



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Ресурсы урана будущего. Грозит ли ядерной энергетике сырьевой кризис?

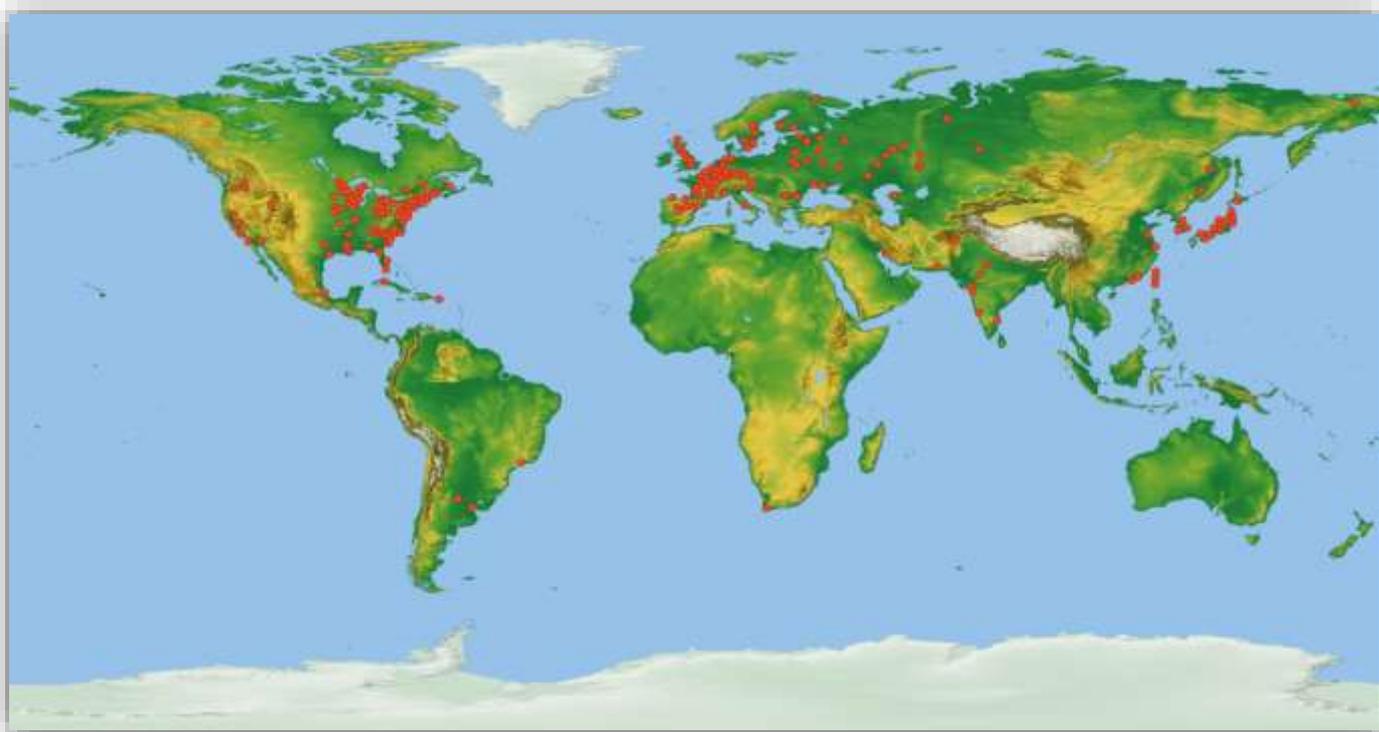
Рихванов Леонид Петрович
д.г.м.н, профессор

г. Томск, Россия
2017

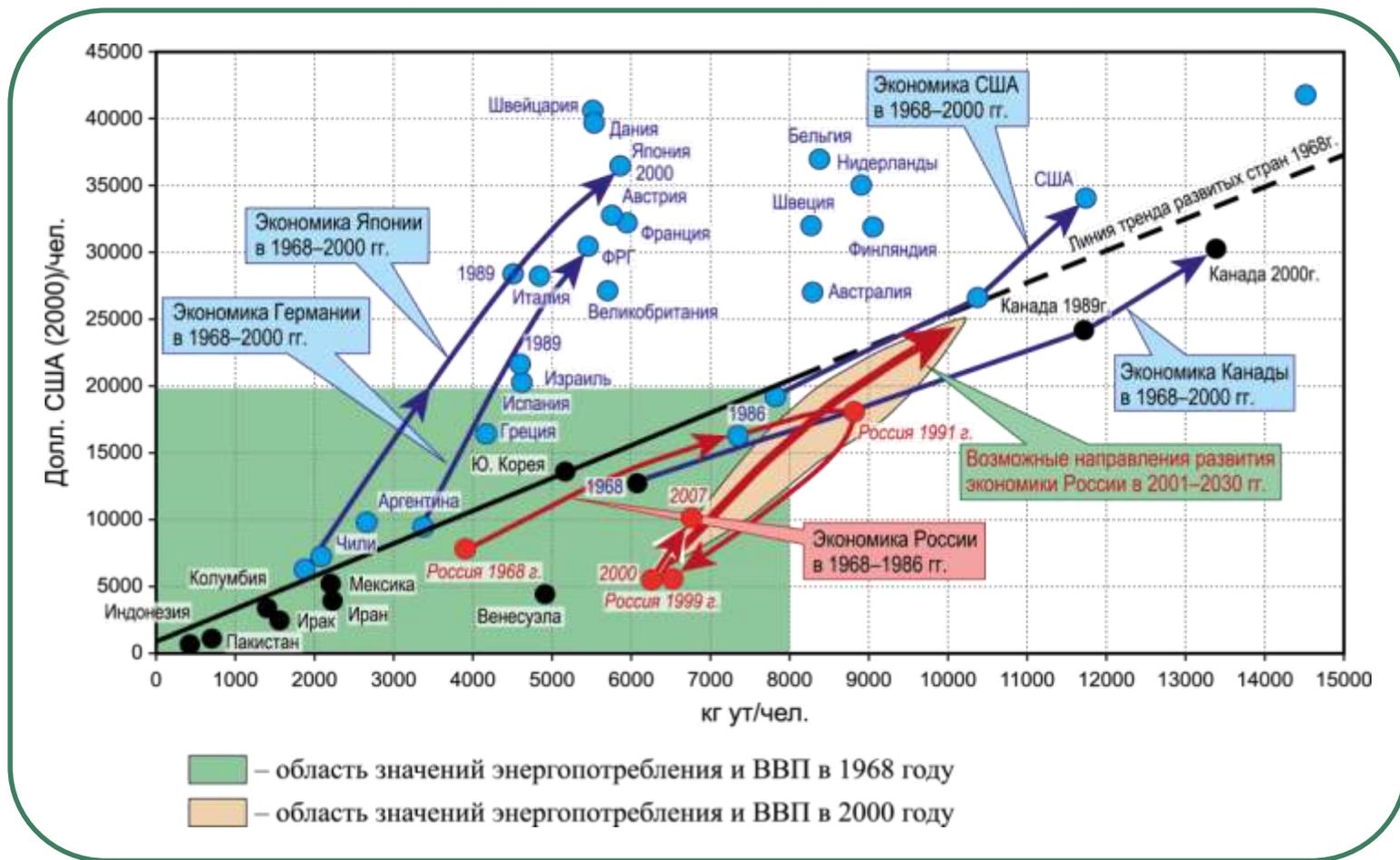
Атомные электростанции в Мире



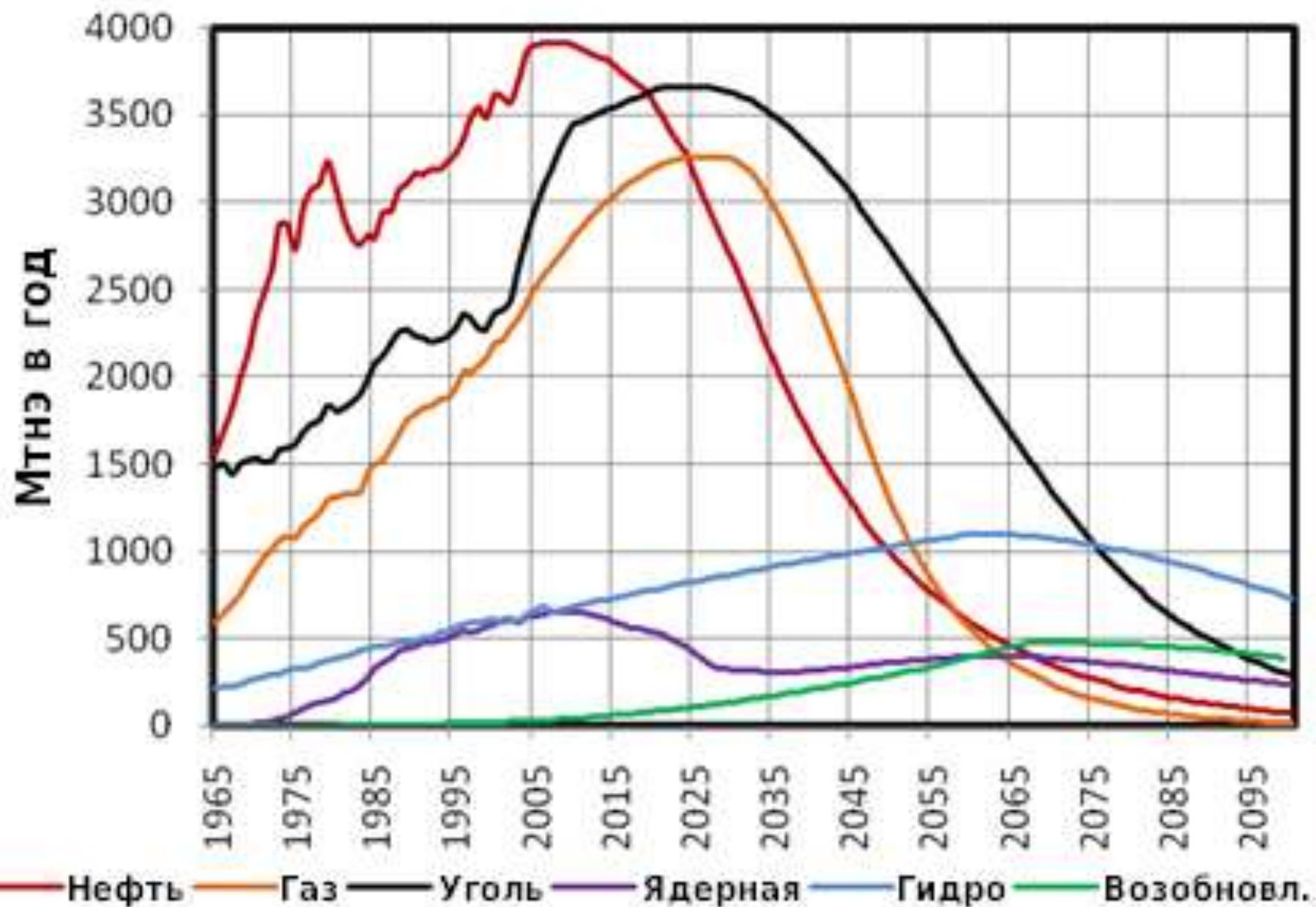
**В мире было 439 действующих реакторов
планируется построить 464 реактора**



Связь ВВП (долл. США в ценах 2000 г./чел.) с потреблением энергетических ресурсов (кг ут/чел., в мире в 2000 г.)



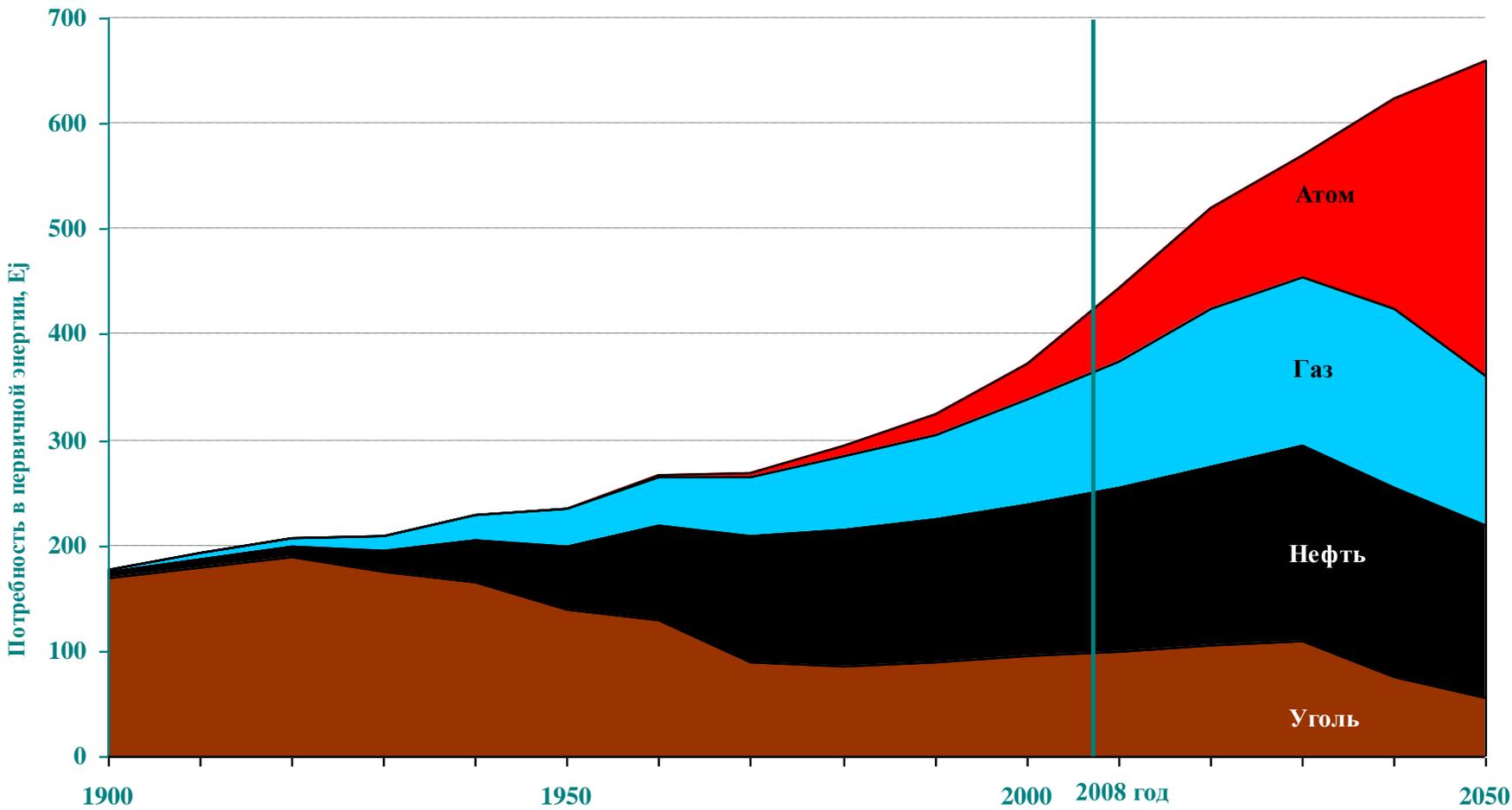
Потребление Энергии по Источникам



Утверждают, что , ОСНОВНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА НЕ ИМЕЮТ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РОСТА

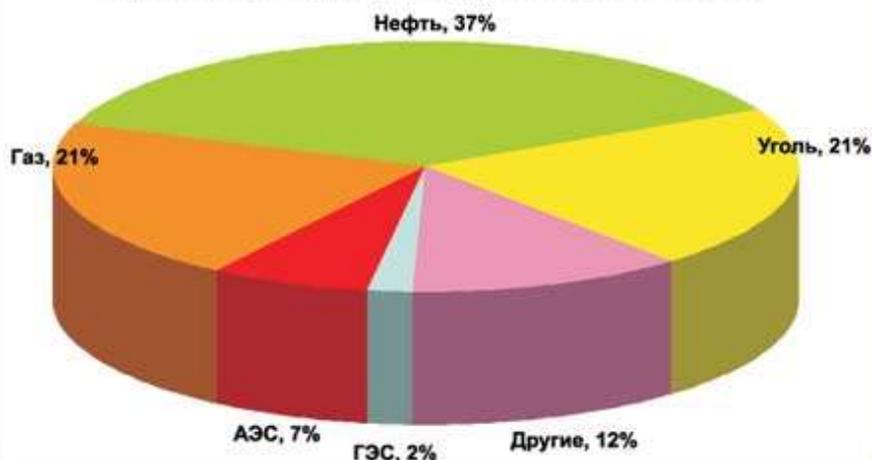
Доля ядерной энергии увеличится с 17% в 2008 до 35% в 2050

Потребуется парк из приблизительно **1200** 1000мвт реакторов



Современное мировое потребление энергии	$4 \cdot 10^{20}$ Дж в год
Среднее потребление энергии на душу населения в мире	$7 \cdot 10^{13}$ Дж в год
Средняя потребляемая мощность на душу населения	2 кВт

