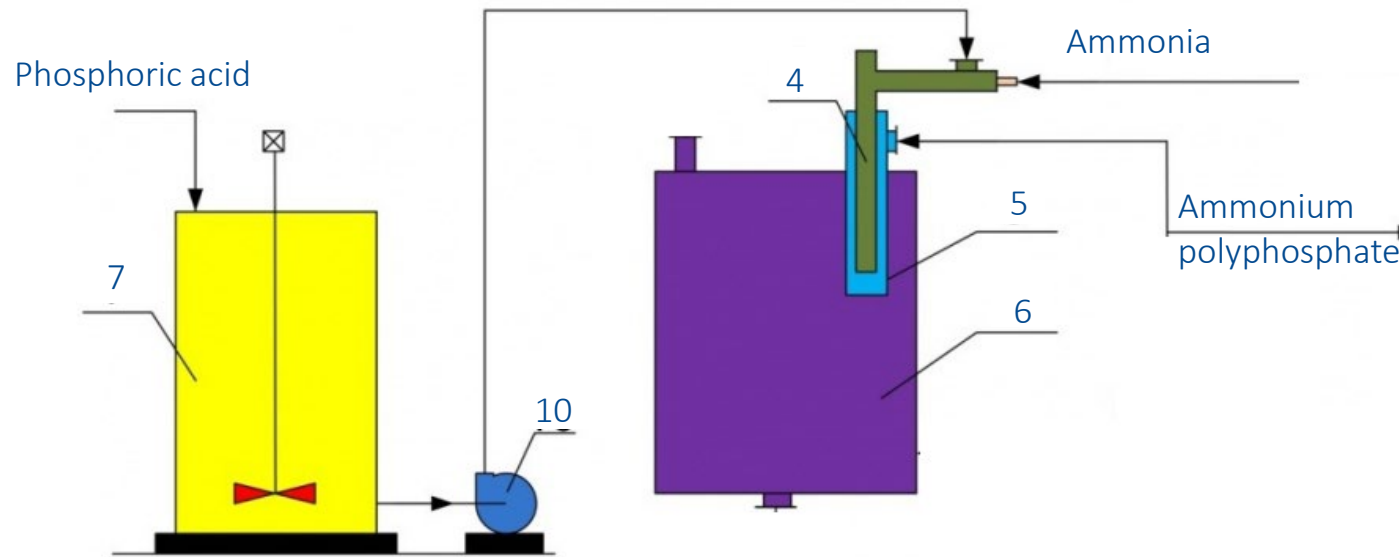
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$



Source: Research Institute for Fertilizers and Insectofungicides, photos obtained by scanning electron microscopy with X-ray fluorescence microanalysis of the surface of granule chips, HITACHI TM3030 microscope



