



ВНИИХТ
РОСАТОМ



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ

Современное состояние мировой и российской урановой промышленности

V МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ «УРАН: ГЕОЛОГИЯ, РЕСУРСЫ, ПРОИЗВОДСТВО»

Тарханов Алексей Владимирович
Главный научный сотрудник

Производство урана



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Мировое производство урана снизилось в 2020 г. на 25 % до 47,5 тыс. т

Глобальные причины: Падение цен на уран на фоне роста себестоимости производства
Снижение спроса на электроэнергию в условиях экономического кризиса и пандемии

Основные производители, снизившие производство	Производство, тыс. т U			Приостановлена добыча на месторождениях	Локальные причины	Возможности МСБ урана для годового производства, тыс. т U
	2016	2018	2020			
Казахстан	24,7	21,7	19,5	Постановление правительства о снижении производства на 20 % в год		2020 – 25 2030 – 12 2040 – 5
Канада	14,0	7,0	4,0	Сигар Лейк Рэббит Лейк Ки Лейк Мак Артур	Низкие цены на уран Пандемия	20
Намибия	3,6	5,5	3,4	Лангер Хейнрих	Низкие цены Пандемия Нехватка воды	10
Нигер	3,5	2,9	2,5	Азелик	Низкие цены Пандемия Терроризм	10
Украина	0,8	0,7	0,6	Ватутинское Мичуринское	Забастовки Исчерпание запасов	3
США	1,0	0,8	0,07	5 м-ний СПВ	Уход иностранных компаний из-за низких цен на уран	5
Всего	63,0	53,5	47,5	12 м-ний		Более 100

Падение производства не определяет состояния МСБ урана.

В благоприятных экономических условиях производство урана может ВОССТАНОВИТЬСЯ



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Возобновление работ на 12 месторождениях Канады, Австралии, Намибии, Нигера, Малави, США +27,4 тыс. т

47,5+27,4=74,9 тыс. т

Месторождения урана, подготовленные к эксплуатации (44 месторождения)

Страна	Количество месторождений	Годовая производительность, тыс. т U	Страна	Количество месторождений	Годовая производительность, тыс. т U
Австралия	4	7478	Перу	1	1000
Ботсвана	1	1440	Намибия	2	4770
Бразилия	1	1000	Нигер	3	6800
Канада	7	10450	Россия	8	7500
Индия	2	260	Испания	1	1690
Мавритания	1	315	Украина	2	1700
Монголия	3	500	Замбия	2	1570
Парагвай	1	350	США	3	1000

Могут дать более 100 тыс. т

Неизбежность подорожания производства урана



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Удельные затраты на поиски и разведку

	2000-2005	2009-2017
Прирост запасов, тыс. т U	786	1683
Затраты на ГРР, млн USD	765	13284
Удельные затраты на 1 кг прироста запасов, USD	0,97	7,9

Удельные затраты увеличились в 8 раз.

Россия, Китай, Индия будут вынуждены разрабатывать нерентабельные месторождения.

Цена урана – 10 % от стоимости электроэнергии.

Распределение запасов по ценовым категориям, USD

Ценовая категория, \$/кгU	Распределение запасов, %	Страна
Менее 40	13,4	Узбекистан, Казахстан, Канада, Австралия
40-80	11,5	
80-130	51,3	Намибия, Нигер, Австралия, Россия, Украина, США, Индия, Китай
130-260	23,8	Россия, Китай, Индия

Обеспеченность ЯЭ важнее цены

Потребности в уране



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

На 01.01.2019 в мире работало 450 реакторов установленной мощности 396,3 ГВт. Потребность в уране – 59,2 тыс. т. 29 реакторов работало на MOX-топливе, 55 реакторов строилось.

Страна	Кол-во реакторов	Мощность, ГВт	Потребность, т U	КИУМ
США	98	99	19300	195
Франция	58	63	7370	117
Китай	46	43	6865	160
Россия	36	29	5000	172

Прогноз потребностей в уране в 2040 г.

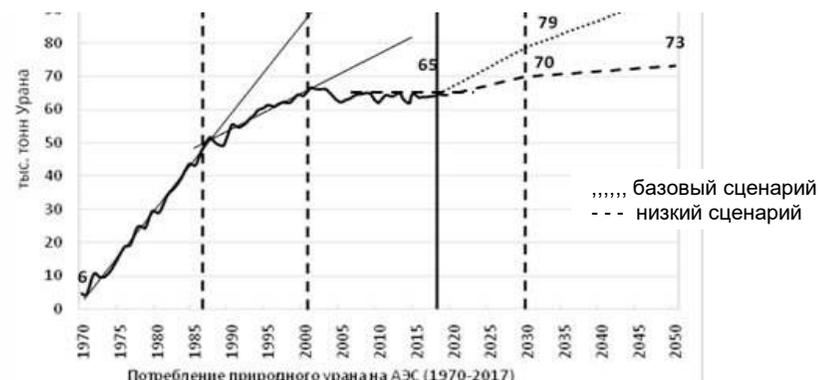
Автор	Низкий	Базовый	Высокий
WNA	57	91	100
Нигматулин	71	79	88

Всемирная ядерная ассоциация (WNA) прогнозирует
К 2030 г. мощность АЭС – 420-440 ГВт.
Потребность в уране: 2025 г. – 75000 т;
2030 г. – 85000 т.