Примерный мировой энергетический баланс



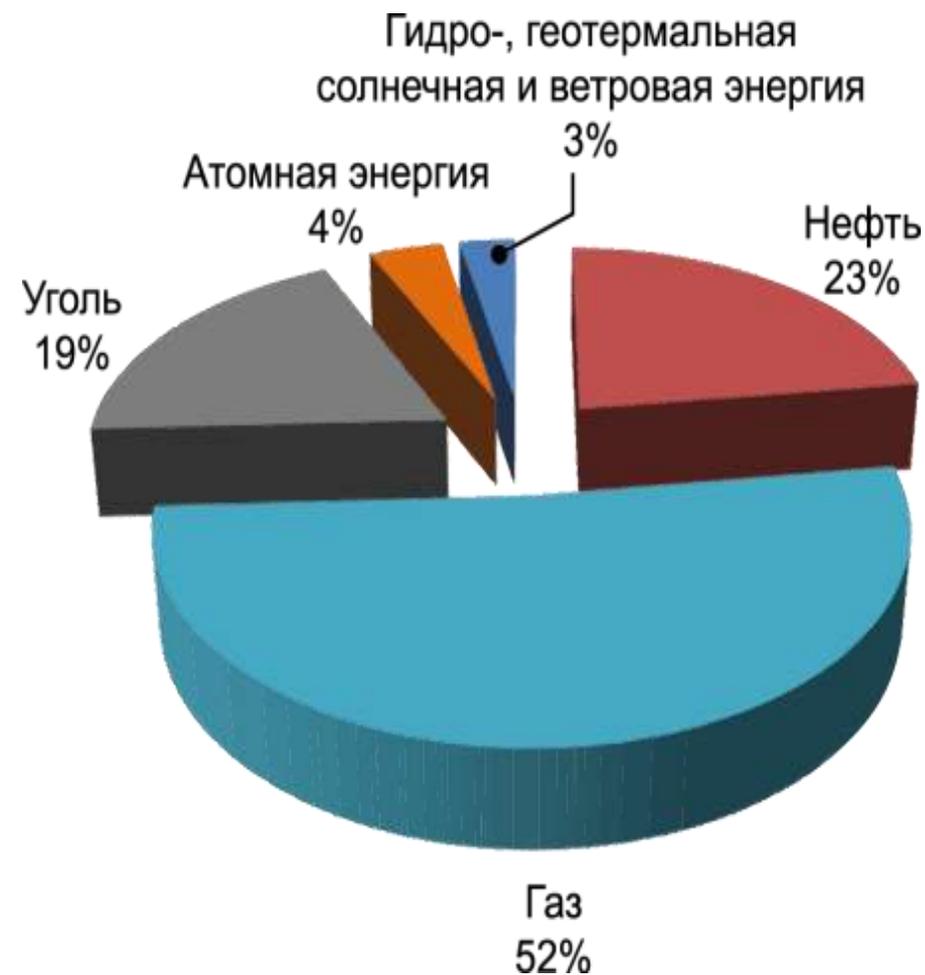
Мировые энергетические ресурсы

	Разведанные извлекаемые запасы	Годовое потребление	Срок исчерпания запасов
Уголь	$10000 \cdot 10^9$ т ($3000 \cdot 10^{20}$ Дж)	$2,6 \cdot 10^9$ т ($8 \cdot 10^{19}$ Дж)	800 лет
Нефть	$140 \cdot 10^9$ т ($65 \cdot 10^{20}$ Дж)	$3,1 \cdot 10^8$ т ($14 \cdot 10^{19}$ Дж)	45 лет
Газ	$140 \cdot 10^{12}$ м ³ ($54 \cdot 10^{20}$ Дж)	$2,4 \cdot 10^{12}$ м ³ ($9 \cdot 10^{19}$ Дж)	60 лет
Уран	$15 \cdot 10^4$ т ($6,2 \cdot 10^{20}$ Дж)	$7 \cdot 10^5$ т ($2,9 \cdot 10^{19}$ Дж)	20 лет

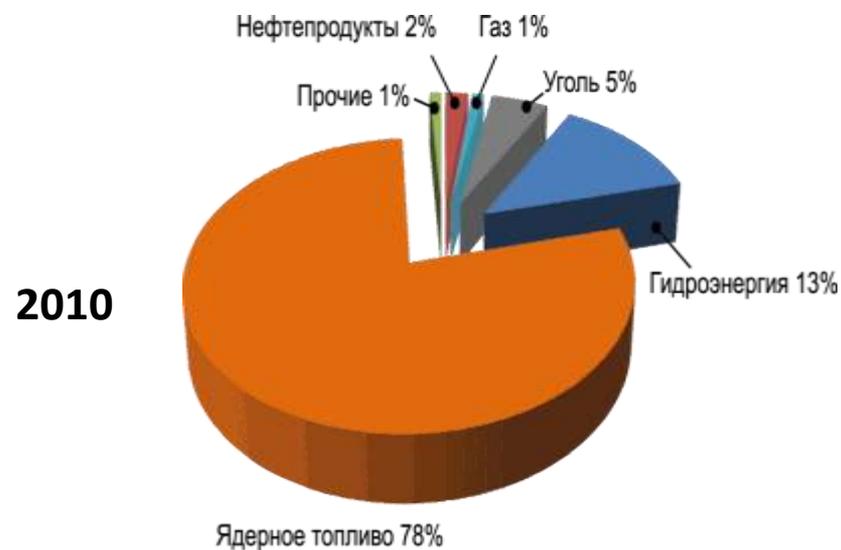
Энергетические ресурсы России

Уголь	$4000 \cdot 10^9$ т ($1,2 \cdot 10^{21}$ Дж)	$2,7 \cdot 10^9$ т ($0,8 \cdot 10^{19}$ Дж)	2500 лет
Нефть	$10 \cdot 10^9$ т ($4,6 \cdot 10^{20}$ Дж)	$3 \cdot 10^8$ т ($1,4 \cdot 10^{19}$ Дж)	30 лет
Газ	$30 \cdot 10^{12}$ м ³ ($12 \cdot 10^{20}$ Дж)	$6 \cdot 10^{11}$ м ³ ($2,3 \cdot 10^{19}$ Дж)	50 лет

Место ядерной энергетики в мировом балансе и во Франции (по Н.П.Лавёрову)

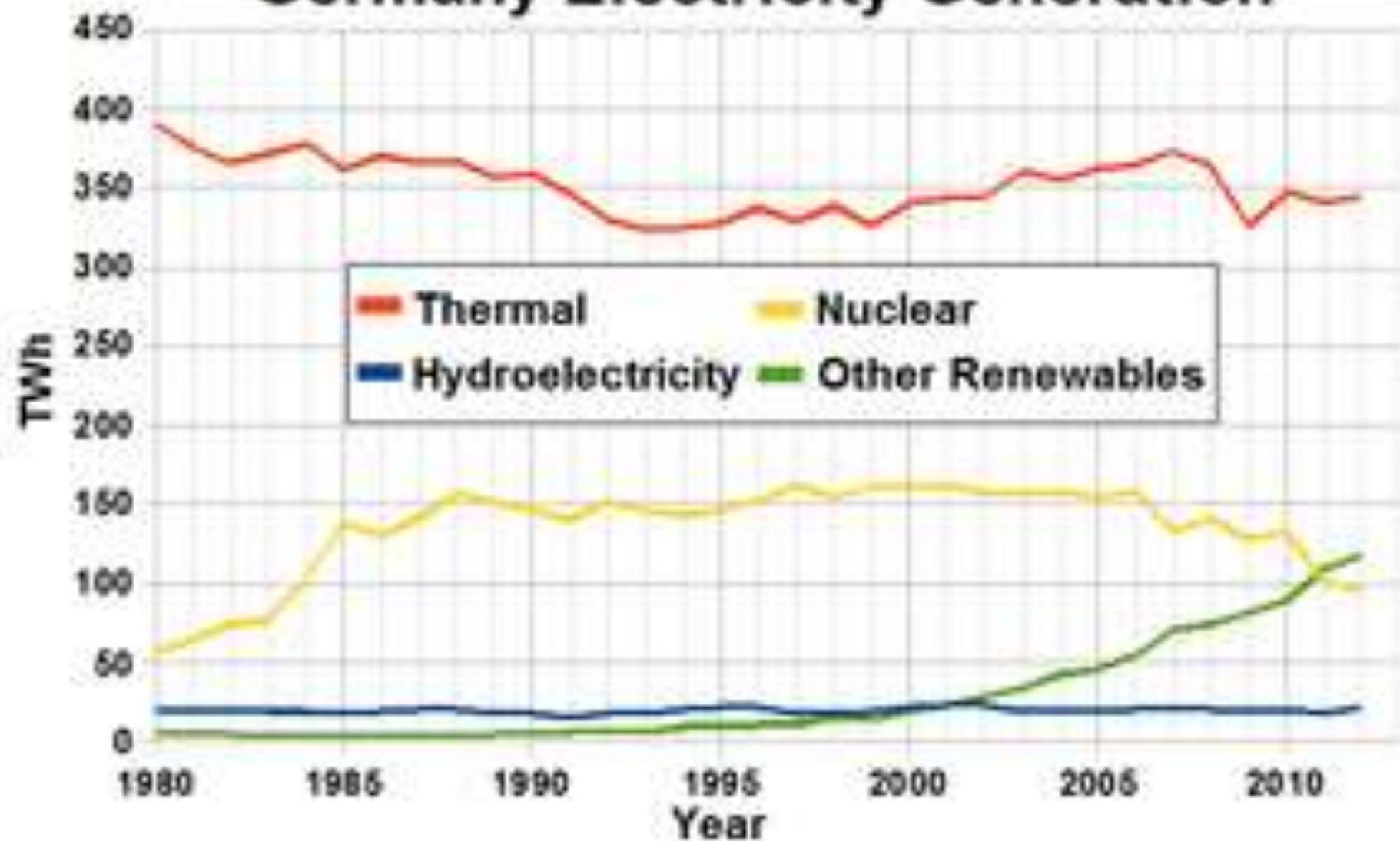


1980



2010

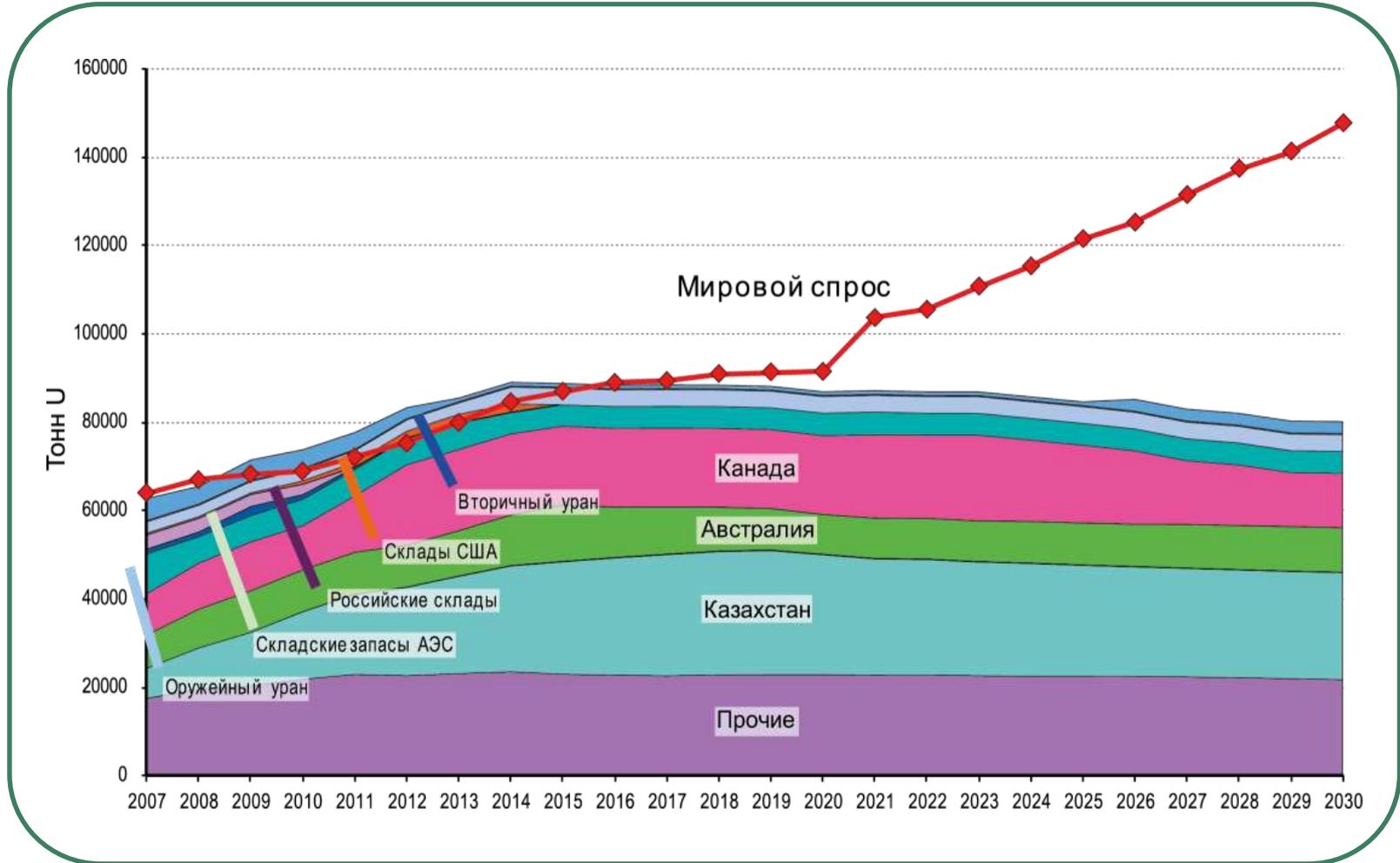
Germany Electricity Generation



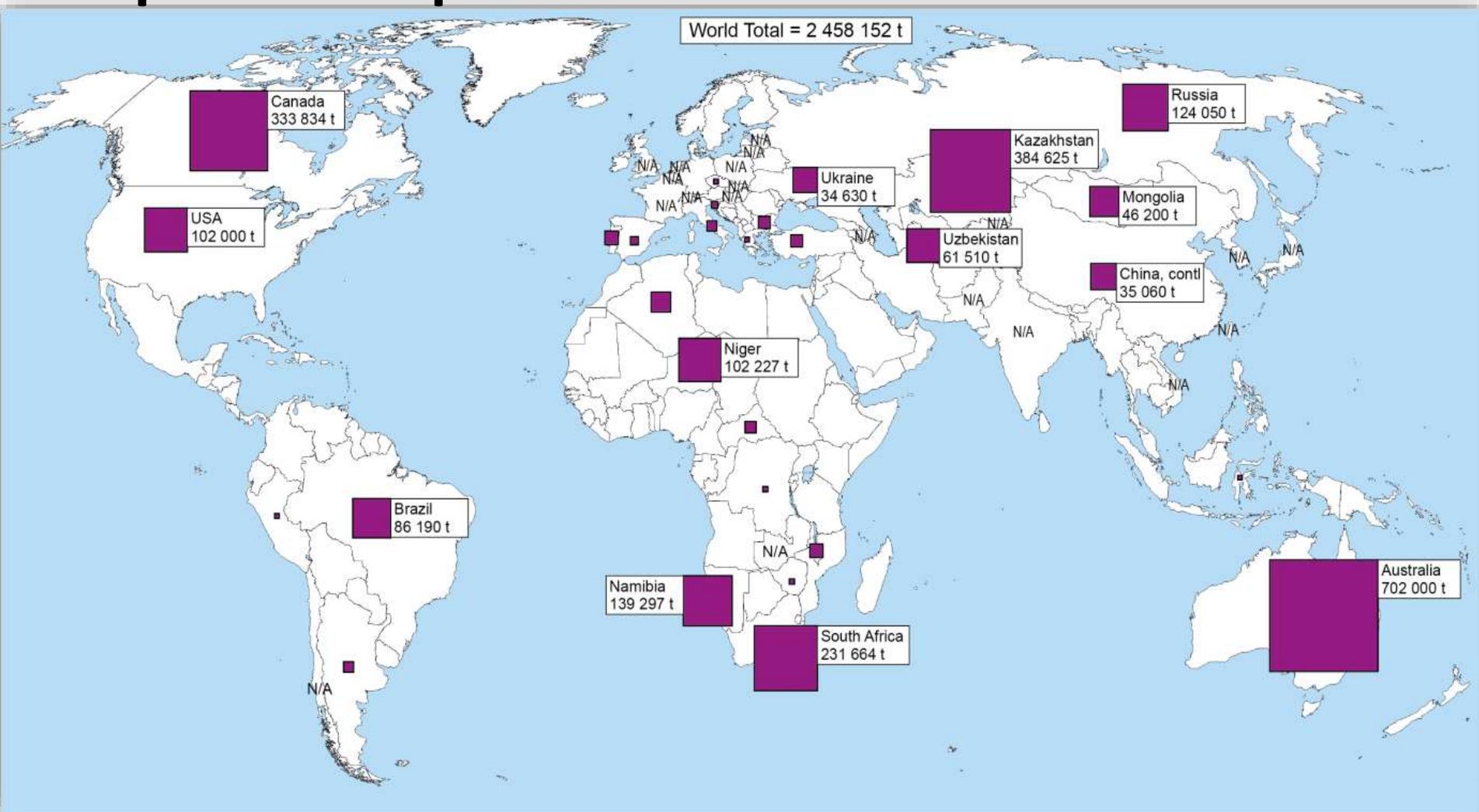
Потребности и обеспеченность России ураном (тыс. т)

Годы	Потребности в уране	Производство природного урана	Дефицит
2005	16,0	3,2	12,8
2010	17,0	4,8	12,2
2020	20,5	5,5	15,0