Production of liquid complex fertilizers



Density, kg/l

1.47

Conversion rate, %

≥ 57

Application dose, l/ha

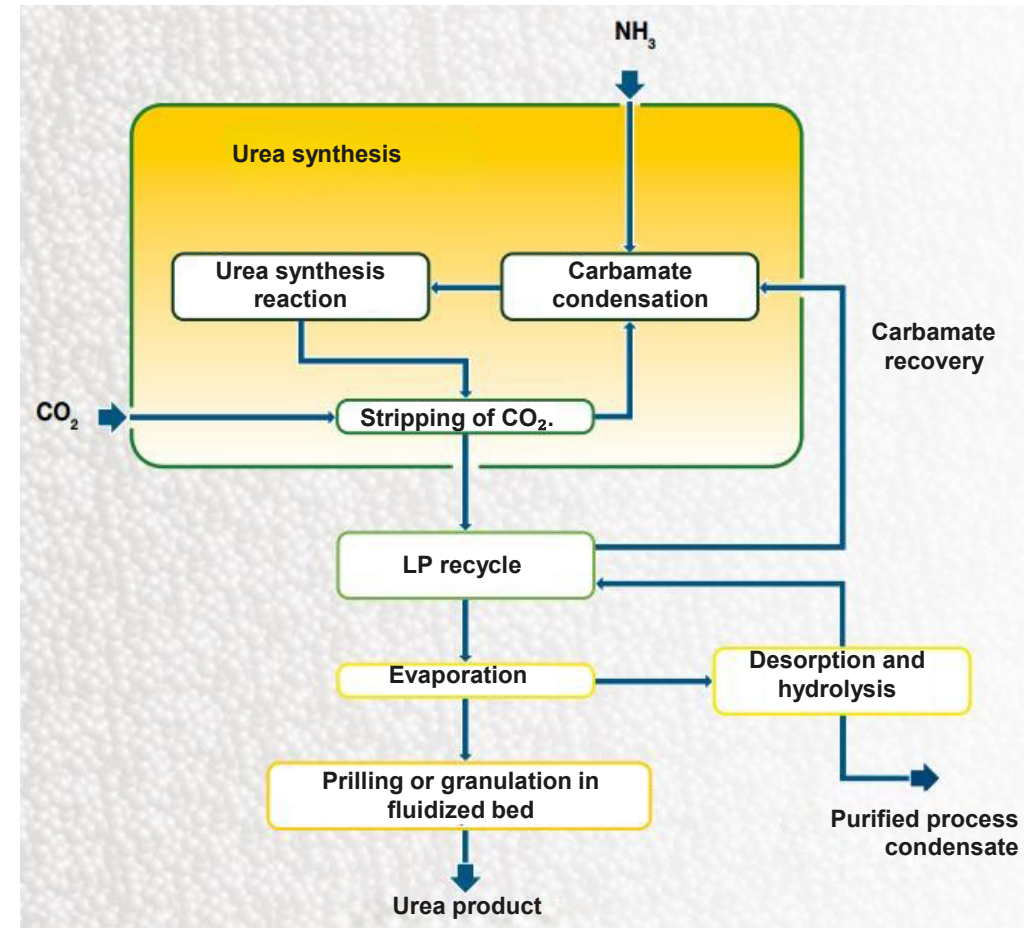
30–70



Obtaining urea melt

Urea is produced by the reaction of ammonia with CO_2 .

In this case, an intermediate product is first obtained – carbamate, which then decomposes into urea and water.