Потребность в уране трудно предсказуема из-за:

1. Колебания спроса на электроэнергию;
2. Неопределенность сроков внедрения замкнутого цикла;
3. Конкуренция с другими источниками энергии;
4. Отношение общественности к ЯЭ.

Прогноз Б.И. Нигматулина по двум вариантам (низкий и базовый)



Год	Потребность U, тыс. т		Мощность реакторов, ГВт	
	базовый	низкий	базовый	низкий
2030	79	70	490	440
2050	95	73	600	450

Цены на природный уран, USD/кг



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ

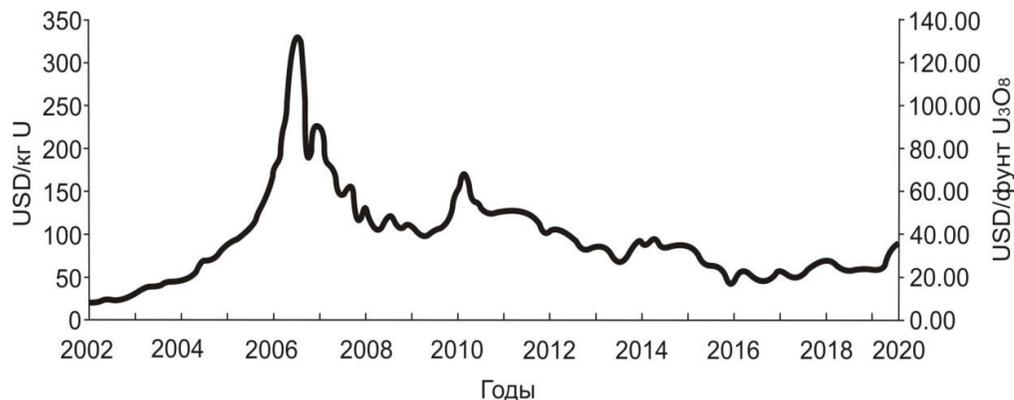


ВНИИХТ
РОСАТОМ

Год	Среднегодовые		Экспортные				Импортные
	Долго-срочные	Спотовые	США		ЕС		Австралия
			Долгосрочн.	Спотовые	Долгосрочн.	Спотовые	Долгосрочн.
2012	133	126	144,7	132,7	115,7	125,7	-
2013	112	104	140,4	114,0	113,2	103,9	99,2
2014	124	99	129,3	93,5	104,0	99,2	86,3
2015	98	98	119,4	95,4	104,5	98,5	94,8
2016	96	98	119,6	76,8	95,9	98,0	66,7
2017	91	62	108,1	58,1	91,0	62,3	56,3
2018	88	52	106,6	71,5	87,1	52,4	63,9
2019	90	62					