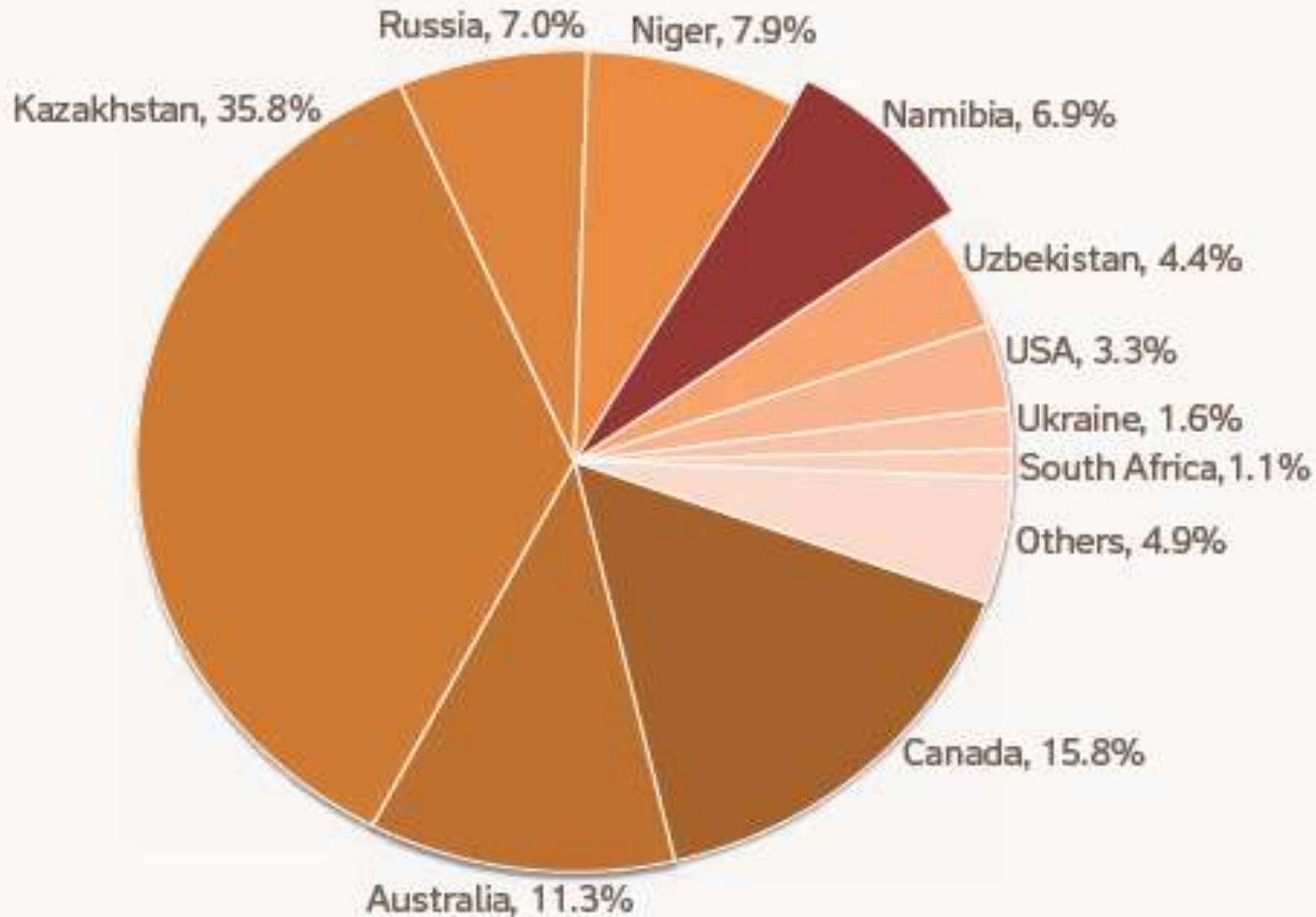
Прогнозный баланс спроса и предложения на природный уран



Распределение основных ресурсов урана по странам Мира



World primary production of uranium oxide (%), 2011



Классификация месторождений МАГАТЭ

The International Atomic Energy Agency assigns the uranium deposits according to their geological settings to 15 main categories of deposit types, arranged according to their approximate economic significance [IAEA2004]:

- **Unconformity-related deposits** – месторождения типа несогласия (*около 20% добычи*)
- **Sandstone deposits** - месторождения в песчаниках (*около 40 %*)
- **Quartz-pebble conglomerate deposits** – месторождения в конгломератах
- **Vein deposits** - месторождения жильного типа
- **Breccia complex deposits** - месторождения в брекчиевых комплексах (*около 25%*)
- **Intrusive deposits** - месторождения интрузивного типа (*около 8%*)
- **Phosphorite deposits** - месторождения в фосфоритах
- **Collapse breccia pipe deposits** - месторождения в трубках взрыва
- **Volcanic deposits** - вулканические породы
- **Surficial deposits** - поверхностные месторождения
- **Metasomatite deposits** - метасоматические месторождения
- **Metamorphic deposits** - метаморфические месторождения
- **Lignite** - лигниты
- **Black shale deposits** - месторождения в чёрных сланцах
- **Other types of deposits** - месторождения других типов
-



Учебный курс: «Месторождения РАЭ»

КОМПЛЕКСНЫЕ УРАНОВЫЕ, УРАН-ТОРИЕВЫЕ, РЕДКОМЕТАЛЬНО-УРАН-ТОРИЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И РЕСУРСЫ И В ИНТРУЗИВНЫХ И ИНТРУЗИВОПОДОБНЫХ ПОРОДАХ(МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ПОРФИРОВОГО» ТИПА)

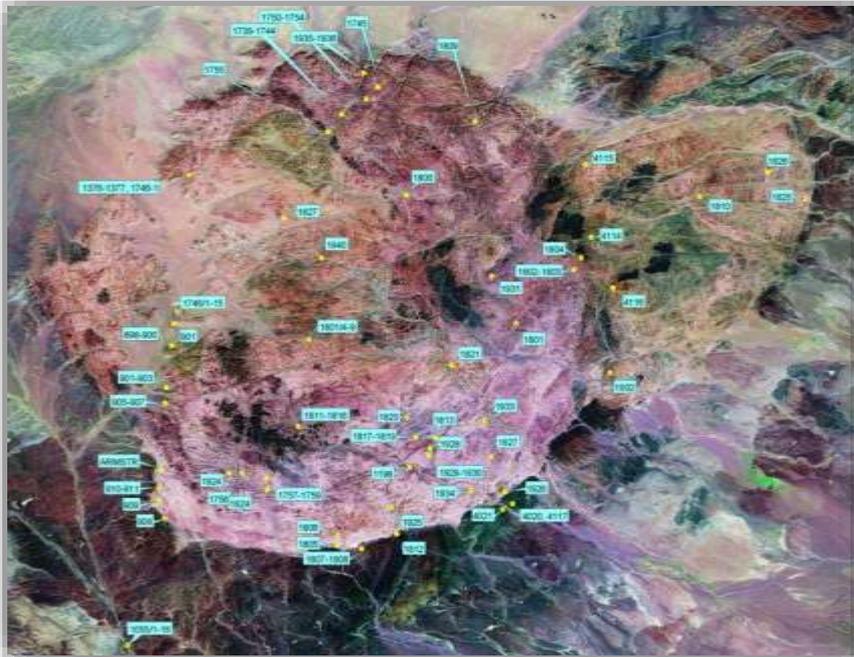


Высокорadioактивные гранитоиды известны во многих регионах мира. Это, как правило, щелочные и субщелочные граниты (А-типа), формирующиеся на самых поздних этапах развития складчатых областей.

Часто к ним относят продукты автометасоматической и поздней гидротермальной переработки биотитовых щелочных и субщелочных гранитов, граносиенитов и других пород. Решение вопроса о генезисе данных пород и, особенно, природы высоких концентраций в них радиоактивных и других элементов затруднено, требует специального подхода к их изучению и во многих случаях происхождение таких гранитоидов, например, молодых гранитоидов Нигерии, Монголии и других стран, дискуссионное (Коваленко В.И., Беус А.А. и др.)

Среди пород группы нефелиновых сиенитов, также встречаются разновидности породы, например, люавриты, резко обогащённые радиоактивными элементами (Кольский полуостров, Илимауссак и др.)

Для интрузивных пород щелочного ряда зачастую характерны изометрической формы тела различных размеров



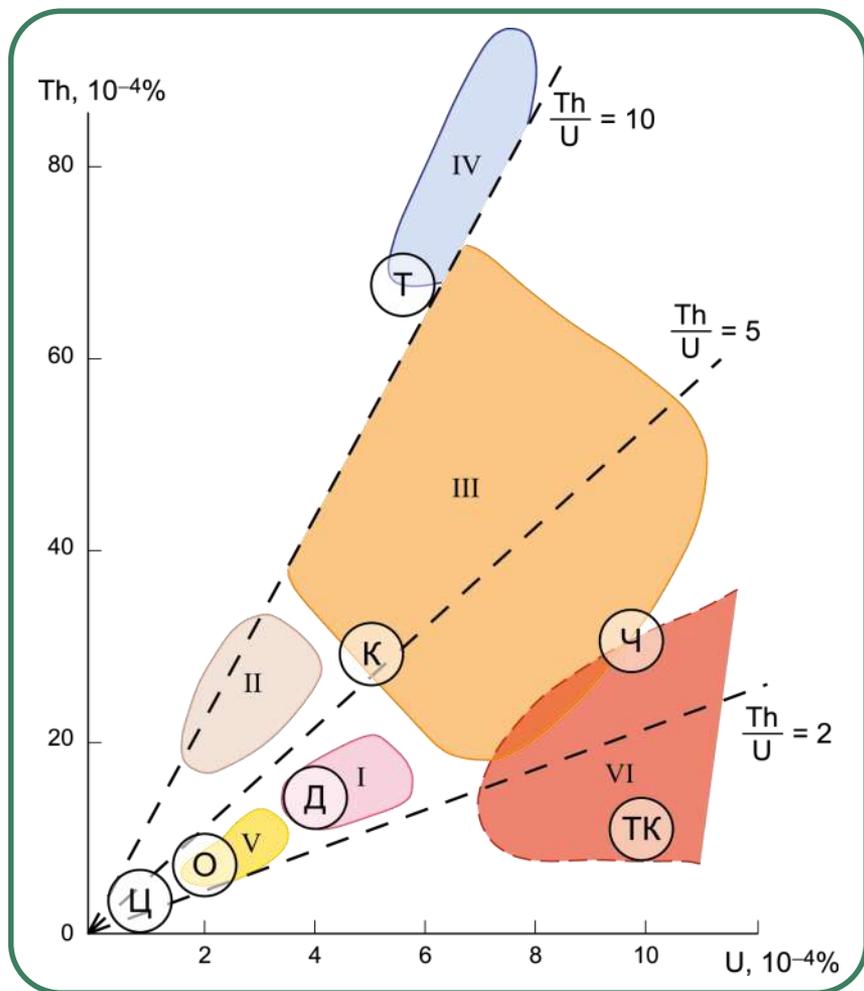
Массив щелочных гранитов Хан-Богдо
(Монголия). Космоснимок.



Массивы Хибинский и Лавозерский
(Кольский полуостров)

Главнейшие радиогеохимические типы гранитов

(по Л.В. Комлеву, с дополнением А.А. Смылова, Л.П. Рихванова)

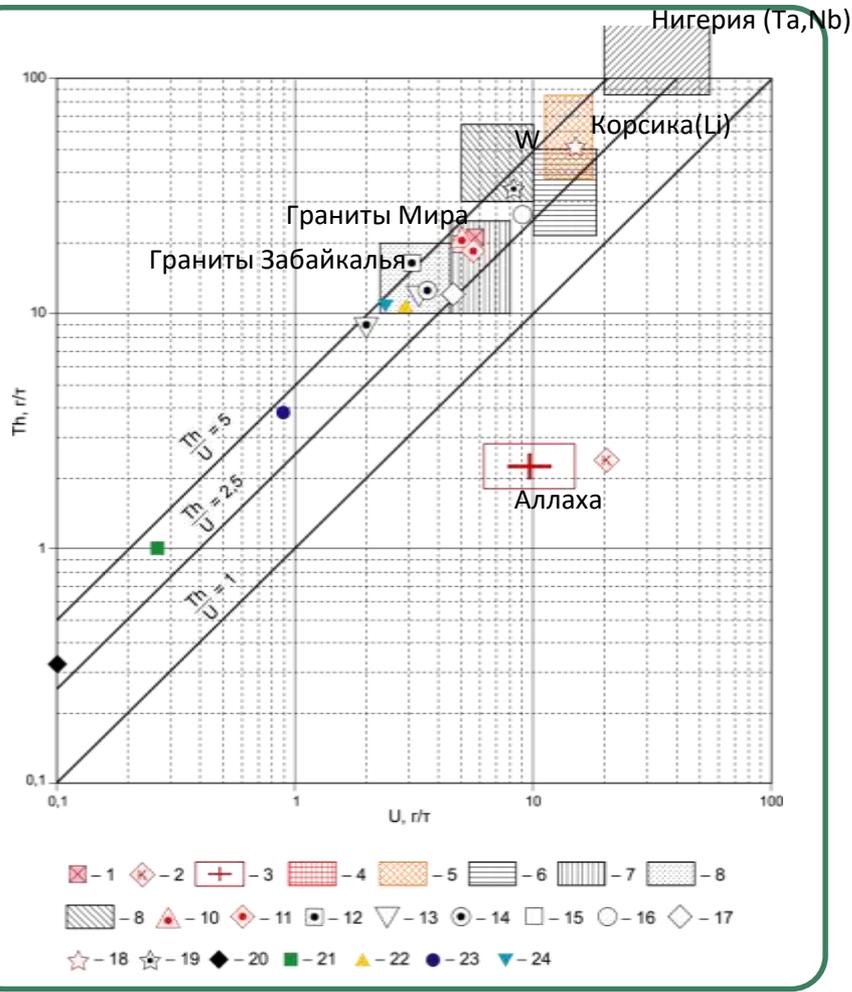


Следует отметить, что уже в самом начале 50-х годов XX столетия российский учёный Л.В. Комлев в своей докторской диссертации предложил радиогеохимическую классификацию гранитоидов, выделив особый тип «ураноносных гранитов».

I – нормальнорадиоактивные граниты, $Th/U = 2,5-4,5$; II – повышеннорадиоактивные граниты, $Th/U = 6-10$; III – высокордиоактивные редкометалльные граниты, $Th/U > 5-10$; IV – высокордиоактивные ториеносные граниты, $Th/U > 10$; V – слаборадиоактивные плагиограниты, $Th/U < 2-5$; VI – высокордиоактивные существенно ураноносные граниты, $Th/U = 1-2$

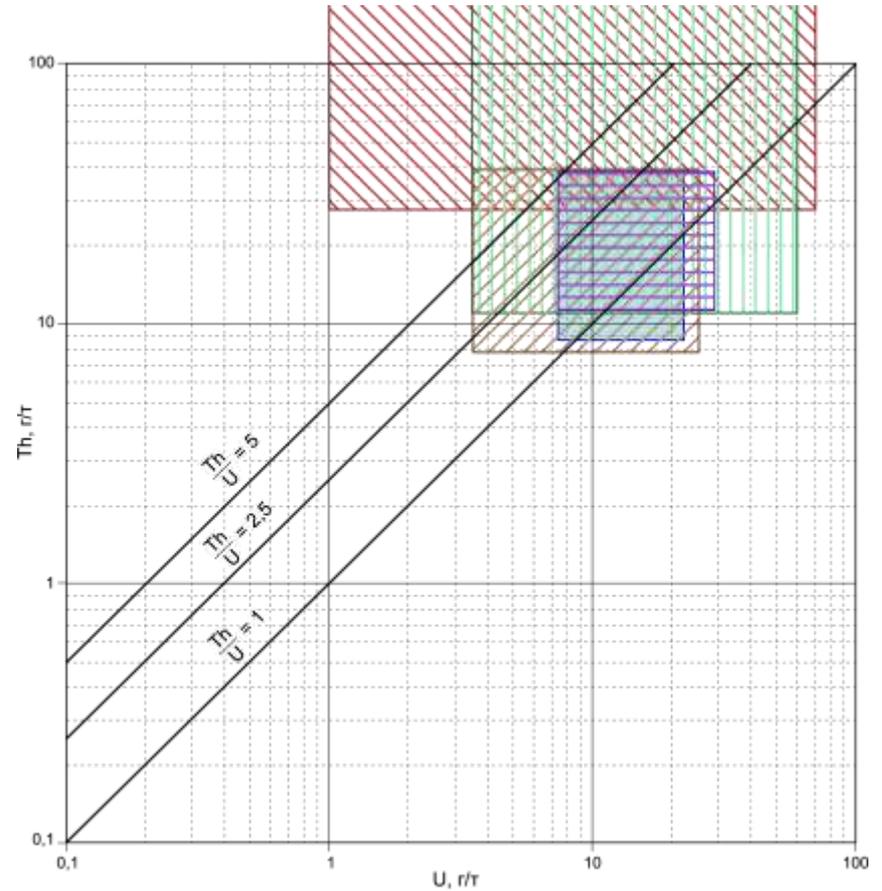
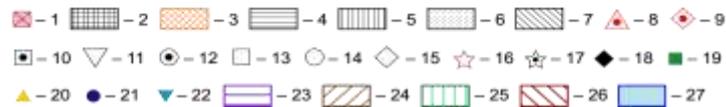
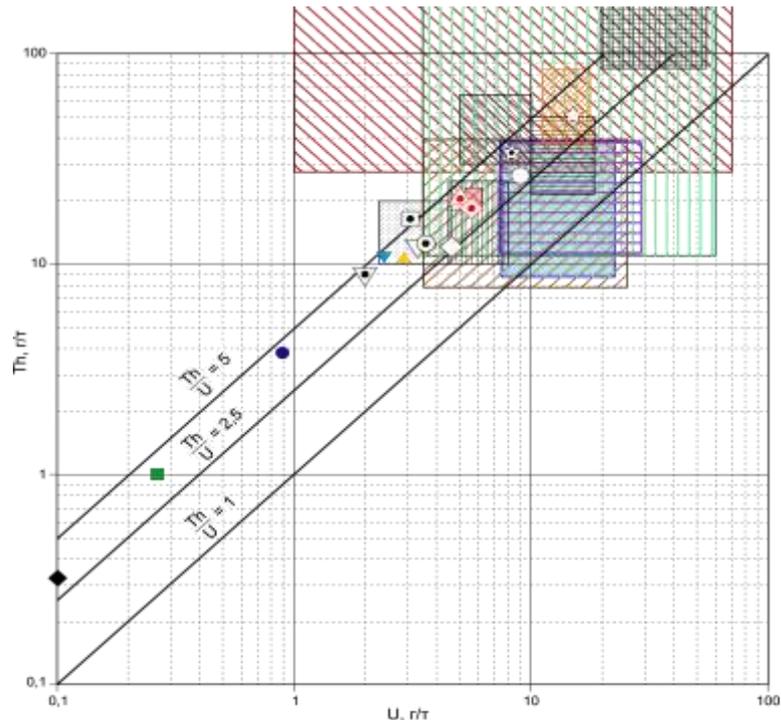
Гранитоиды АССО: Т – Таракский массив; Д – Дудетский (Тигертышский) подтип (Андатский, Саралинский и др.); О – Ольгинский подтип (Карлыган, Колоджул и др.); Ч – Чебулинский комплекс; К – Колгутинский массив; ТК – Талицко-Карокольский