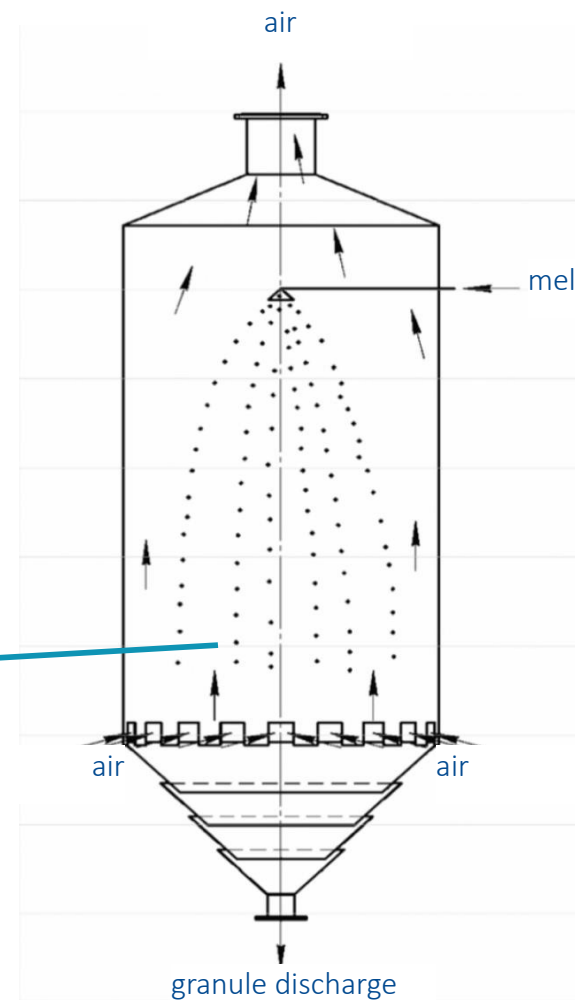


Source: Materials from ThyssenKrupp Industrial Solutions

Prilled urea

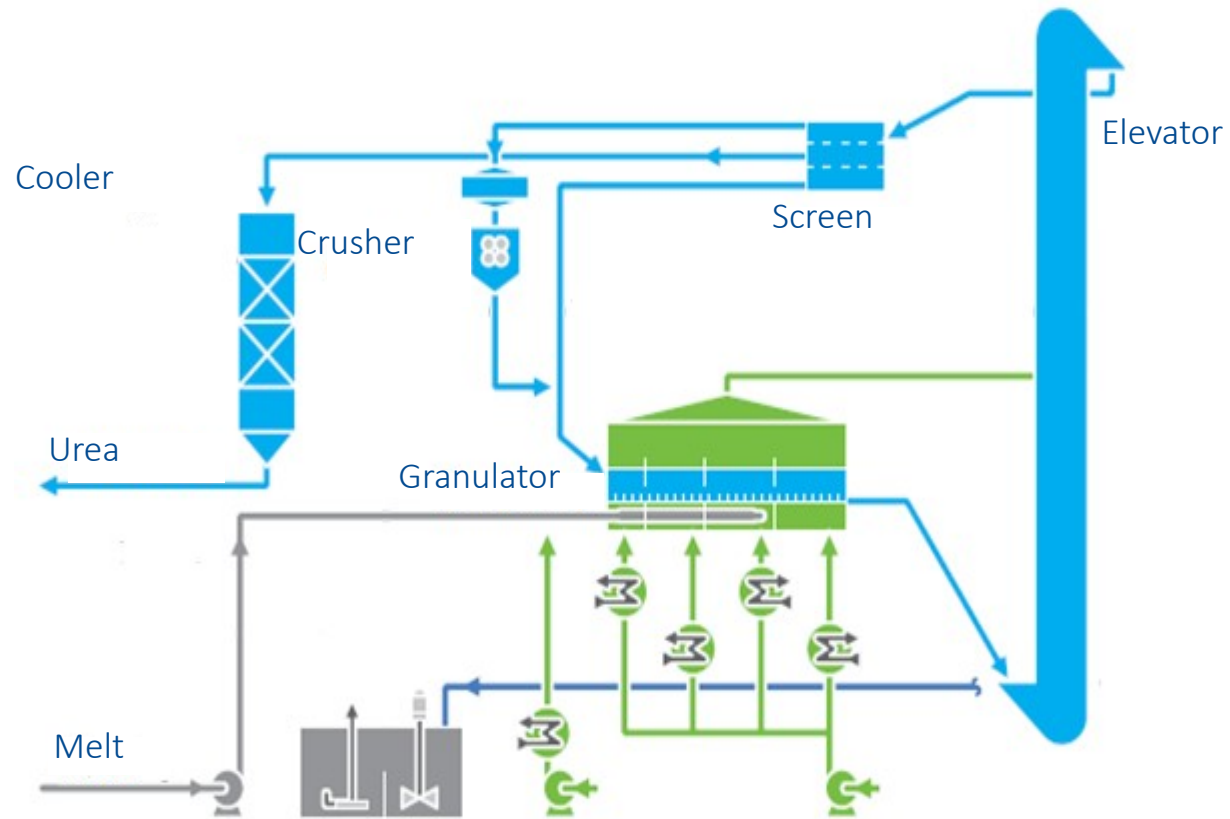


Prilled urea production unit,
Apatit JSC, Vologda region

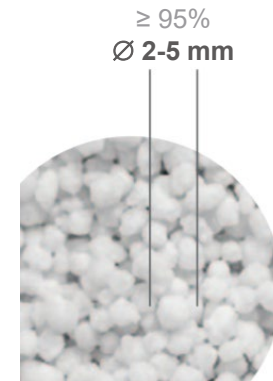




Granular urea









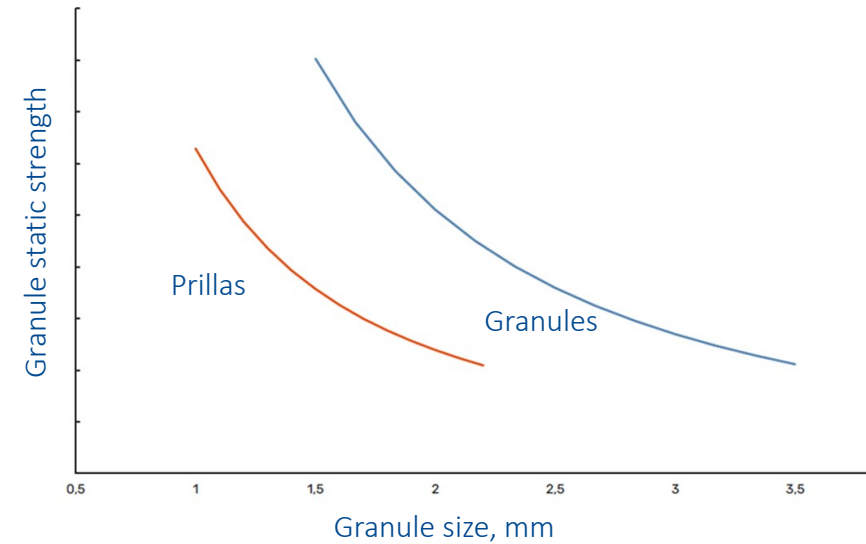
Parameters	
Total mass fraction of nitrogen in terms of dry matter, % - min.	46.0
Mass fraction of water by Fischer method, %, max.	0.5
Static strength of granules, kgf/granule, min.	2.5
Free-flowing, loose	
Free of harmful impurities	
Treated with anti-caking agent	





Comparison of granular and prilled urea

Prilled			Granular		