С января по март 2021 г. спотовые цены не превышали 78 USD/кгU

Динамика мировых спотовых цен



	Долгосрочные	Спотовые
До 2018 г.	90 %	10 %
2021 г.	40	60

2020 г. на рынок поставлено 19,3 тыс. т U
28 % от спроса на U

Мировая сенсация

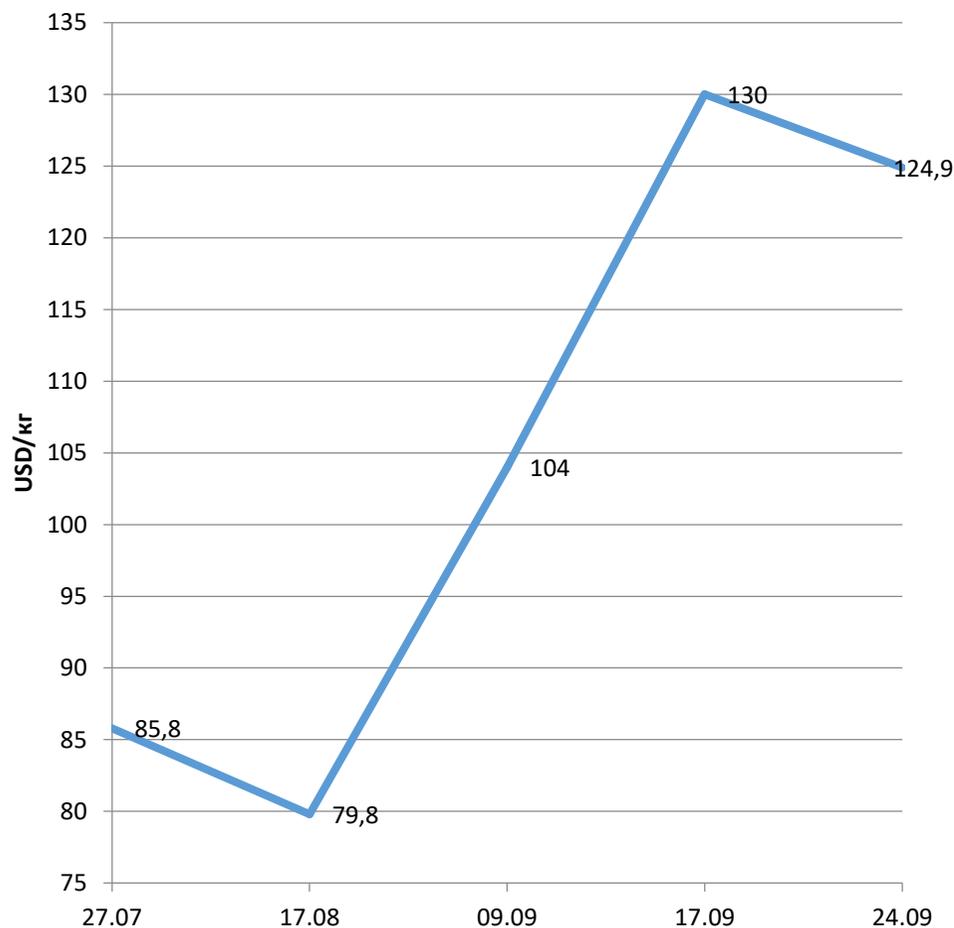


ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Цены на уран за сентябрь повысились на 64 %.



В сентябре 2021 г. дефицит урана достиг 13,9 тыс. т (производство – 53,4 тыс. т, потребность – 67,3 тыс. т). Цена урана на канадской бирже в Торонто с середины августа до 6 сентября выросла с 87,75 до 101,4 USD/кгU, а с 6 по 22 сентября – до 131,3 USD/кг.

Росту цен на уран способствовало создание инвестиционного фонда «Sprott Physical Uranium Trust» (SPUT). Инвестиции фонда составили 1 млрд. USD.

На фоне высоких спотовых цен основные производители урана смогут заключить долгосрочные договора по комфортным для них ценам порядка 125-130 USD/кгU.

Соотношение потребностей, производства (тыс. т) и цены на уран (USD/кг)



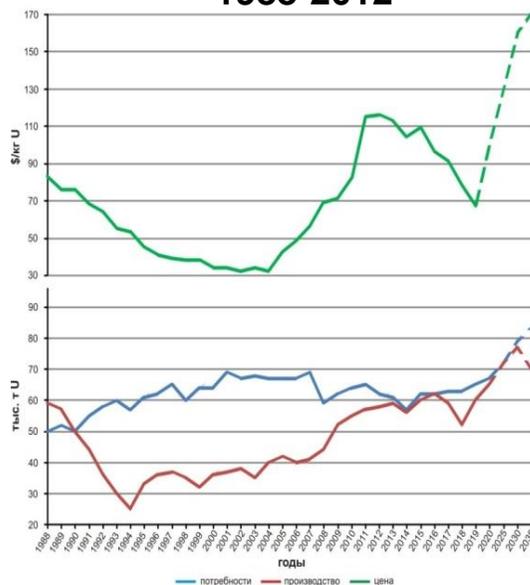
ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Показатели	2012-2020									2025-2040 (прогноз)			
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2040
Потребности	60	59,3	55	57	60	60	59,2	65	68	67,4	79,7	90,8	100,3
Производство	58,3	59,3	55,9	60,1	63	60	53,5	54	47,5	81,6	80,3	83,5	73,2
Дефицит	-17	0	0,9	3,1	3	0	-5,7	-11	-20,5	14,2	0,6	-7,3	-27,1
Цена	116	118	109	105	96	91	87	80	77	?	?	?	?