Радиогеохимическая диаграмма некоторых типов магматических пород и геологических образований

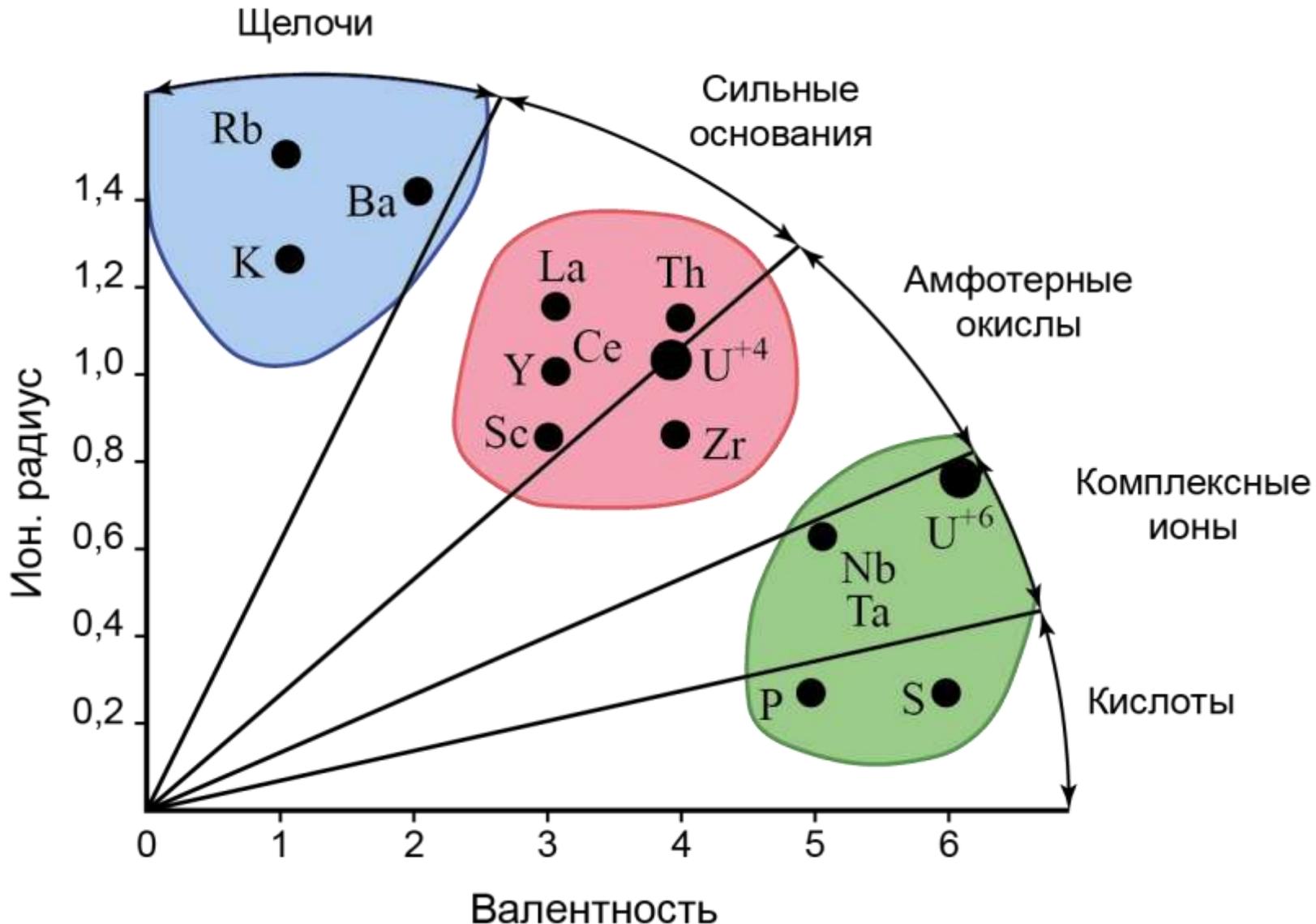


1 – онгониты из петротипа района месторождения Онгон-Хайерхан (Монголия); 2 – «калгутиты» (онгониты по [9, 10, 11] из месторождения Калгутинское (Горный Алтай); 3÷9 – Поля металлогенических специализированных гранитоидов; 3 – сподуменовый тип танталоносных гранитов (по [26]); 4 – тантал-ниобиевые гранитоиды Нигерии (по Okajoka, 1989 [14]); 5 – литиевые граниты Корсики (по Bonin, 1988 [14]); 6 – олово-вольфрам-бериллиевые с литием и цезием, танталом и ниобием (по Stussi et. al., 1989 [14]); 7 – олово-вольфрам-бериллий-урановые (по Stussi et. al., 1989 [14]); 8 – вольфрамоносные (по Stussi et. al., 1989 [14]); 9 – медно-молибден-вольфрамовые с ураном и торием (по Stussi et. al., 1989 [14]); 10 – среднемировые граниты (по [21]); 11 – среднее для гранитоидов активизации Центральной Сибири (по [14]); 12 – гранитоиды Забайкалья (162 массива, 3072 пробы, по В.И. Медведеву и др., ГП «Сосоновгеология»); 13 – вулканы кислого состава Забайкалья (39 полей, 397 проб, по В.И. Медведеву и др., ГП «Сосоновгеология»); 14 – ультракислые риолиты Горного Алтая (по Ю.А. Тикуну, 1995); 15 – кислые стёкла и риолиты Эфиопии (по Walter et. al., 1987 [14]); 16 – риолиты Японии, стандарт JR-1 (по [23]); 17 – обсидиан, США (по [23]); 18 – граниты NIMG, Африка (по [23]); 19 – порфириовидные граниты, в полях развития которых локализуются «калгутиты» (онгониты); 20÷24 – средние оценки содержания урана и тория по С.Р. Тейлору и С.М. Мак-Леннону, 1988; 20 – хондриты; 21 – нижняя континентальная кора; 22 – верхняя континентальная кора; 23 – континентальная кора в целом; 24 – пеллагическая глина.

Радиогеохимическая характеристика некоторых металлогенических типов гранитоидов



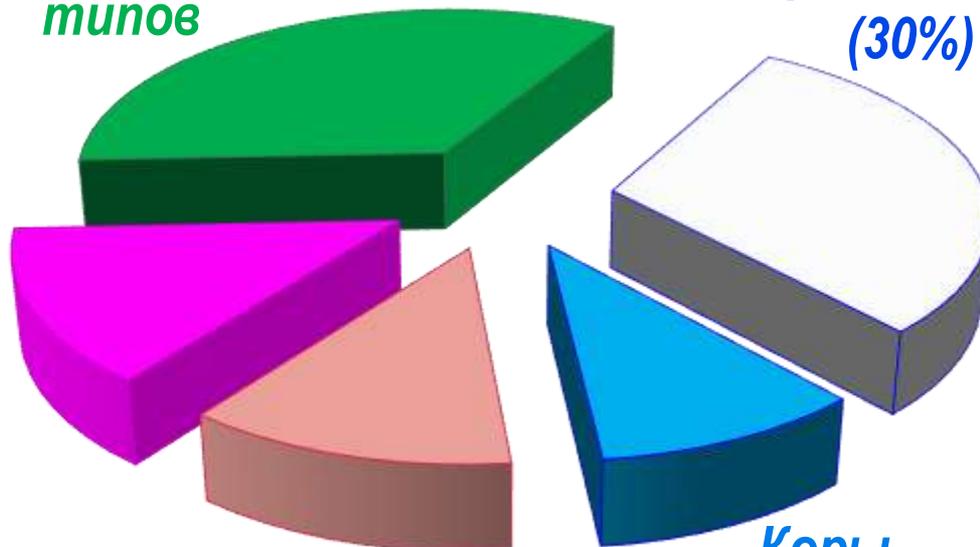
Природные геохимические ассоциации элементов



Месторождения РЗЭ вне Китая (2012)

*Россыпи различных
типов*

*Карбонаты
(30%)*



**Недосыщенные
SiO₂
суперщелочные
породы**

*Щелочные
гранитоиды*

*Коры
выветривания по
карбонатам
(10%)*

Месторождения типа «Рёссинг»

Росс Адамс (Аляска, США), 1955.

Отработано.

Рёссинг (Намибия). 1972.

Отрабатывается.

Этот тип месторождений следует рассматривать как основной источник U в будущем.

Месторождения «порфирового» типа в литературе нередко называют месторождениями в аплитах и пегматитах, аляскитах.

Содержание урана в породах невысокое от 0,0п до 0,п%, в среднем 0,03-0,06%.

Запасы руд исчисляются в миллионы тонн.

Так, рудоносный блок подготовительный к отработке на месторождении Россинг (Намибия) имеет размеры: 3 км. по длине, 1 км по ширине и 0,3 км в глубину.

Рудовмещающими породами являются гранитоподобного облика породы, состоящие из кварца и кпш (аляскит), встречаются Alb, биотит. Из аксессуарных минералов: апатит, циркон, монацит, сфен, самарскит, бетафит, магнетит, пирит и др.

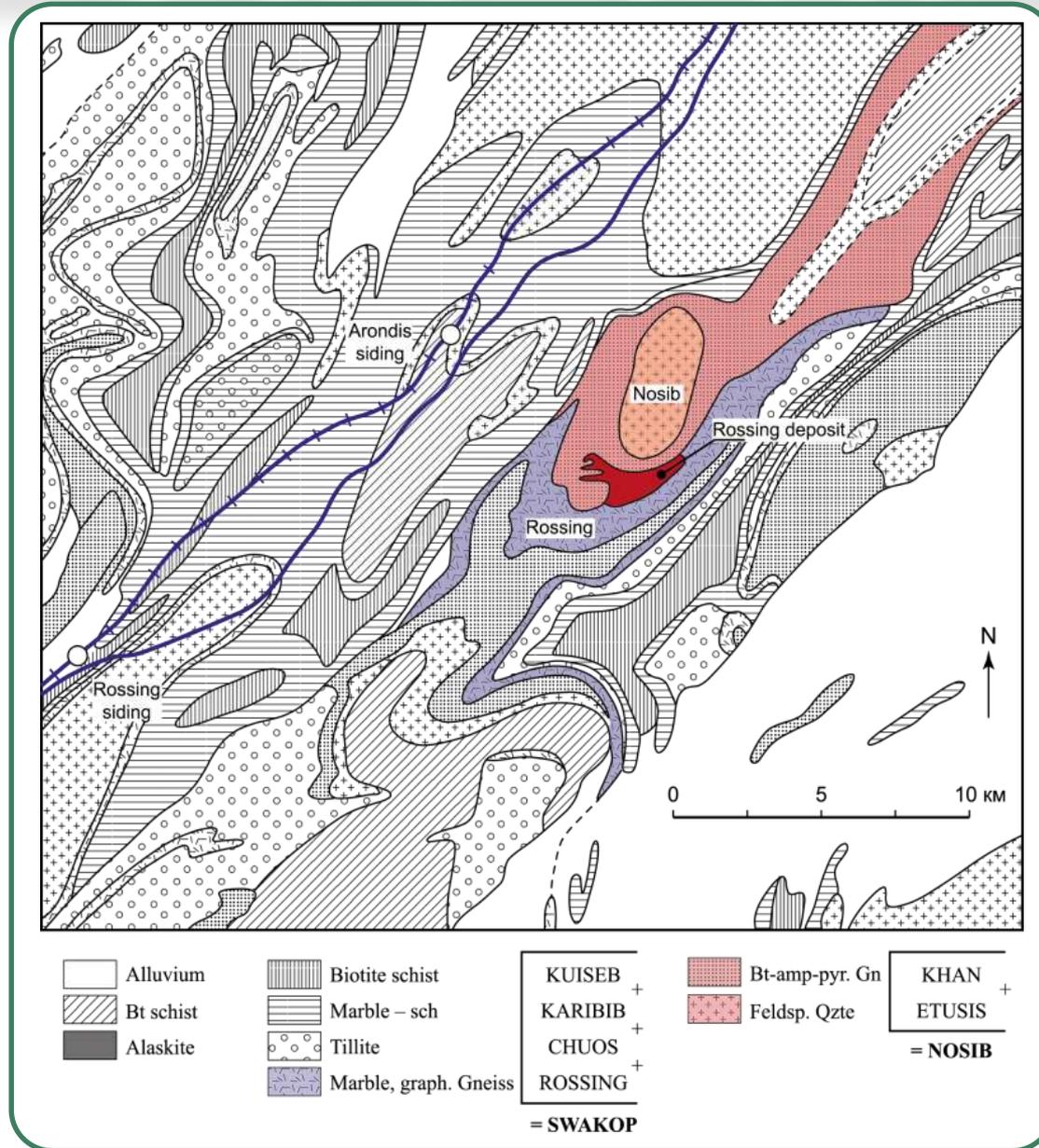
Mine à ciel ouvert (MCO) de RÖSSING (Namibie)

Michel Cuney (Mars 2006)

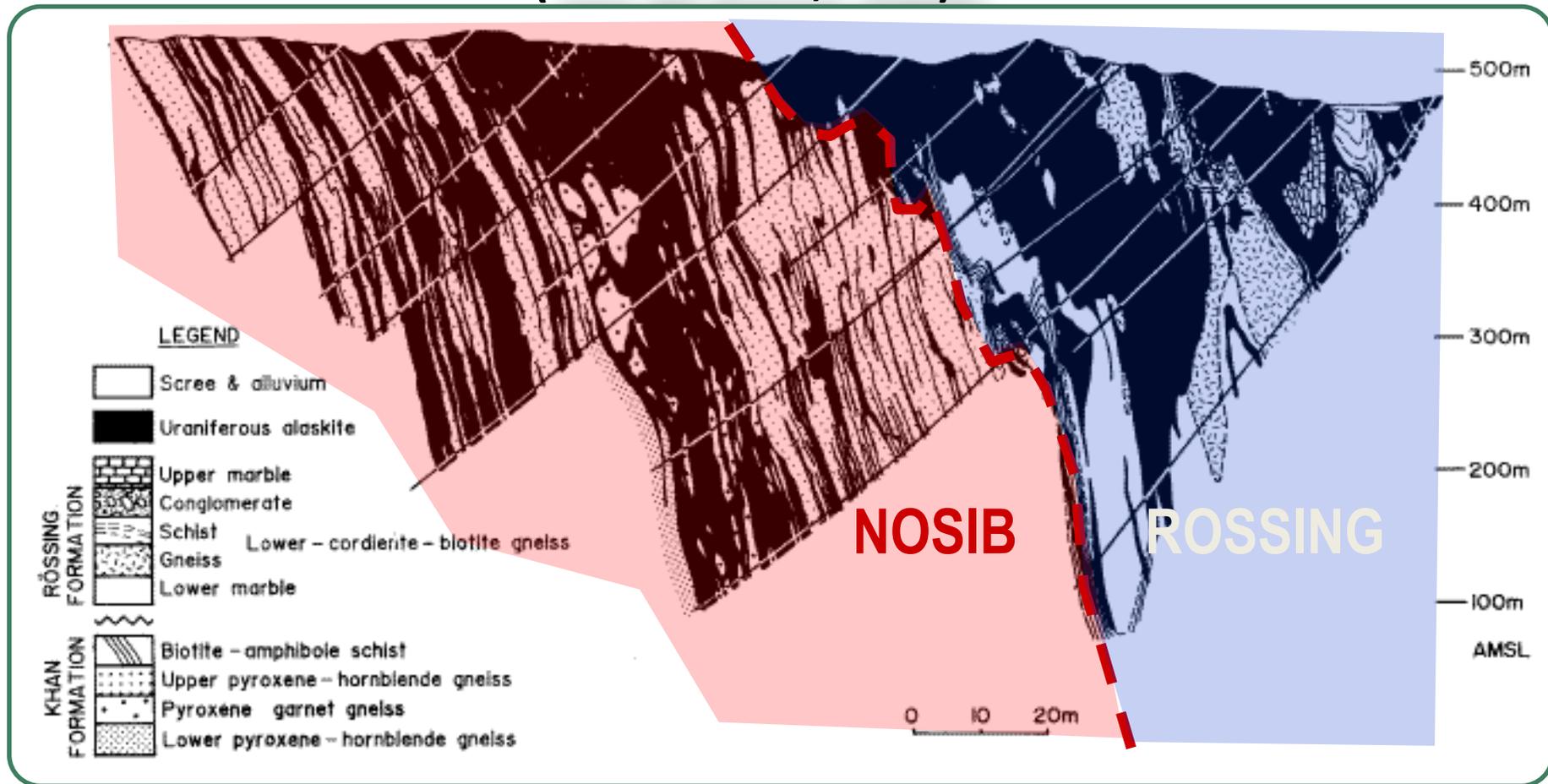


За 30 лет добыто примерно **120** тысяч тонн урана при среднем содержании **0,03 %**

Geologic map of the Rössing area (по М.Кюни)