Stage 1	Liquid droplet formation		Stage 1	A solid base has been formed	
Stage 2	Prilla shell solidification		Stage 2	A melt liquid layer is sprayed onto a solid base	
Stage 3	Hardened prilla. A small cavity is formed in the center		Stage 3	Solid granule	



Van 'T Land, C. M. *Industrial Crystallization of Melts*. Boca Raton : CRC Press, 2004.

Types of packaging



Bulk product



Packing in big bags

Consumer characteristics of the products



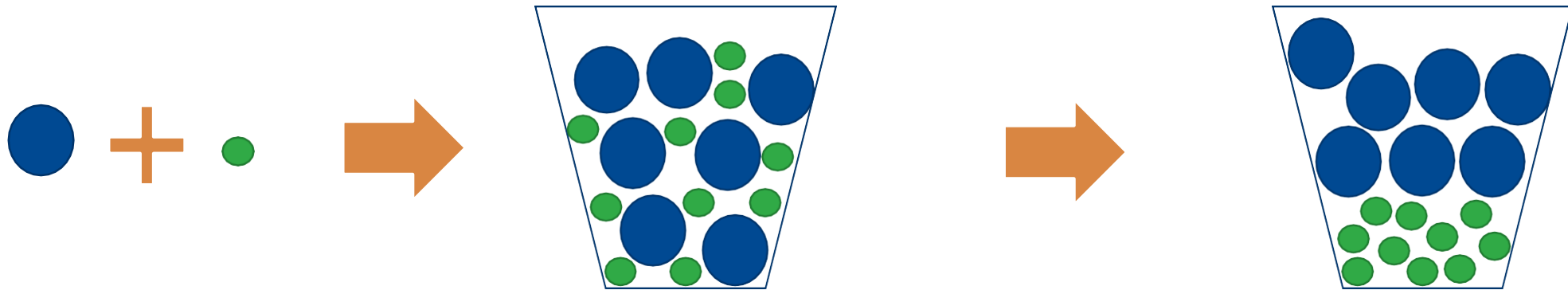


Consumer characteristics of the products

- Content of citrate-soluble components
- Content of water-soluble components
- Particle size distribution
- Granule strength
- Caking
- Moisture
- Content of harmful impurities