1988-2012



1988-1994

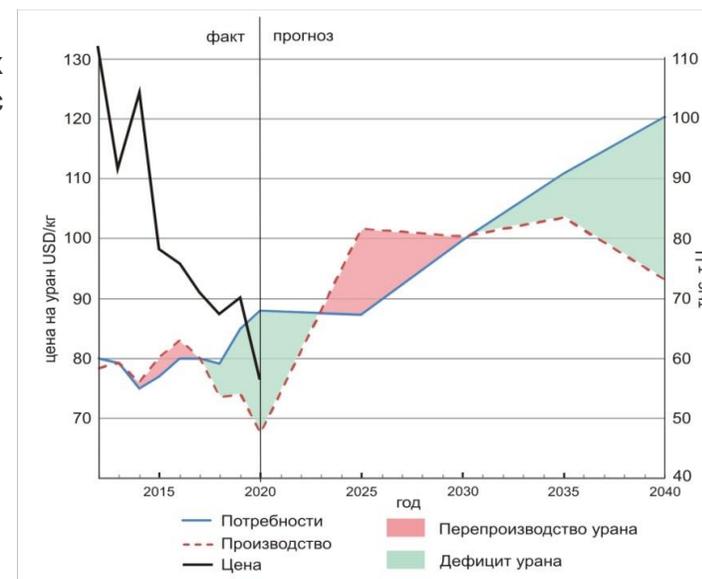
Перепроизводство урана для военных целей. Началось снижение производства с 60 до 27. Рост потребностей с 50 до 60. Цена снизилась с 78 до 50.

1994-2004

Дефицит достиг 30. Цена минимум 30, складские запасы закончились и начался рост цен.

2004-2012

Производство и потребности сравнялись и цена снизилась до 77 USD/кг.



Вторичные мировые ресурсы урана



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Дефицит природного урана (превышение потребностей на производстве) с 1991 по 2007 гг. в отдельные годы превышал 30 тыс. т.

Дефицит компенсировался из вторичных источников.

В мире всего добыто 2700 тыс. т.

На ЯЭ потрачено 2150 тыс. т.

На складах оставалось 550 тыс. т (природный, НОУ и оружейный уран).

На компенсацию дефицита истрачено 500 тыс. т.

Дополнительно уран получали при переработке (RepU) ОЯТ и из обогащения ОГФУ.

RepU – уран и плутоний из ОЯТ используются при фабрикации ядерного топлива (2-3 тыс. т в год) в реакторах МОХ. В будущем могут заменить до 10 % от общих потребностей.

ОГФУ – дает до 4 тыс. т в год.

Складские запасы урана в США, ЕС и Китае, тыс. т

Страна	Запасы U	Затраты на компенсацию дефицита, тU в год	Обеспеченность, лет
ЕС	49,9	2,2	20
США	50,2	1,6	27
Китай	139,0	Обеспеченность до середины XXI века	

Риск необеспеченности ЯЭ снижается при диверсификации источников получения урана по долгосрочным контрактам.

ЕС – из 10 стран в 2014-2018 гг. получил 70,5 тыс. т, из России – 13,5 тыс. т. Всего с 2009 по 2018 гг. из России получено 34,7 тыс. т.

США – из 6 стран в 2017 г. получено 10,1 тыс. т (из России 1838 т).

Преимущества АЭС перед другими электростанциями



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

На экологических форумах последних двух лет принято решение довести выбросы CO₂ до нуля.

При решении этой задачи у АЭС нет альтернативы.

Лидеры ядерной энергетики (США, ЕС, Китай) включили финансирование развития ЯЭ в общие экологические программы.

Сравнительные показатели	АЭС	Электростанции на органическом топливе			Электростанции с возобновляемыми источниками энергии		
	U, Th	Уголь	Нефть	Газ	ГЭС	ВЭС	СЭС
Стоимость электроэнергии	2,2	2,8	2,3	2,3	1,0	4,9	10
Продолжительность надежного снижения, лет	55	270	45	60	не ограничено	не ограничено	не ограничено
Занимаемая площадь, км ² /1ГВт	0,63	2,4	0,87	1,9	270	170	100
Выброс CO ₂ при производстве 1 кВт/час	0	1290	940	1234	410	75	279
Годовые выбросы на 1000 МВт	0,01	140	98	-	0	0	0
Годовой выброс SO ₂ , т	0	165000	13000	13000	0	0	0
Годовой выброс оксидов азота	0	21	22	0,01	0	0	0

1 кг урана, обогащенного до 4 %, выделяет энергию эквивалентную 100 т угля и 60 т нефти.

Производство природного урана в России



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Производство урана в 2014-2019 гг.

Организация	Способ добычи	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ПАО «ППГХО»	Горный КВ	1970	1977	1883	1631	1456	1300	1240
АО «Далур»	СПВ	578	590	592	592	590	600	
АО «Хиагда»	СПВ	443	488	540	694	858	1000	
Всего		2981	3055	3005	2917	2904	2900	2840

В 2018 г. с СП КАП поступило 4386 т U.
Всего в России в 2018 г. – 7290 т U.