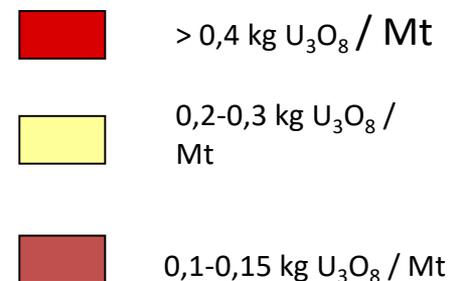
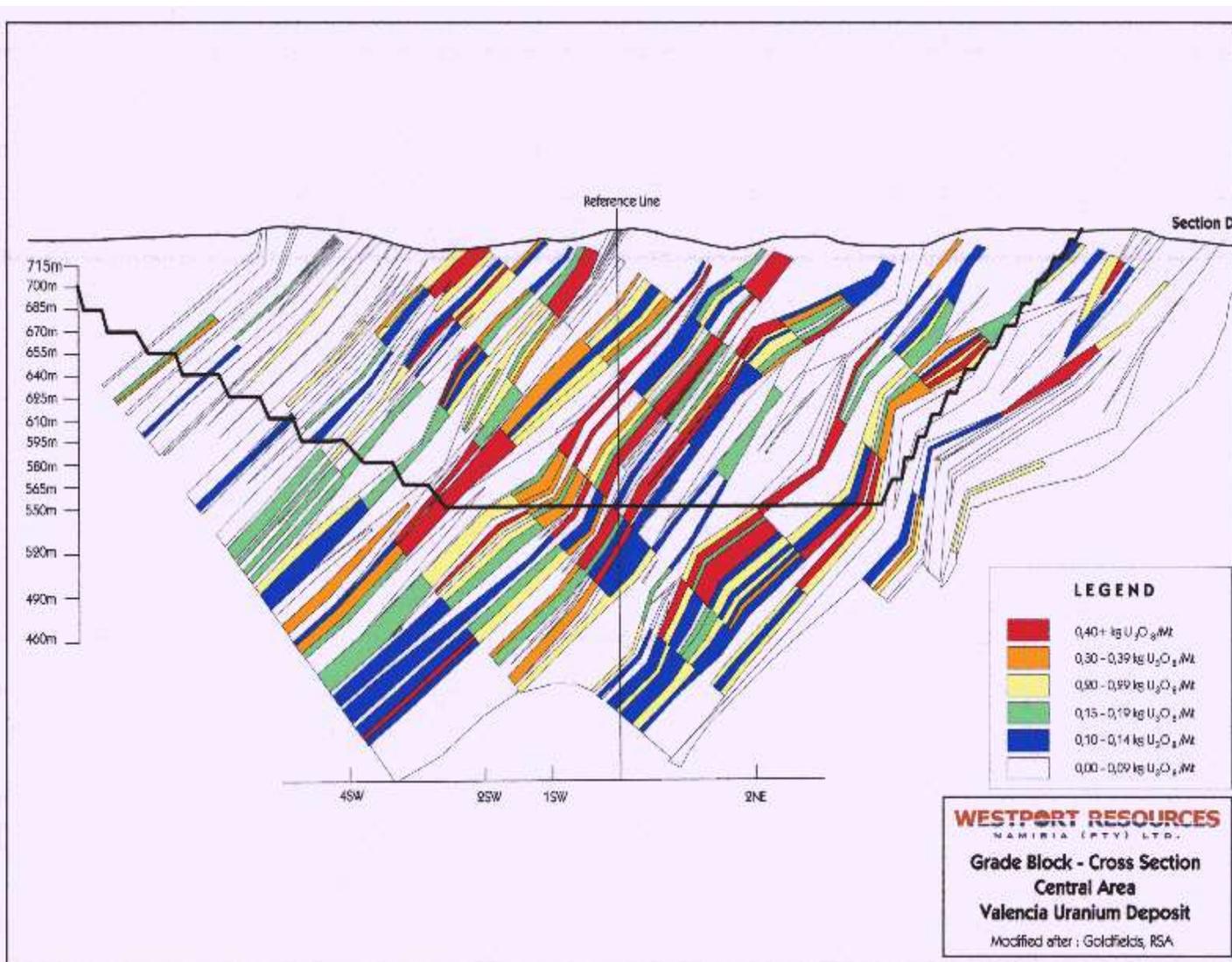


Геологический разрез через месторождение Рёссинг (по М.Кюни, 2009)



Распределение урана в аляскитах

(по М.Кюни,2009)



Некоторые ключевые моменты для решения генезиса такого рода объектов

«Аляскиты» образуют согласные и секущие по отношению к слоистости (сланцеватости) вмещающих пород (гнейсы, мрамора и т.д.)

Характер их контактов, на мой взгляд, свидетельствует о метасоматической природе данных образований (постепенные переходы).

«Аляскиты» могут развиваться по любым породам.

Рудоносные от нерудоносных «аляскитов» отличаются только повышенным содержанием биотита и красноватой окраской.

Руды: уранинитовые (50-55% запасов) и бетафитовые, коффинитовые (5% запасов). Уранит образует неравномерную тонкую вкрапленность (до 0,3 мм).

Минеральный состав руд месторождения Рёссинг (по М.Кюни)

Uraninite disseminated as inclusions in feldspar, biotite, quartz also interstitial or along cracks preferentially associated with biotite and zircon clusters.

Monazite commonly closely associated with uraninite.

Betafite $[(U, Ca, Ce)(Ti, Fe) 2O_6]$ = minor proportion of the U in the ory usually dark brown to a bright yellow.

Brannerite $[(U, Ca, Ce)(Ti, Fe) 2O_6OH]$ is rare

Zircon, apatite, sphene

Pyrite, chalcopyrite, bornite, molybdenite, arsenopyrite
magnetite, hematite and ilmenite.

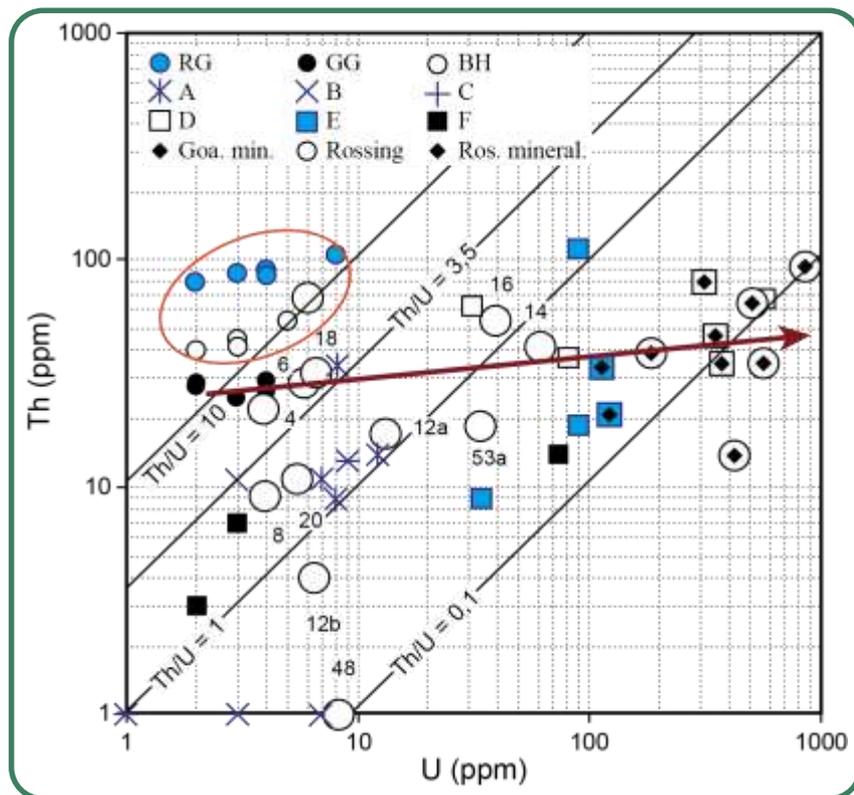
Fluorite is frequently present.

Secondary U(VI) minerals betauranophane $[Ca(UO_2)Si_2O_7 \cdot 6H_2O]$.

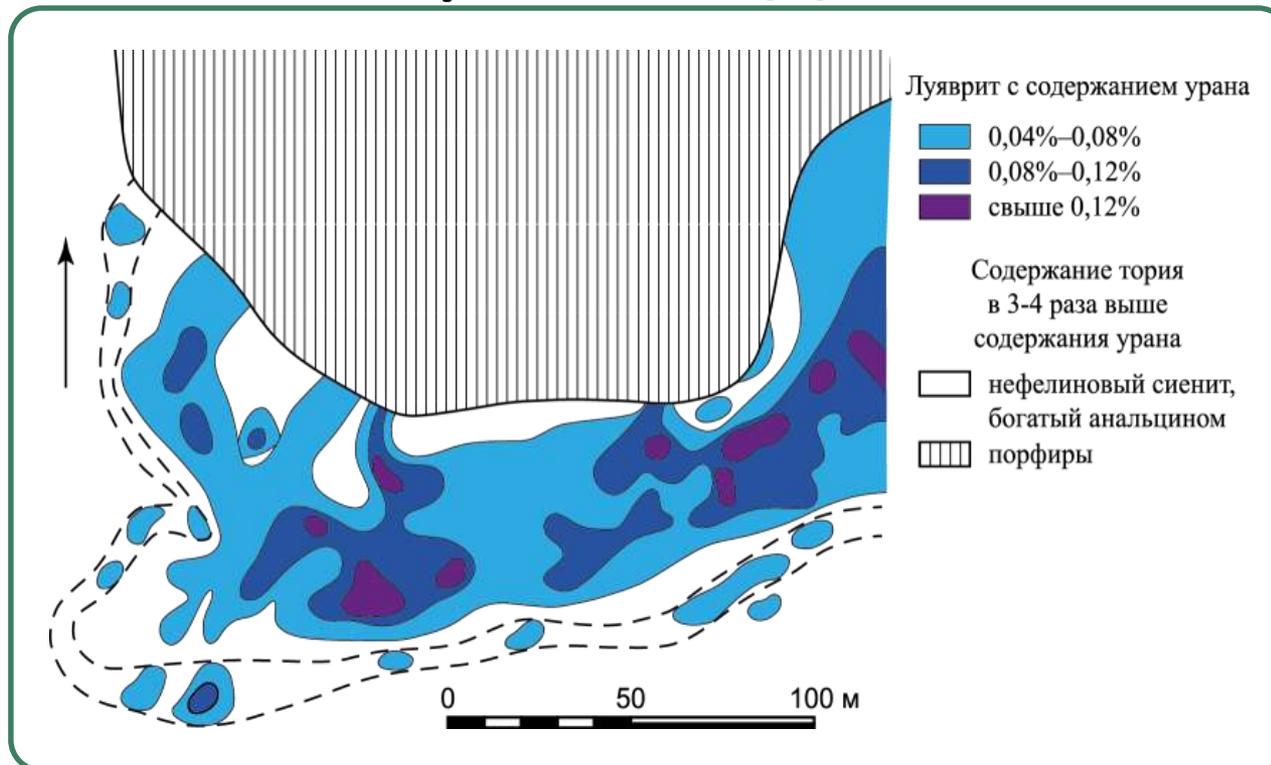
Uraninite-zircon-pyrite in quartz Rossing (trans. & refl. Light)



Радиогеохимическая типизация пород в районе месторождения Рёссинг (по М..Кюни)

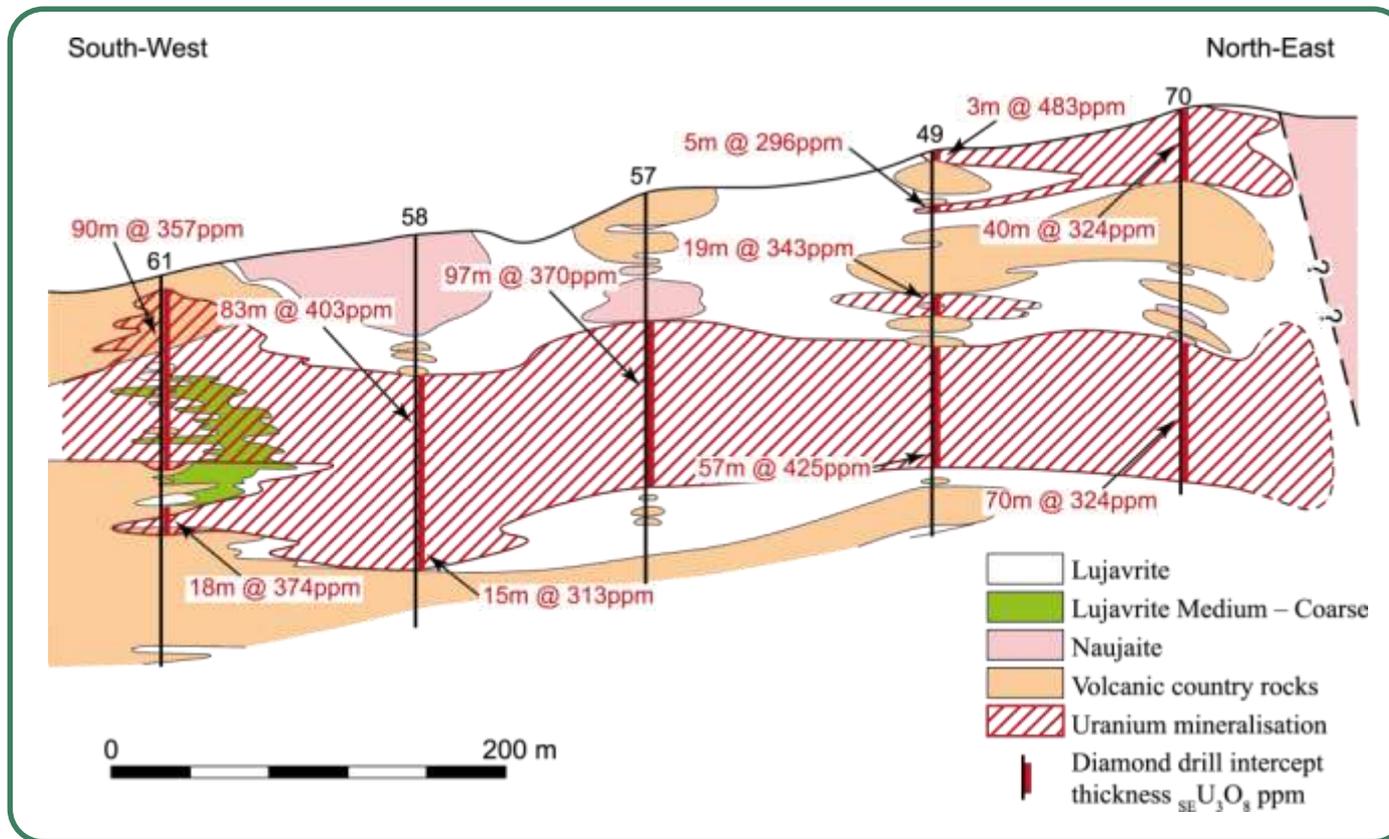


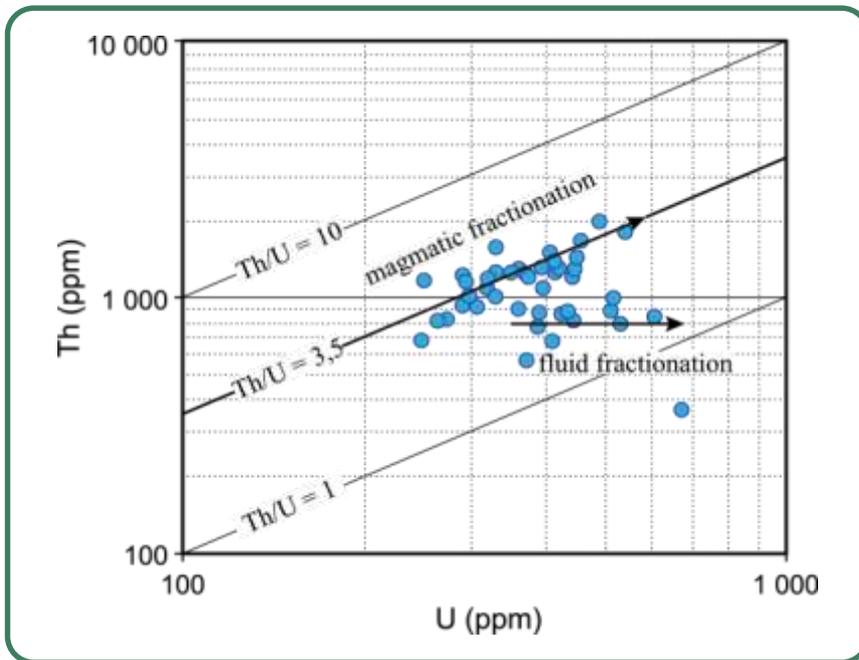
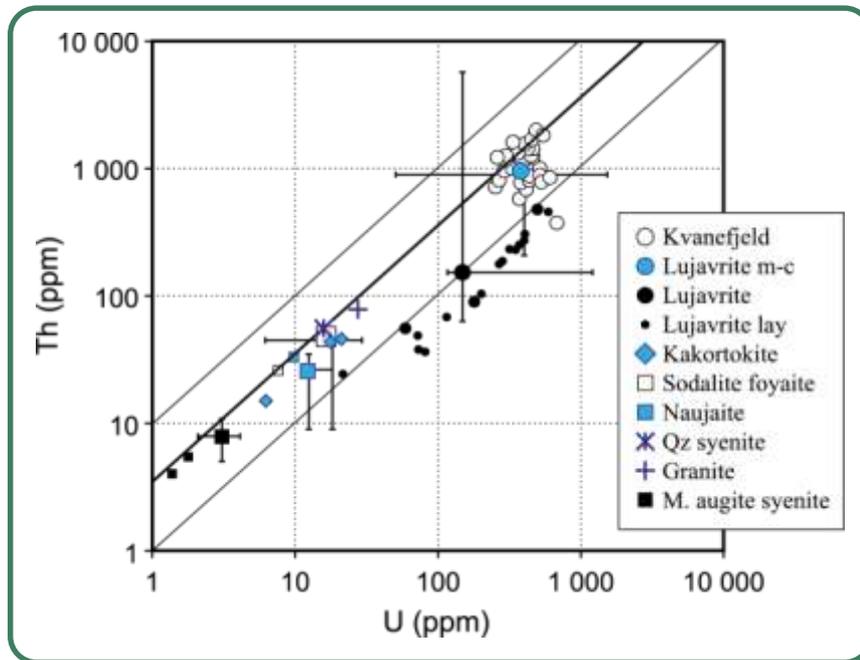
Месторождение Илиммауссак, Гренландия



- **Simultaneous enrichment in:**
- **U, Th, Zr, REE, Nb, Ta, F ...**
- **U in steenstrupine:**
- **Silicophosphate of U, Th, Zr, REE, Nb, Ta, F**
- **83 320 t U @ 260 ppm**

Typical section through the Kvanefjeld





Th-U variations in the plutonic units of the Ilimaussaq intrusion, and in the Kvanefjeld deposit (Clausen 1982).