Granulometric composition – segregation of granules

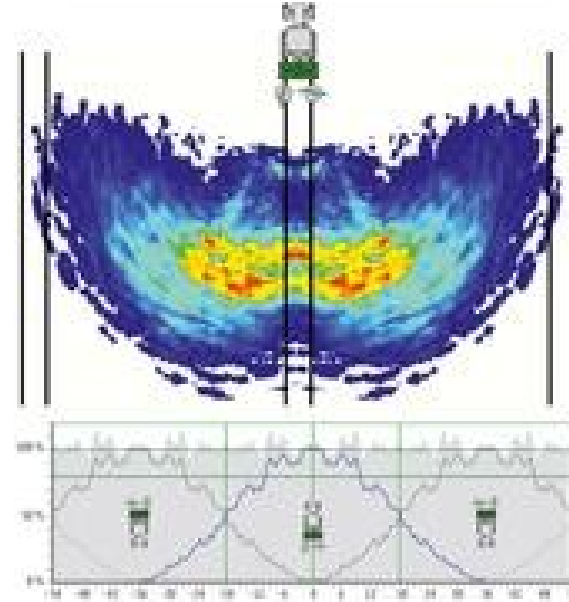


The size of the fertilizer granules is of great importance in the preparation of mixed fertilizers



Uniformity of granule distribution

Fertilizer distribution



Ballistic expertise for
fertilizers from
AMAZONE

Uniform particle size distribution => uniform fertilizer application

Source: AMAZONE materials



Granule strength Caking

Static strength is the compressive strength of granules.

Sources of reduced fertilizer quality:

- Absence/insufficiency of conditioning agent
- Transportation
- Transshipment
- Prolonged/incorrect storage
- Spreading disks



In case of improper storage, excessive moisture, granules of the dump surface layer lose up to 50% of their strength, become caked and lose color.



Harmful impurities

REGULATION (EU) 2019/1009 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL (5 June 2019).

Subject of regulation

mineral fertilizers with phosphorus content > 5% P₂O₅.

Harmful element	2022	2026
Cadmium (Cd), mg/1 kg P ₂ O ₅	< 60	< 40
Mercury (Hg), mg	< 1	
Arsenic (As), mg	< 40	
Lead (Pb), mg	< 120	
Nickel (Ni), mg	< 100	
Chromium (Cr VI), mg	< 2	

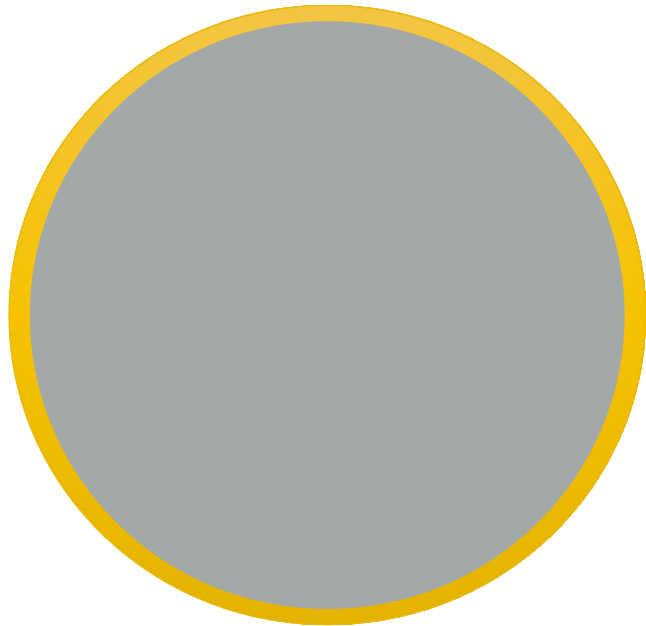
Country	Deposit	Company	P ₂ O ₅ content (%)	Cd content (ppm)
Senegal	Taiba	ICS	35.9	86.7
Togo	Kpeme	Societe Nouvelle des Phosphates	36.7	58.4
Tunisia		CPG	29.9	39.5
Israel	Zin	Israel Chemicals	31.1 - 32.8	24.2 - 30.8
Peru	Sechura	Fosfatos del Pacifico	30.2	25.0
Algeria	Djebel Onk	Ferphos	28.8	22.5
Morocco		OCP Group	31.2 - 32.7	15.1 - 37.5
United States	Central Florida	Mosaic	29.8 - 32.1	6.1 - 38.2
Jordan	El-Hasa	Jordan Phosphate Mines	30.5 - 31.9	5.4 - 6.0
Egypt	Abu Tartur	Misr Phosphate	22.2 - 29.9	5.7
Australia	Duchess	Incitec Pivot	31.2	4.2
Venezuela	Recieto	Pequiven (PDVSA)	27.9	4.0
Burkina Faso	Kodjari	Not developed	29.2	2.5
Tanzania	Minjingu	Minjingu Mines & Fertilizer Co	28.6	1.0
Zimbabwe	Dorowa	ZimPhos	33.1	1.0
Sweden	Kiruna	Luossavaara-Kiirunavaara AB	35.3	0
Uganda	Sukulu Hills	Government of Uganda	38.6	1
Russia	Khibiny	PhosAgro	39.2	1.2
Russia	Kovdorskoye	Eurochem (Kovdorskiy Mining and Processing Plant)	38.0	0.8
Kazakhstan	Karatau	Kazphosphate	24.5	0.61-2.17
Burundi	Matongo	Burundi Mining	40.4	< 2
Finland	Siilinjarvi	Yara	39.5	< 2
South Africa	Phalaborwa	Foskor	38.6	1.3
China	Kaiyang	several	35.9	< 2
Sri Lanka	Eppawala	Lanka Phosphate	36.4	2.17
Brazil	Araxa	Mosaic	37.0	2.50