Прогноз производства урана в Казахстане

	2020	2025	2030	2035	2040
Казахстан	26	25	22	12	5
СП с Россией	5,2	5	4,4	2,4	1,0

СП КАП с Россией дает 20 % от общего производства.

При текущих ассигнованиях новые крупные месторождения урана до 2040 г. выявить, разведать и освоить маловероятно.

Прогноз производства урана в 2035-2040 гг.

Предприятие	Годовое производство, т U
ПАО «ППГХО»	2000
АО «Далур»	500
АО «Хиагда»	1000
ЗАО «Оловский ГОК»	700
ЗАО «Горное»	800
АО «Эльконский ГМК»	6000
Малые мест-ния (Возможно частные организации)	2000
Всего	13000
СП КАП	2000
Итого	15000

Вторичные ресурсы урана России



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

По методике МАГАТЭ можно приблизительно оценить складские запасы России.

К 2019 г. поступило из разных источников 650 тыс. т урана (380 тыс. т из стран В. Европы).

На ЯЭ истрачено около 300 тыс. т. Из оставшихся 350 тыс. т по Программам НОУ-ВОУ потрачено 150 тыс. т в эквиваленте природного урана и 100 тыс. т на компенсацию дефицита. Всего на складе осталось 100 тыс. т, в том числе оружейный уран.

Из заявлений руководства Минатома (А.Ю. Румянцев, В.Ф. Коновалов, Е.О. Адамов) и программ развития ЯЭ (Стратегия развития, План совместных действий, Уран России) следует, что складские запасы природного урана и НОУ будут исчерпаны к 2020 г.

По данным МАГАТЭ из ОЯТ в России извлекается 1,3 тыс. т, а из ОГФУ – до 4 тыс. т. В настоящее время из ОГФУ извлекается порядка 2 тыс. т, а всего 3-4 тыс. т.

Заявление руководства ГК «Росатом» («Страна Росатом» № 8, март 2018): «Добытого урана хватит на тысячи лет» основано, по-видимому, на переоценке сроков внедрения реакторов на быстрых нейтронах.

Главный технолог проектного офиса «Новая платформа» В. Тролинов считает, что если начнем сегодня, то реальное внедрение реакторов на быстрых нейтронах на головных блоках состоится только в середине века.

Потребности в уране ядерной энергетики России



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Трудности прогнозирования потребностей ЯЭ связаны с неопределенностью электропотребления, конкурентоспособностью с другими источниками энергии и ограничениями избыточных мощностей реакторов, удорожающих тарифы на электроэнергию.

В начале 2019 г. в России работало 36 реакторов, установленной мощностью 29,1 ГВт и потребностью в уране 5000 т. Строилось 6 реакторов.

В России отмечается избыток мощностей на всех видах электростанций, в том числе на АЭС, - 48 ГВт. Новая инвестпрограмма предусматривает рост цены на избыточную мощность до 1 млн руб. на 1 МВт в месяц. Ввод двух блоков на Курской АЭС в 2027 г. приведет к росту тарифов на 4 %.

Главной задачей является не ввод новых мощностей, а модернизация действующих. В 2018 г. на АЭС концерна «Росэнергоатом» работало 35 блоков: 20 блоков с реакторами ВВЭР, 13 канальных реакторов РБМК и 2 блока на быстрых нейтронах. Планируется снять с эксплуатации канальные реакторы и заменить их реакторами нового поколения ВВЭРIII+. Когда это произойдет, точно неизвестно. Предполагают, что потребности в уране в 2035-2040 гг. возрастут до 6-7 тыс. т в год.

Соотношение потребностей и производства урана, тыс. т



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Общие потребности России, тыс. т U

	2018-2021	2035-2040
АЭС России	5,0	6,7
АЭС стран с российскими (советскими) реакторами (Украина, Армения, Болгария, Венгрия, Румыния, Словакия, Чехия, Финляндия, Иран)	5,1	5-12
Всего	10,1	11-19
Строящиеся АЭС в Иране, Белоруссии, Турции, Бангладеш, Китае, Индии общей мощностью 17,2ГВт	3,3	3,3
Экспорт в США, ЕС и другие страны	6,0	2-4
Всего	19,4	24,3-26,3
Строительство АЭС за рубежом по «Стратегии-2018»		20,0

Соотношение потребностей и производства, тыс. т U

Показатели	2018-2021	2035-2040
Потребности АЭС России и стран с российскими (советскими) реакторами	10	
Производство	7	
Дефицит	3	
Потребности с учетом экспорта	19,3	26,6-24,6
- на АЭС за рубежом	3,3	3,3
- в США, ЕС и другие страны	6,0	2-4
Дефицит	12,3	11,6-9,6

Без освоения резервных месторождений преодолеть дефицит урана не представляется возможным.