Relations between Th and U in the Kvanefjeld mineralization (data from Clausen, 1982) indicating two types of fractionation.

Массив Халдзат-Бурегтей (СЗ Монголия)



BASIC INDUSTRIAL MINERALS AND ELEMENTS

CONTENTS:

- **Zirconium-1.4-2.0%**
- **Niobium-0.20%**
- **Tantal-0.011%**
- **Yttrium-0.11%**
- **Rare-earth element-0.3%**

RESOURCES:

- **Zirconium-2.4 million tons**
- **Niobium-335 thousand tons**
- **Tantal-17.8 thousand tons**
- **Yttrium-183.5 thousand tons**
- **Rare-earth element-490 thousand tons**

Содержание элементов в породах рудного штока и гравитационном концентрате месторождения Халдзат Буректей (СЗ Монголия)

Элементы, г/т	Порода рудного штока	Концентрат из породы
Ta	152 (0,015%)	21 200 (2,12%)
La	623	35 100
Ce	691	63 300
Nd	701	19 400
Sm	92,1	—
Eu	4,9	260
Tb	14,9	262
Yb	134	179
Lu	19,4	7,6
Сумма РЗЭ	2 280 (0,23%)	118 500 (11,9%)
Hf	184	72
Th	58	1 020 (0,1%)
U	72	2 102 (0,2%)

Экономическое значение месторождений типа «Рёссинг»

Возможность использования изверженных пород в качестве крупных источников низкосортных руд радиоактивных элементов изучалась, как отмечает Э. Хейнрих (1962), Брауном и Силвером (Brown, Silver, 1955), которые пришли к следующим выводам:

- Существенная часть урана, тория и некоторых других элементов может быть извлечена путем выщелачивания слабой кислотой.
- Энергия, которую возможно получить в форме урана и тория из среднего гранита, больше той, которую необходимо затратить на его переработку.
- Хотя в настоящее время стоимость переработки среднего гранита слишком высока, переработка множества типов изверженных пород (с концентрацией выщелачиваемых урана и тория выше средней) может стать в ближайшем будущем экономически конкурентоспособной операцией.
- В изверженных породах земной коры урана и тория достаточно для обеспечения энергией высокоиндустриализованной мировой экономики в течение весьма длительного времени.
- **Ни одна из наций, нуждающаяся в большом количестве урана и тория, не должна игнорировать такие источники этих элементов.**

И, не случайно, к этой проблеме постоянно возвращаются, хотя и без ссылки на эту работу. Так, в 1976 году

Ф.К. Амстронг выступил со статьёй, в которой предложил выделить **«порфиновый»** тип месторождений урана (по аналогии с меднопорфировыми месторождениями), как его ресурсной базы в будущем.

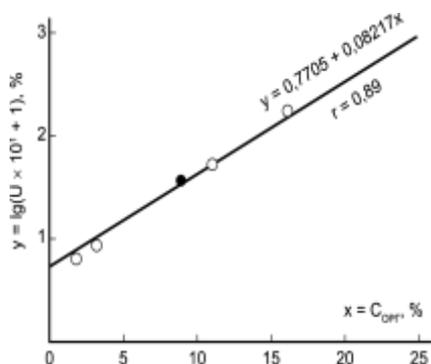
Интрузивные и интрузивоподобные образования гранитоиды ((граниты высокой теплогенерации по П.Симпсону, Дж.Планту, 1988) мощный ресурсный источник U,Th,TR.



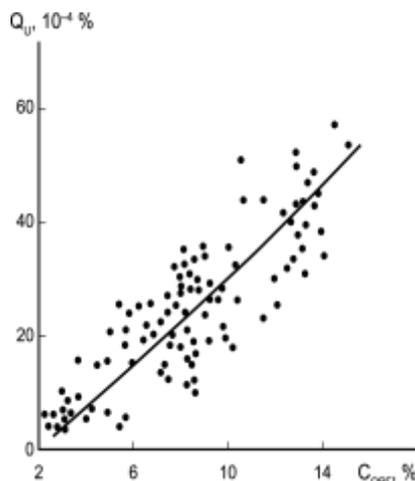
Учебный курс: «Месторождения РАЭ»

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАНОВЫЕ РЕСУРСЫ В УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОДАХ

Зависимость содержания U от содержания C орг



Квасцовые сланцы Швеции, чёрные сланцы Чаттануга, Канзаса и Аллигейни (по В.М. Гавшину и др., 1983 со ссылкой на Т. Бейтса и Э. Страла)



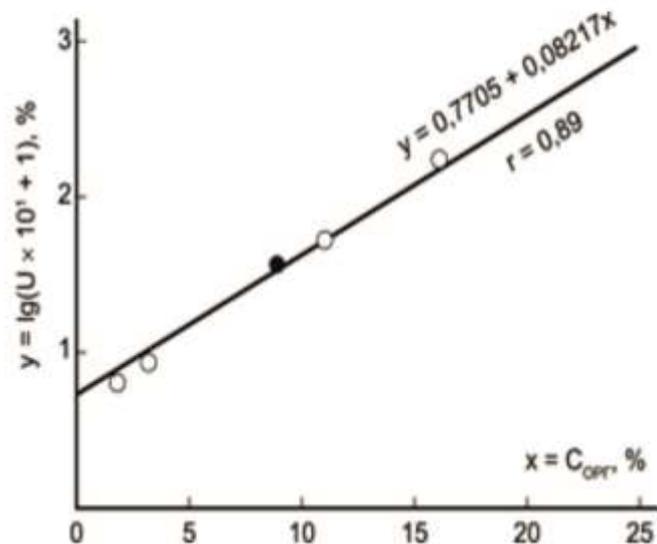
Баженовская свита Западной Сибири (по В.В. Хабарову и др., 1980)



Зачастую, в практике, породы, обогащённые УВ, независимо от степени их метаморфизма называют «чёрными сланцами».

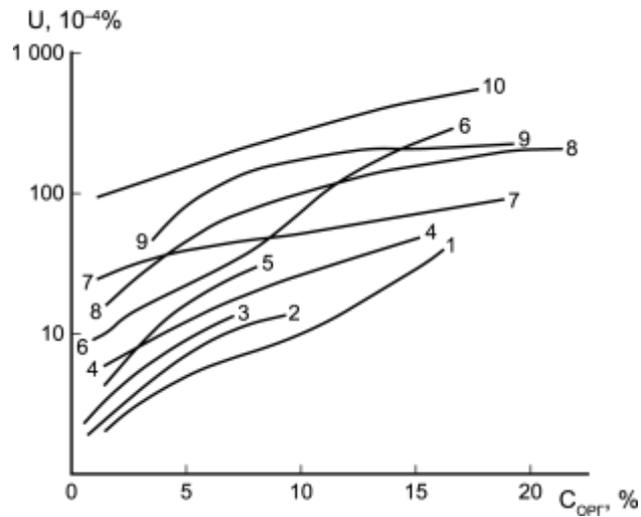
Для этих пород чрезвычайно характерна геохимическая специализация. Они, практически повсеместно, имеют повышенные, вплоть до промышленно значимых или близких к ним концентраций U, V, P, Mo, Cu, Au, металлов платиновой группы элементов (PGE) и др. Природа рудоносности «чёрных сланцев», особенно благороднометальная, широко обсуждается .

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД



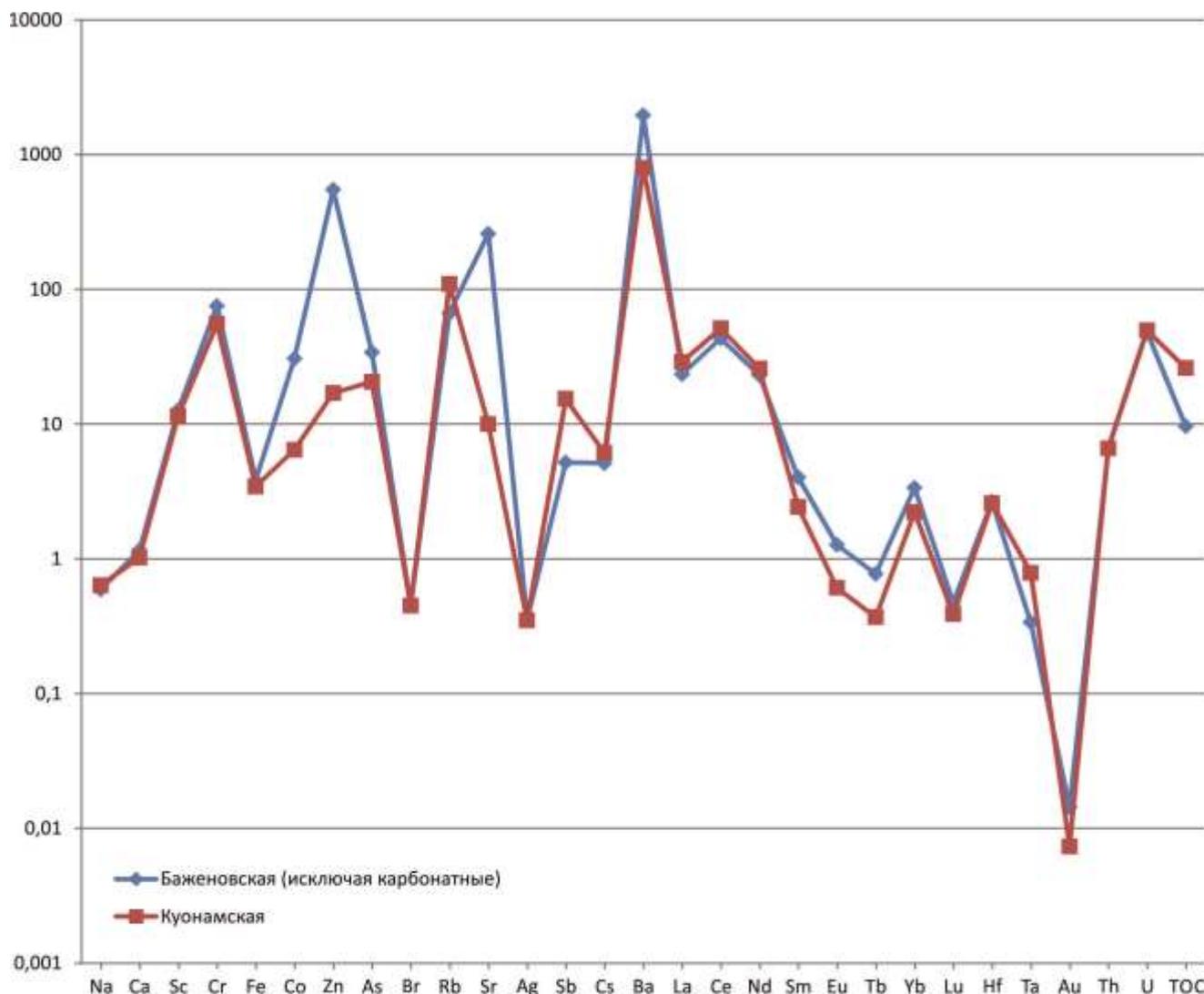
по Т. Бейтсу и Э. Строллу, 1959

- Чрезвычайно высокое содержание **ОВ**
- Обогащенность **P, U, Mo, V, As, Zn, Cu, Ni, Au, Pd** и др.
- Ресурсы **U** и ряда других элементов колоссальны



1-9 – отложения: 1 – верхнедевонские, 2 – нижнекембрийские, 3 – эоценовые, 4 – верхнеюрские, 5 – верхнерифейские, 6 – ордовикские, 7 – верхнедевонские (чаттанугские), 8 – палеогеновые, 9 – кембрийские; 10 – сланцы.

От архея до голоцена периодически накапливались весьма специфические осадки, в которых концентрация планктоногенного органического вещества (ОВ) нередко возрастала до 20-50% (в среднем 6%), а урана – до 2-3×10⁻²% (в среднем 8×10⁻³%).



	Баженовская (без учета карбонатных; 117 образцов), г/т	Куонамская (1 образец - среднее по трем измерениям), г/т
Na, %	0,59	0,63
Ca, %	1,15	1,02
Sc	12,66	11,49
Cr	75,25	55,57
Fe, %	3,8	3,44
Co	30,56	6,44
Zn	547,53	16,97
As	34,01	20,57
Br	<0,9	<0,9
Rb	66,48	109,63
Sr	258,11	10
Ag	<0,7	<0,7
Sb	5,19	15,4
Cs	5,13	6,13
Ba	1955,71	797,33
La	23,41	28,89
Ce	43,27	51,29
Nd	23,01	25,83
Sm	4,02	2,43
Eu	1,27	0,61
Tb	0,77	0,37
Yb	3,37	2,22
Lu	0,47	0,39
Hf	2,66	2,58
Ta	0,34	0,79
Au, мг/т	14,34	7,33
Th	6,53	6,6
U	48,39	49,53
TOC, %	9,64	26,01

Диаграмма сравнения содержаний химических элементов в породах баженовской свиты (J₃-K₁) и куонамской свиты (Є₁₋₂)

Главные планктоногенные эпохи

(по С.Г. Неручеву, 1982)

1. Граница архея и проторозоя (2,7 млрд.лет). Сланцы Соуден (Сев. Америка), нижние горизонты Витватерсранда) и др.
2. Граница среднего-верхнего проторозоя (1,5-1,6 млрд.лет). Ураноносные сланцы Эхо (Сев. Америка) и др.
3. Граница нижнего-среднего рифея (1,2-1,3 млрд.лет). Ураноносные сланцы штата Мичиган; Австралии и др.
4. Вблизи границы позднего-верхнего рифея (1000 млрд.лет). Сланцы Насач (Сев. Америка) и др.
5. Граница рифея-нижнего кембрия (650-550 млн. лет). Сланцы Южного Китая, Австралии, Казахстана и др.
6. Граница нижнего и среднего кембрия (...). Сланцы Ньюфаундла, Кигизии и южного Казахстана и др.)
7. Граница нижнего кембрия-ордовика (...). Диктионемовые сланцы Скандинавии, Прибалтики, Тянь-Шаня и др.
8. Верхнедевонские сланцы. Сев. Америка (ураноносные сланцы Чаттануга) и др.
9. Верхнекаменноугольные сланцы (пенсильванские и др. в США и др.)
10. Верхнепермские сланцы с фосфоритами (Скалистые Горы США, Европа и др.).
11. Граница среднего-нижнего триаса (сланцы Австрии, Норвегии и др.).
12. Граница нижней и средней юры (тоарские сланцы Европы и др.).
13. Верхняя юра-нижний мел (баженовская свита Западной Сибири и др.).
14. Позднемеловая эпоха.
15. Палеоген-неогеновые сланцы (Африка, Сев. Америка и др.)
16. Граница олигоцена и миоцен.
17. Граница рис-вюрма и вюрма (сапропелевые илы Средиземноморья и др.).
18. Голоценовые сапропелевые илы Чёрного и Балтийского морей и др.

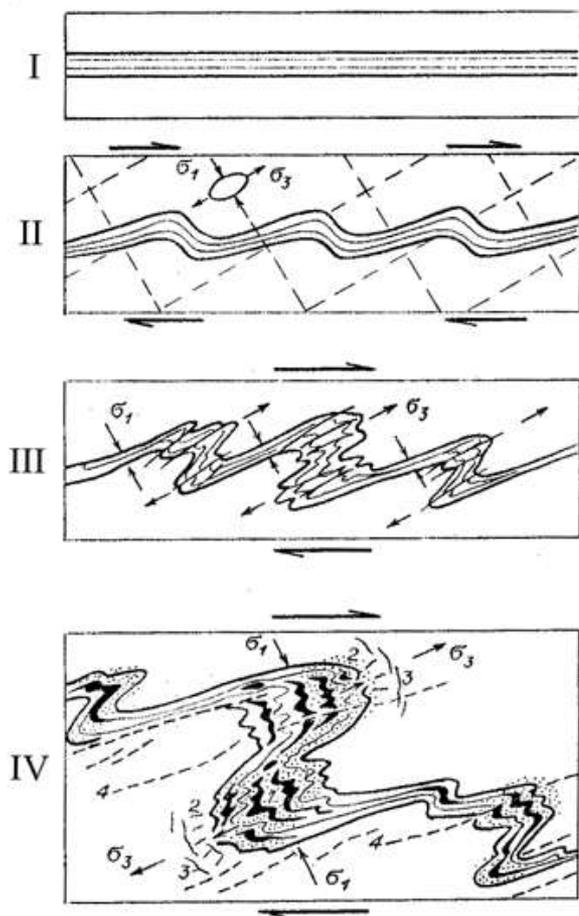
Осадочная и гидротермально-осадочная гипотеза циклического накопления планктоногенного органического вещества и урановых руд в земной коре наиболее интересно изложена С.Г. Неручевым, который выделяет следующие **6** наиболее глобальные планктоногенные и радиоактивные эпохи в фанерозое: *верхний венд-нижний кембрий, верхний девон-нижний карбон, верхняя пермь, верхняя юра-нижний мел, верхний мел-нижний палеоцен, средний и верхний эоцен.*

Как отмечают А.А. Сидоров и др. (2000) все толщи с сингенетичным или эпигенетическим углеродистым веществом (УВ) и оруденением обычно сопровождаются перераспределением УВ при прогрессивном и регрессивном метаморфизме пород, что препятствует установлению корреляционных связей УВ с рудными элементами и решению вопроса о их происхождении.