Types of innovative fertilizers





Granular fertilizers with shells



Physical barriers to dissolution:

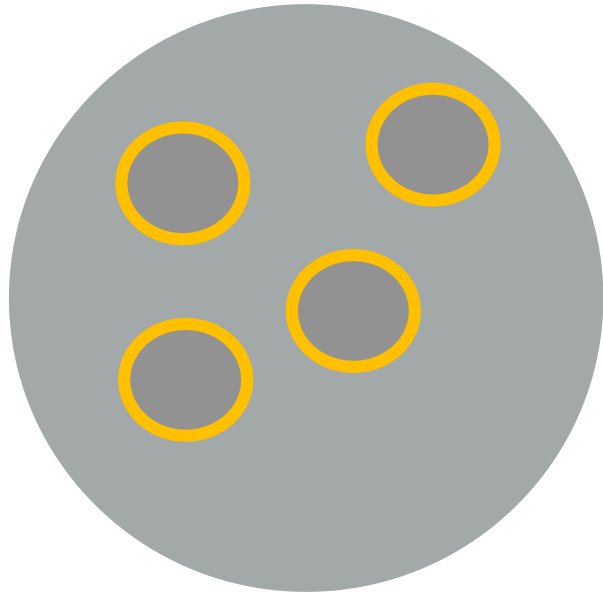
- Polymer films
 - Controlled release of elements.

Permeable and water-soluble films:

- Preservation of P-containing component;
- Preservation of N-containing component;
- Humic, fulvic acids;
- Introduction of beneficial microorganisms;
- Introduction of additional microelements.



Fertilizers with components in shells

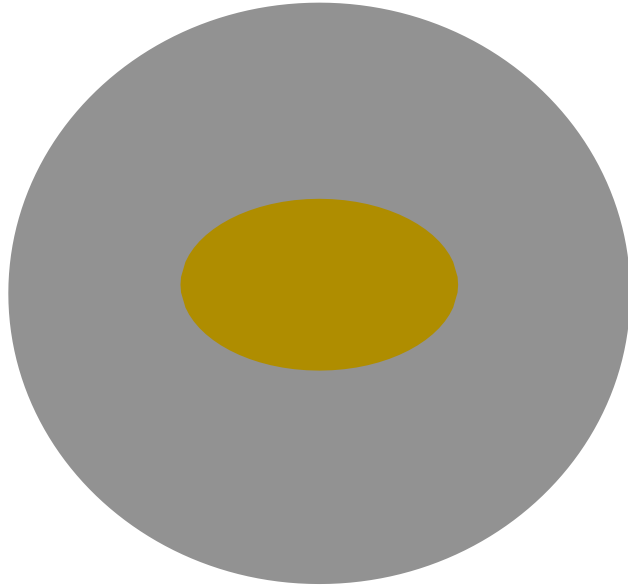


Individual components of granules in a semipermeable shell:

- Microelements
- Microbial additives.