Новая концепция освоения месторождений Эльконского урановорудного района

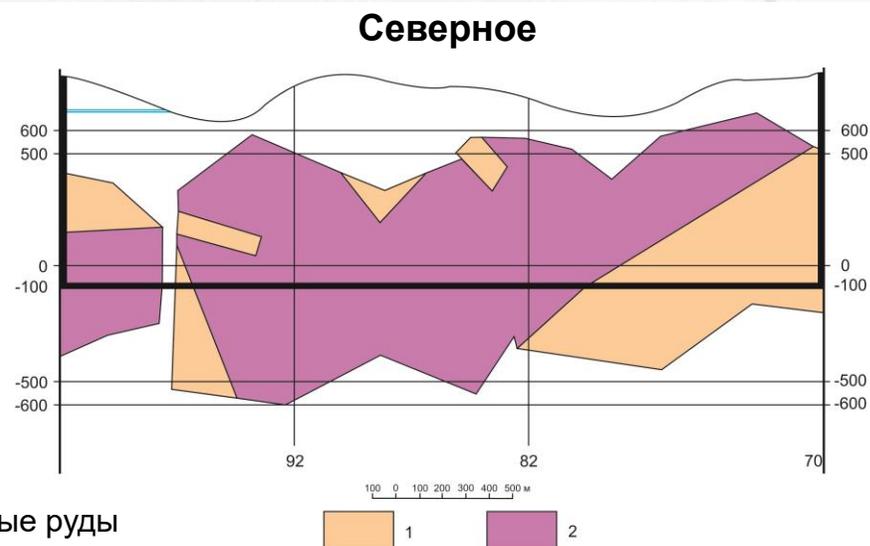
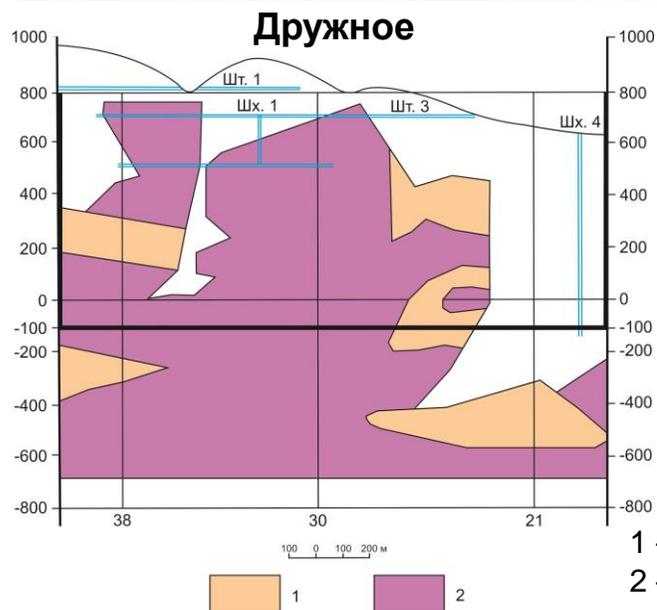
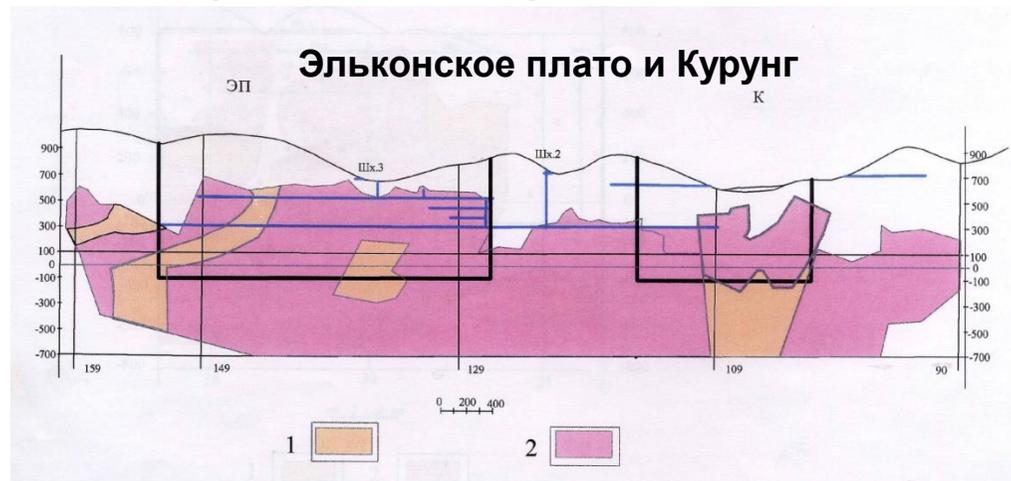
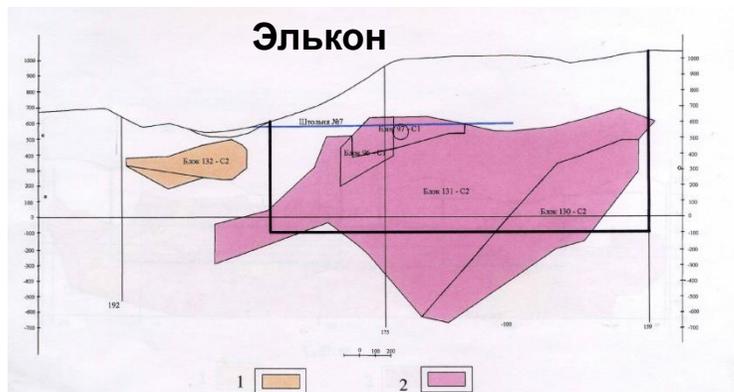


ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Выбор участков, благоприятных для первоначальной отработки



1 – рядовые руды
2 – относительно богатые руды

Участки, благоприятные для первоначального освоения



ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Запасы и среднее содержание урана участков, благоприятных для первоначального освоения

Участки	Запасы урана, тыс. т	Среднее содержание урана, %	Планируемая годовая производительность, т
Элькон	19,8	0,196	1000
Эльконское плато	17,7	0,174	900
Курунг	14,0	0,186	700
Дружное	15,9	0,172	800
Всего по зоне Южной	67,4	0,182	3400
Центральный участок зоны Северной	24	0,18	1000
Всего	91,4	0,182	5400

Запасы и среднее содержание урана в рудах Надеждинского рудного поля

Месторождение	Руда, тыс. т	Уран, т	Среднее содержание урана, %
Надеждинское	2873	5639	0,196
Интересное	944	4476	0,474
Зона 510	2221	3620	0,163
Зона 511-565	461	1273	0,276
Зона 517	350	808	0,231
Зона 566	977	1856	0,190
Всего	7826	17671	0,226

Все участки с относительно богатыми рудами (ОБР) расположены выше отметки - 100 м.

Содержание U в ОБР на 20 % выше, чем в рудах всей Южной зоны.

Запасов достаточно для работы рудников в течение 18 лет с производительностью 5 тыс. т урана в год.

Содержание урана в 1,5 раза выше, чем в рудах Южной зоны. 70 % запасов расположено выше штольневых горизонтов.

На месторождениях НРП можно добывать 600 т урана в год.

Годовая производительность рудников, обрабатывающих ОБР, - 6000 т в год.

Рекомендации по отработке приповерхностных окисленных золото-урансодержащих руд на примере месторождения Северное

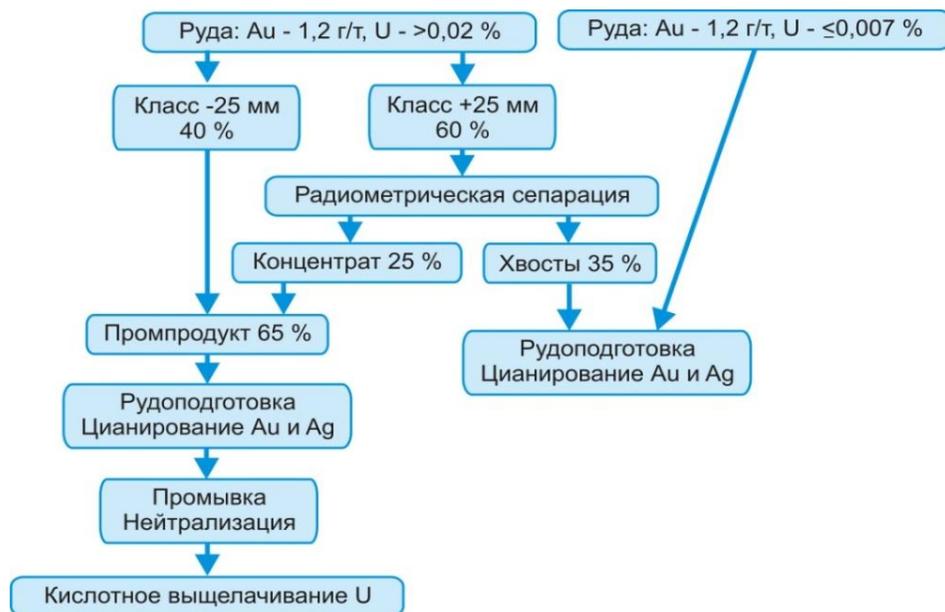


ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Схема обогащения и переработки окисленных руд месторождения Северное



Технология включает радиометрическую сортировку урансодержащих руд и раздельное КВ золотых руд с ураном и без урана.

Извлечение золота – 80-85 %, урана – 75 %.