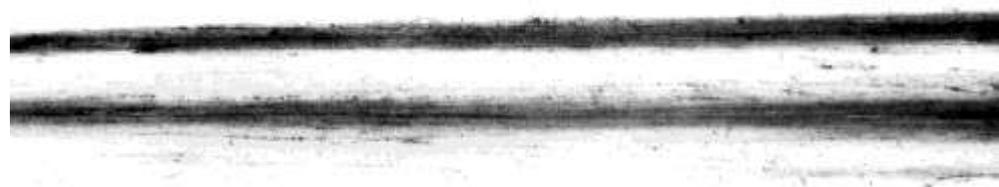
Уран в чёрных сланцах

(по С.М.Жмодику и др.,2014)

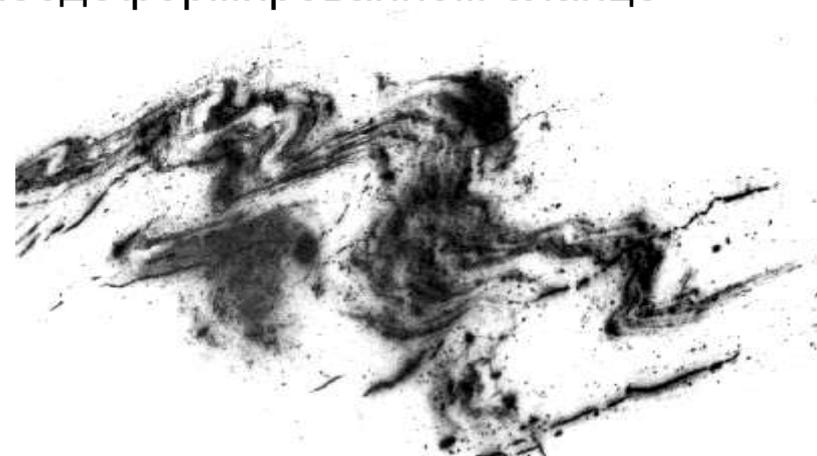
Метаморфизм сланцев



Альфа-авторадиограммы



параллельно-слоистое распределение урана в углеродисто-кремнистом слабодеформированном сланце



слои, содержащие повышенные концентрации урана смяты в складки

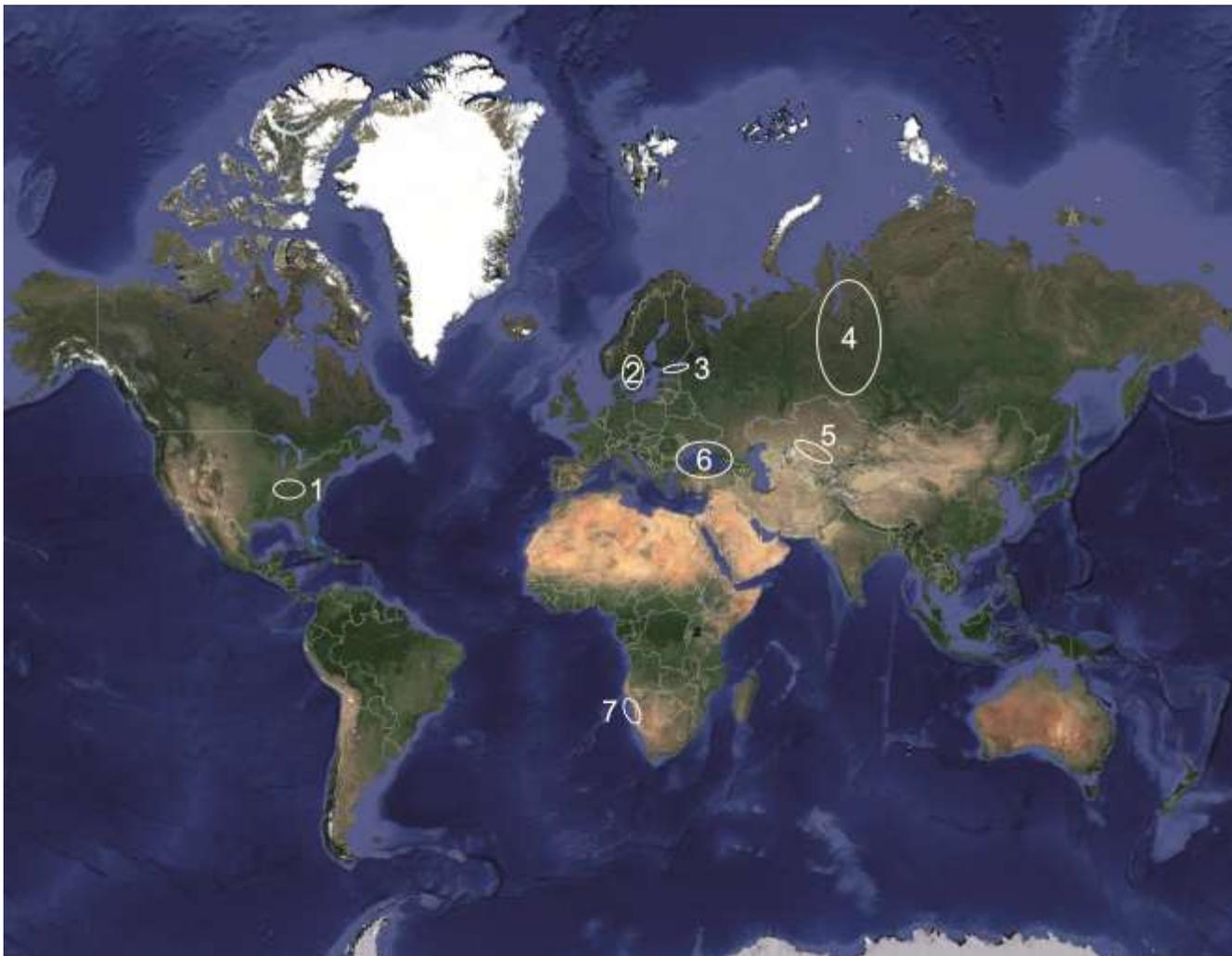
Отмечается совпадение циклических эпох интенсивного накопления урана, фосфора и планктоногенного органического вещества с периодом усиления рифтогенеза, для которого характерно интенсивное развитие эндогенных и экзогенных источников U, V, P, Ni, Cu, Au, Ag, PGE и других элементов. Это подтверждается данными о приуроченности крупнейших золотых, золото-урановых и медно-уран-золото-серебряных месторождений к рифтогенным структурам.

Накопление углеводородов в терригенных и терригенно-карбонатных толщах связывается, как известно, с развитием планктоногенной биомассы, которая может «многократно превышать суммарную биомассу растений и животных вместе взятых» (Соколов Б.А., 1996). И эти «взрывы» планктоногенной биомассы обусловлены мощным привнесением углеводородов, урана, фосфора и других, в том числе рудогенных, элементов в субмаринные осадки при рифтообразовании.

Урановорудные залежи имеют мощность от десятков сантиметров до первых метров и занимают площадь в десятки, сотни и тысячи квадратных километров. Содержания U_3O_8 колеблются от менее 0,001% до более 0,05%, но благодаря огромным объемам черных сланцев ресурсы урана в них весьма значительны и они должны рассматриваться как ресурсы будущего.

Считаем целесообразным рассмотреть урановые месторождения в «чёрных сланцах» в двух генетических типах месторождений: экзогенных осадочных биогенных месторождений и месторождений метаморфогенной серии (собственно говоря, речь идёт о месторождения в метаморфизованных породах типа углеродисто-кремнистых сланцев), хотя исходные механизмы накопления урана у них были идентичными.

Схематическая карта расположения основных ураноносных черносланцевых формации мира (картографическая основа взята с <https://maps.google.ru/>).



1 – Чаттануга, США; 2 – Швеция; 3 – Прибалтика, Россия и Эстония; 4 – Западная Сибирь, Россия;
5 – Каратау, Казахстан; 6 – бассейн Черного моря; 7 – залив Уолфиш-Бей, Намибия

Распространение углеродисто-кремнистых сланцев на территории Казахстана и Ср. Азии

(составил Карпенко А.Ю., 2010 г., по материалам С.Г. Анкиновича и Е.А. Анкинович (1978), К.Е. Калмурзаева (1981)):

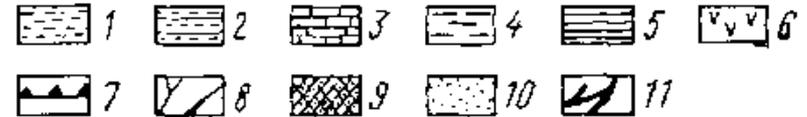
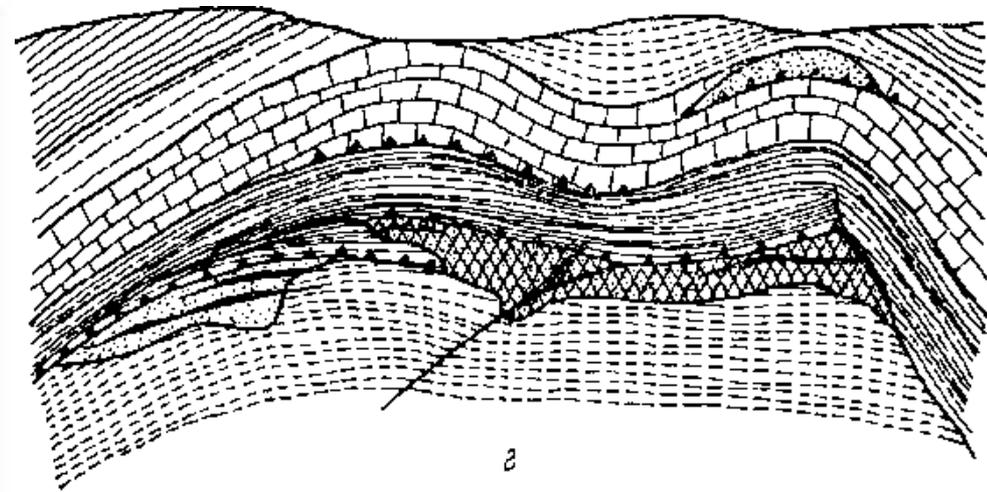
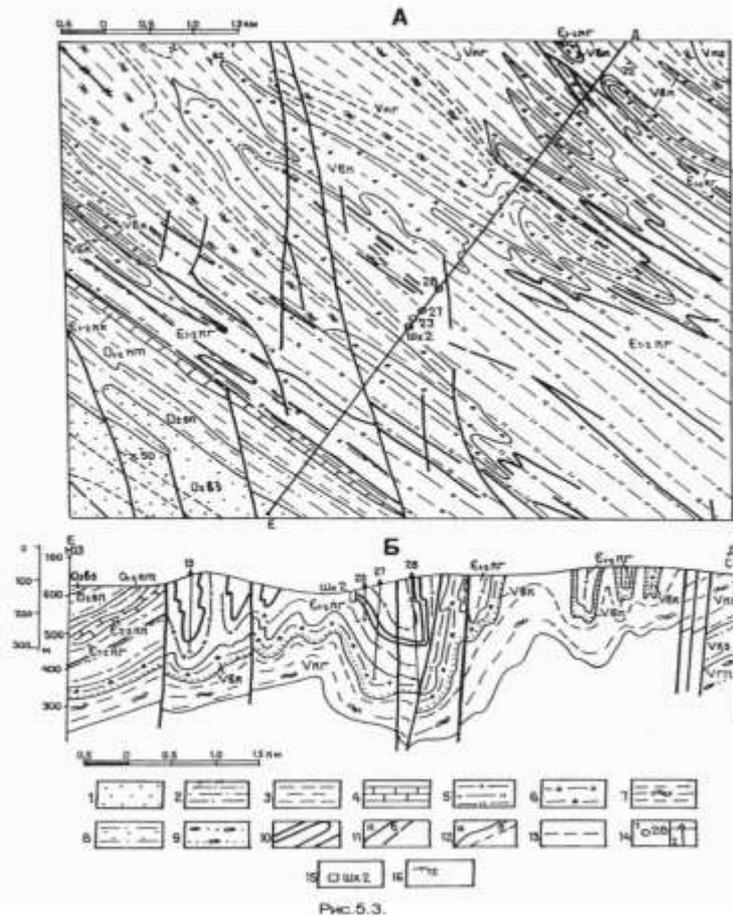


1- хр.С 3 Каратау (+ м-ния **Курумсак** (Крм), **Баласаускандык**(Блс)), 2- Джебаглы, 3 - Кок-Ийрим-Тоо, 4- Джетим-Тоо, 5 - Сары-Джаз, 6 - Кендыктас, 7 - Зап.Прибалхашье (Домбралы); 8 - Улутау, 9 - Ишимская излучина, 10 - Джетыгара, 11 - Аягуз; 12 - Джунгарский Алатау; 13 - Карагур; 14 - Кыргызата, Наукат; 15 - Кара-Чагыр, Ходжа-Рушнай-Мазар, Вуадиль; 16 - Кара-Танги, Туль; 17 - Чарку, Сарытаг, Даргун-Маргун; 18 - Фандарья; 19 - Сев.Нуратау; 20 - горы Ауминзатау (+ м-ния **Косчека, Джантуар**), Ю. Тамдытау; 21- Ю.Букантау; *Т-М - Тюя-Муюн.

Особенности месторождений, локализуемых в УКС

Месторождение Курумсак

Геологическое строение урановых месторождений в углисто-кремнистых сланцах (по Б. Л. Рыбалову, 1965)

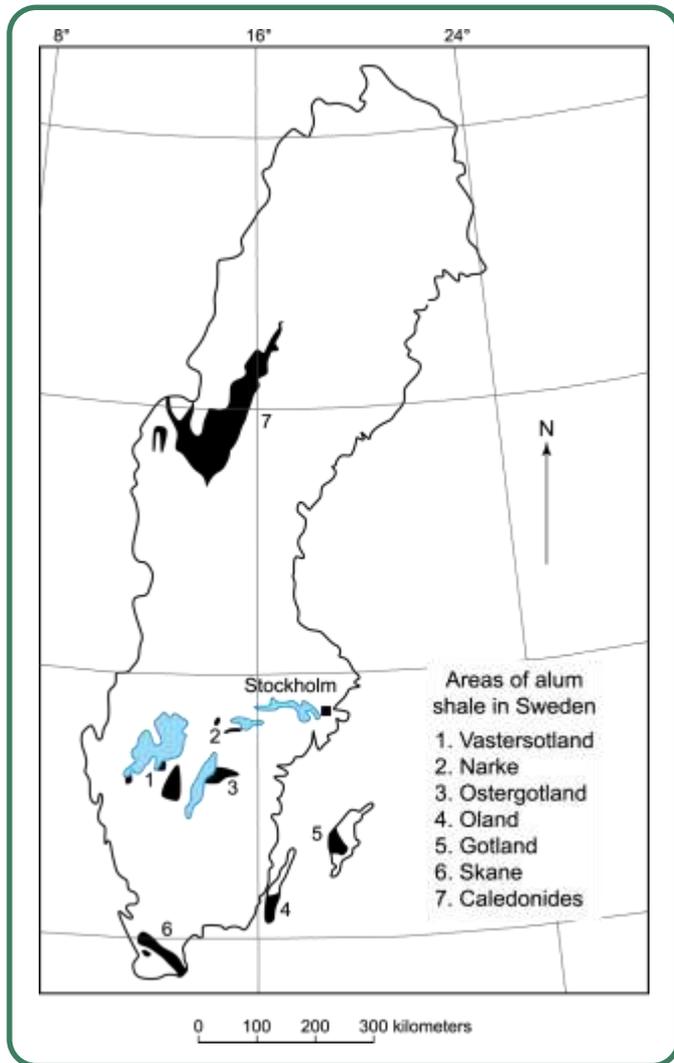


а — секущие рудные штокверки в углисто-кремнистых сланцах; б — жилообразные рудные столбы внутри секущего рудного штокверка; в — согласное залегание тонковкрапленных руд в слюдисто-кремнистых сланцах; г — согласное залегание штокверковых и тонковкрапленных руд; 1 — слюдисто-глинистые сланцы; 2 — углисто-кремнистые сланцы; 3 — известняки, доломиты; 4 — углисто-глинистые сланцы; 5 — известковистые и глинистые сланцы; 6 — диабазовые порфириты; 7 — межпластовые надвиги; 8 — секущие разломы и трещины; 9 — рудные залежи с прожилкововкрапленной текстурой; 10 — рудные залежи с тонковкрапленной текстурой; 11 — жилообразные рудные столбы

Ураноносные «квасцовые» сланцы Швеции и Прибалтийского региона



Районы развития «чёрных» кварцевых сланцев кембрия в Швеции



В геологической литературе давно описаны ураноносные кварцевые сланцы

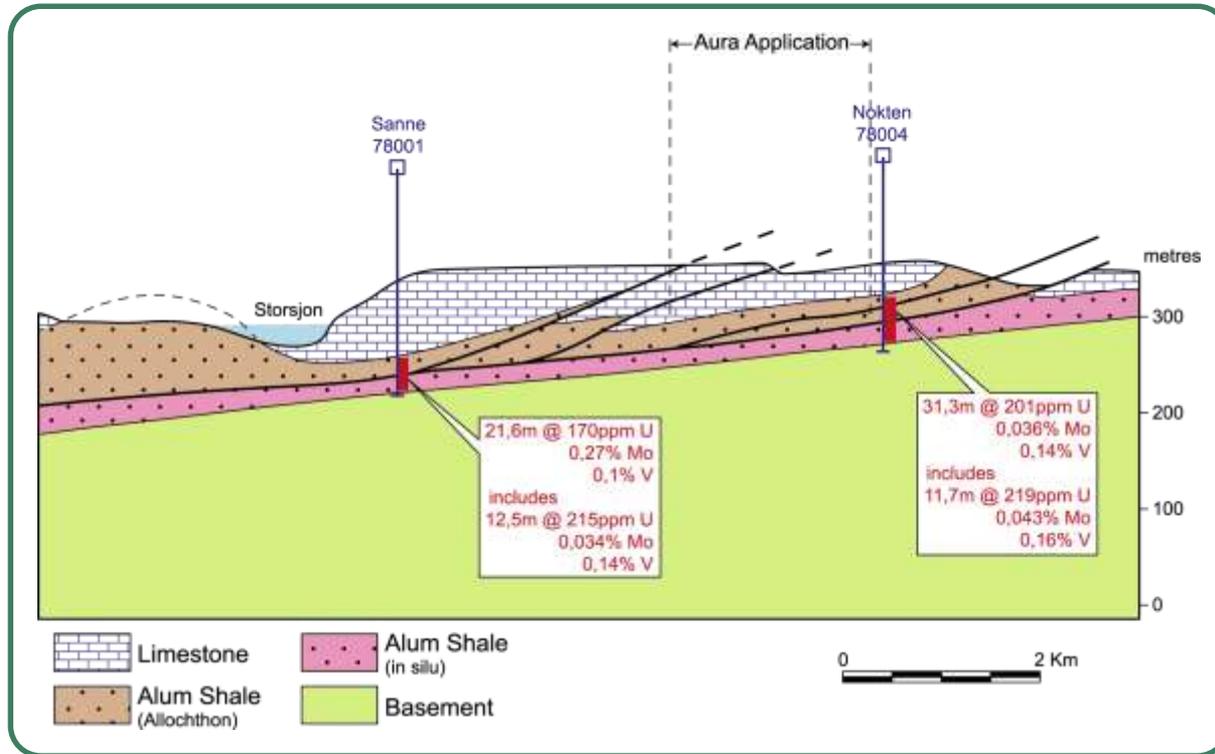
в Швеции, больше известные как «кольм» (зольный каустобиолит), пригодные для сжигания, с содержанием урана в образующемся зольном остатке до 1,8% («Геологический словарь», 1955) и даже до 2,5 и более % (Константинов М.М. и др., 1960).