Seeds with nutritional components



Introducing a set of desired nutrients into granules:

seed + agrochemical



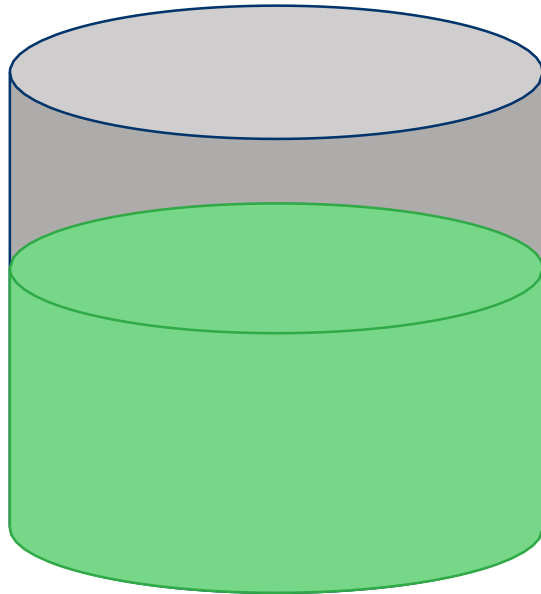
Penetrating additives for granular fertilizers



Types of additives:

- Urease inhibitors;
- Nitrification inhibitors

Liquid fertilizers



Types of fertilizers:

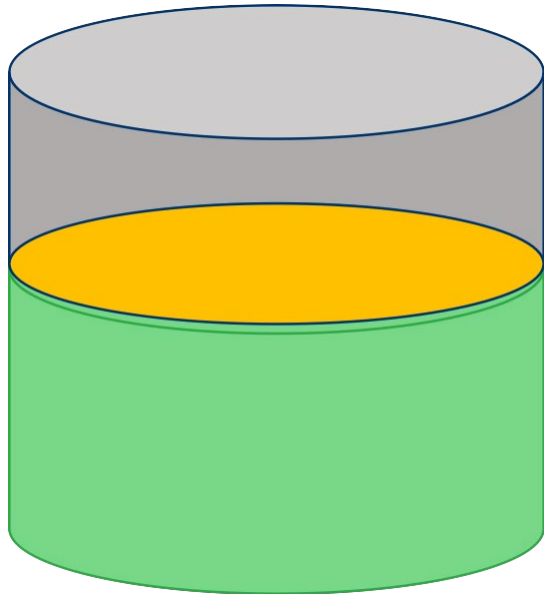
- Polymeric form of compounds;
- Compositions of water-soluble salts.

Examples:

- Ammonium polyphosphates;
- NPK fertilizers of different ratios;
- Microelement correctors.



Innovative additives for liquid fertilizers



Types of additives:

- Amino acids;
- Fulvic acids;
- Humic acids;
- With polymer compositions;
- With fungi, microorganisms;
- Urease/nitrification inhibitors.

Properties:

- Biostimulation;
- Anti-stress;
- Pesticides (biopesticides);
- Adhesive;
- Accelerating maturation;
- Introduction of microelements into the pores of the plant;
- Protective films on leaves (insecticidal properties);
- Reduced moisture evaporation;
- Improving the nutrient uptake efficiency;
- Managing plant nutrition;
- Creating an ecosystem with given properties.



Useful links



Information on the properties and characteristics of PhosAgro products



Fertilizer production technologies (Research Institute for Fertilizers and Insectofungicides named after Prof. Ya. V. Samoilov).



Publications on types of fertilizers, yield management, formation of ecological nutrition system (International Association of Fertilizer Producers).



Leaflets on the use and properties of fertilizers (International Plant Nutrition Institute).



InfoAG conference materials - the largest organizers of agricultural trade shows in the United States.



Elemental Nutrient Tolerance Calculator (International Plant Nutrition Institute).



Alina Grankina
abaykova@phosagro.ru



Thank you for your attention!