По расчетам АО «ВНИПИпромтехнологии» рентабельность при совместном извлечении золота и урана – 18,8 %.

Стоимость золота в общей продукции – 30 %.

АО «ВНИИХТ» принимал участие в разведке окисленных приповерхностных руд.

2006 – совместно с «Алдангеологией».

2010-2014 – совместно с АО «Русбурмаш».

В результате было открыто месторождение золота с ресурсами по категориям Р1 и Р2 – 19 т Au, со средним содержанием 1,1 г/т. В контуре золотых руд выделяются участки с содержанием 0,01-0,05 % урана.

В АО «ВНИИХТ» в лабораторных условиях разработана технология переработки окисленных руд.

Общие ресурсы золота в окисленных рудах Эльконского района – более 200 т.

Инновационная технология переработки первичных золото-урановых руд



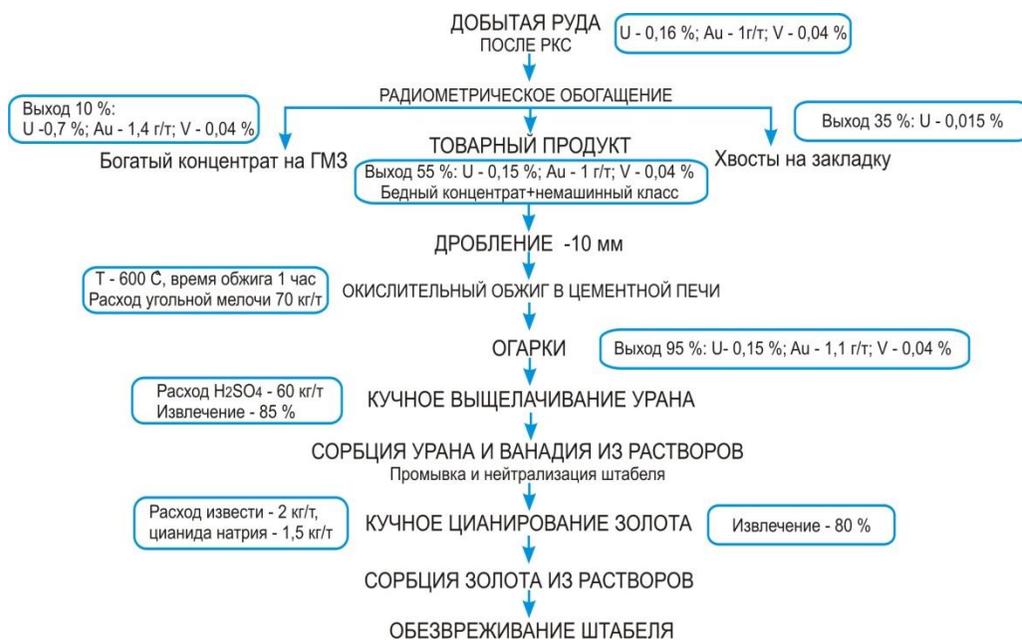
ВНИПИ
ПРОМТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ВНИИХТ
РОСАТОМ

Разработанная в АО «ВНИИХТ» базовая технология (1964-1980) характеризуется высокой себестоимостью переработки упорных браннеритовых руд. Себестоимость можно значительно снизить с применением новой технологии: глубокого радиометрического обогащения, окислительного обжига и кучного выщелачивания огарков.

Технологическая схема новой технологии с окислительным обжигом руды и КВ товарного продукта



Себестоимость производства снижается на 30 %, а капитальные затраты – на 50 %.

Технология разработана в лабораторных условиях на пробах с рудных отвалов Эльконского плато и Курунг.

В США окислительному обжигу во вращающихся печах подвергаются десятки миллионов тонн малосульфидных золотых руд с содержанием Au 1-2 г/т. Из огарков Au извлекается способом КВ.

В АО «ВНИИХТ» после обжига на воздухе в течение 1 часа при $t=600^{\circ}\text{C}$ способом КВ из огарков извлекается 85 % урана и 80 % золота. Расход H_2SO_4 – 60 кг/т, цианида Na – 1,5 кг/т.

В результате трехстадийной радиометрической сепарации получается богатый концентрат (U – 0,7 %, Au – 1,4 г/т), в который переходит 40 % всего урана (отправляется на ПАО «ППГХО»). Товарный продукт (U – 0,15 %) подвергается окислительному обжигу, огарки направляют на кислотное КВ урана, а после нейтрализации и подщелачивания – на цианирование Au и Ag.

Спасибо за внимание

Тарханов Алексей Владимирович
Главный научный сотрудник АО «ВНИИХТ»

Бугриева Елена Павловна
Ведущий научный сотрудник АО «ВНИПИпромтехнологии»

23.11.2021