Известно, что в 30-е годы XX столетия Германия покупала и вывозила золы сжигания этих сланцев для реализации своего ядерного проекта.

Установлено, что в месторождении черных сланцев Ранстад среднее содержание U_3O_8 составляет 0,035%, а потенциально извлекаемые запасы оцениваются в 300 тыс.т. U_3O_8 .

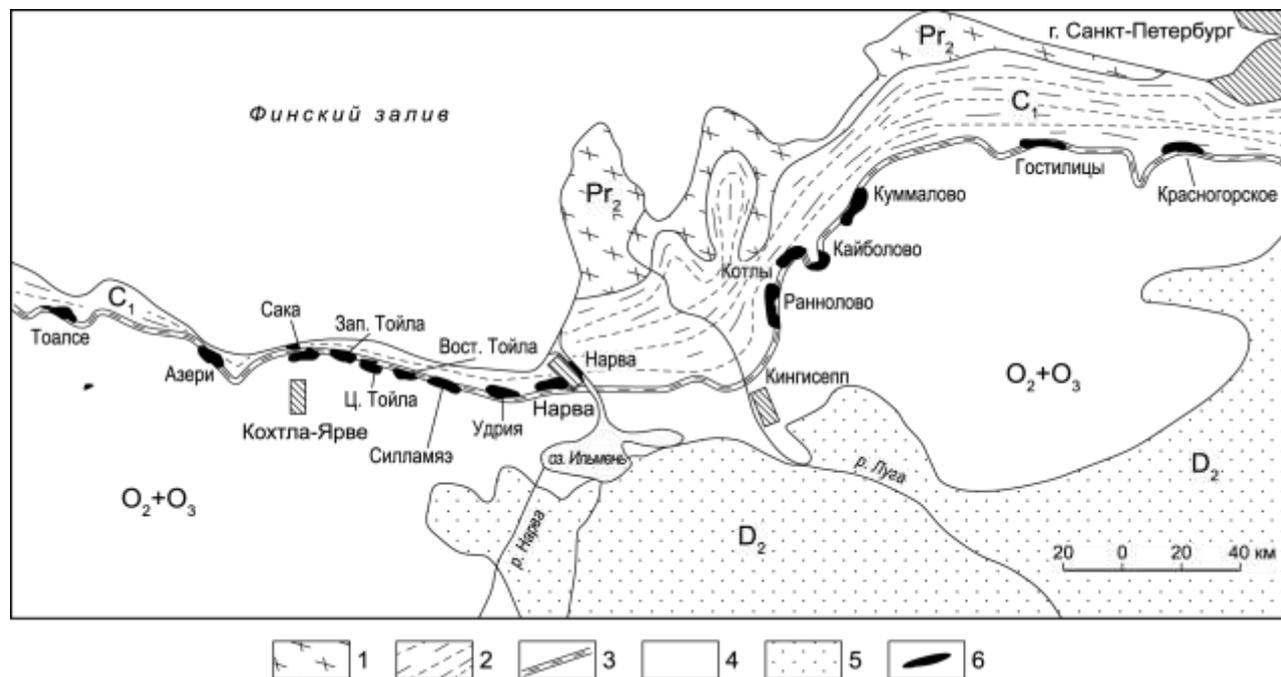
Геологический разрез «квасцовых сланцев» одного из месторождений Швеции

(по материалам М. Суней со ссылкой на геологическую службу Швеции)



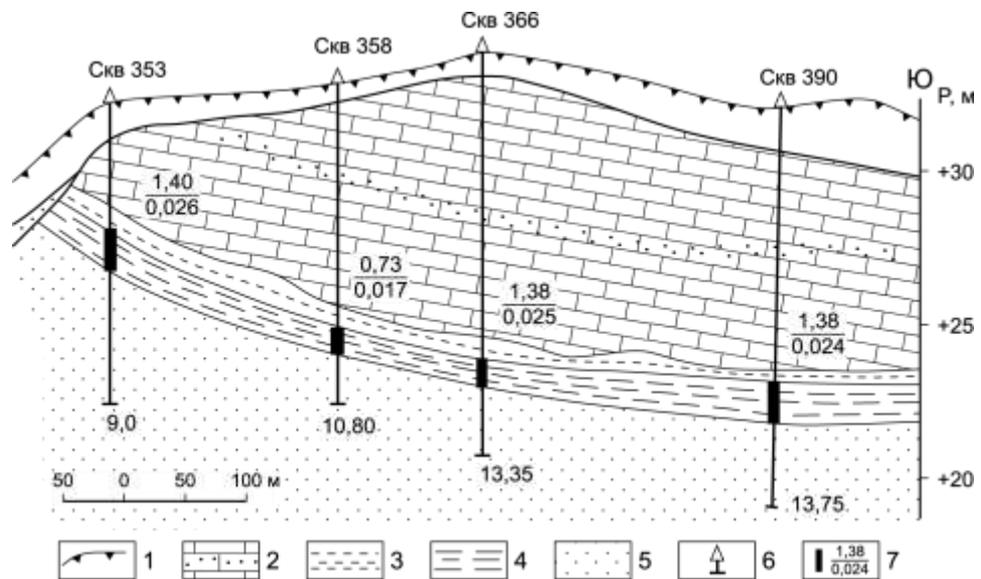
Распространение ураноносных кварцевых сланцев в Прибалтике (Эстония и Россия)

(по Е.А. Пятову, 2005)



Геологическая карта Прибалтийского бассейна диктионемовых сланцев с положением урановых месторождений (по данным Прибалтийской экспедиции)

1 – глины, алевролиты, конгломераты (Pr₂); 2 – глины, алевролиты, песчаники (C₁); 3 – диктионемовые сланцы (O₂₋₃); 4 – известняки, доломиты, мергели (O₂₋₃); 5 – песчаники, глины, доломиты (D₂); 6 – месторождения урана.



Месторождение Силламяэ. Геологический разрез по линии скв. №№ 353-390 (по данным Прибалтийской экспедиции)

1 – четвертичные отложения: пески, супеси; 2-5 – отложения ордовика: 2 – известняки с прослоями песчаных известняков, 3 – песчаники и глины с глауконитом, 4 – диктионемовые сланцы, 5 – оболочковые песчаники; 6 – разведочные скважины; 7 – параметры уранового оруденения: в числителе – мощность рудного пласта (м), в знаменателе – содержание урана (%).

Ураноносность чёрных аргиллитов баженовской свиты

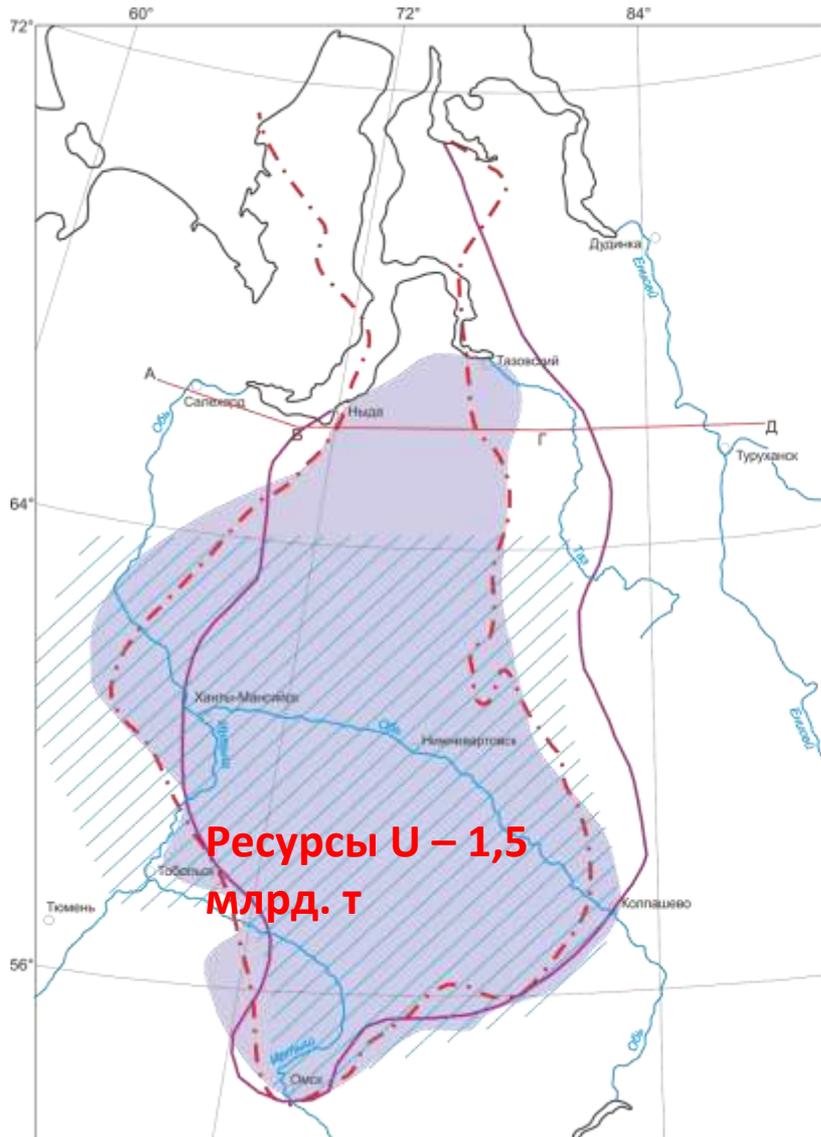
Пачка черных аргиллитов отличается повышенной радиоактивностью, обусловленной главным образом повышенным содержанием урана. Если отложения Западно-Сибирской плиты имеют радиоактивность по гамма-каротажу скважин порядка 4-10 мкр/час, а содержание урана в породах не превышает и 10-4%, то черные аргиллиты верхней юры характеризуются радиоактивностью до 30-100 мкр/час и содержанием урана до 0,007%.

Наибольшая радиоактивность по гамма-каротажу, соответственно наибольшие содержания урана приурочены к черным разностям пород, имеющим большую концентрацию органики.

подвижного урана в аргиллитах содержится всего около 2-5%; а остальной уран находится в труднорастворимой форме, связанной с органическим веществом и с фосфоритизированными остатками рыб.

Наиболее обогащённые ураном участки с содержанием 0,1-0,3%, соответствует рыбным остаткам (Плуман, 1971).

Распространение баженовской свиты



Границы распространения пород с повышенной радиоактивностью [по И.И. Плуману, 1971]



Граница области битуминозных пород [по Ю.В. Брадучану и др., 1986]



Граница распространения отложений баженовской свиты [по С.И. Филиной и др., 1984]



Граница распространения отложений баженовской свиты [по В.А. Конторовичу, 2002]

Впервые толща описана в 1957 г.

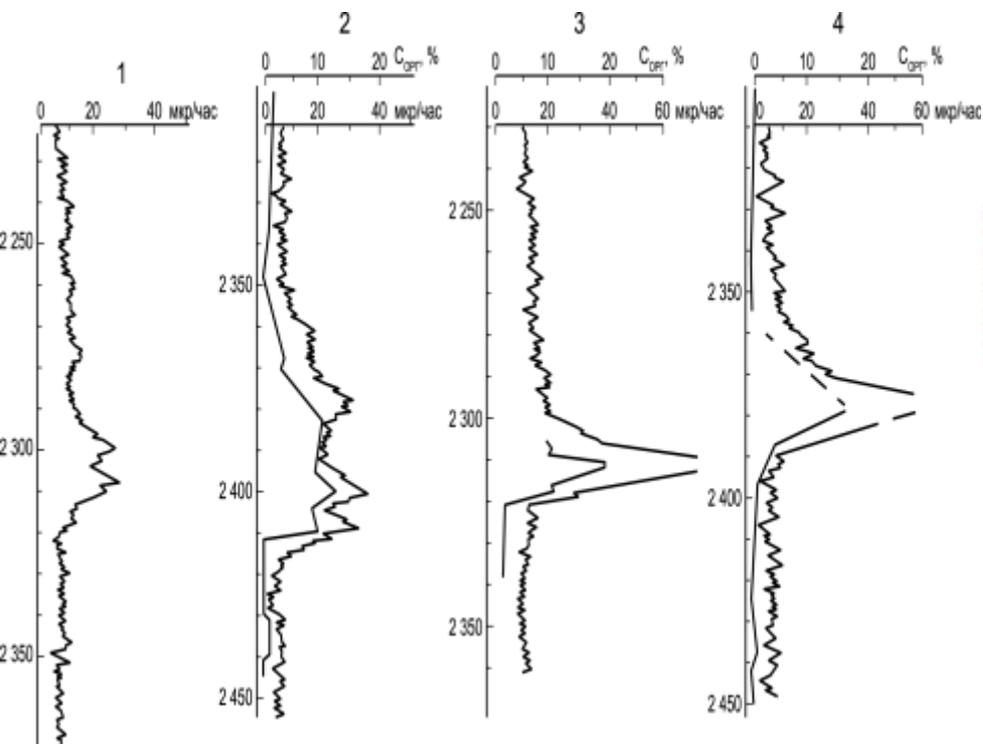
Н.П. Запиваловым.

Как самостоятельное литостратиграфическое подразделение выделено в 1959 г. **Ф.Г.**

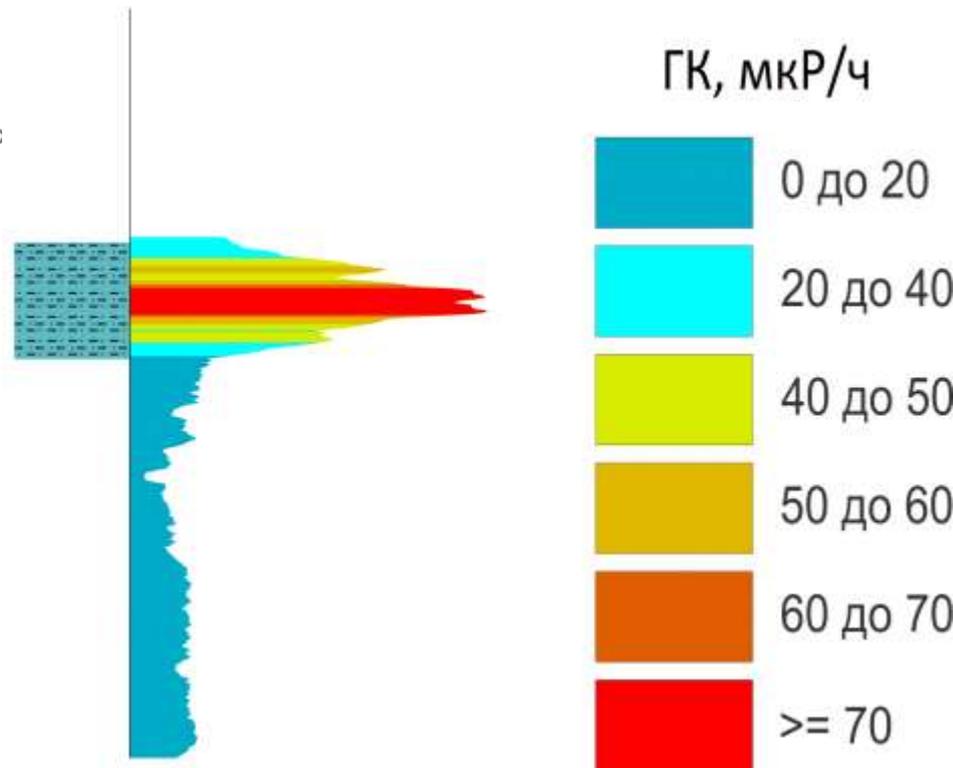
Гурари

Специфические параметры баженовской свиты

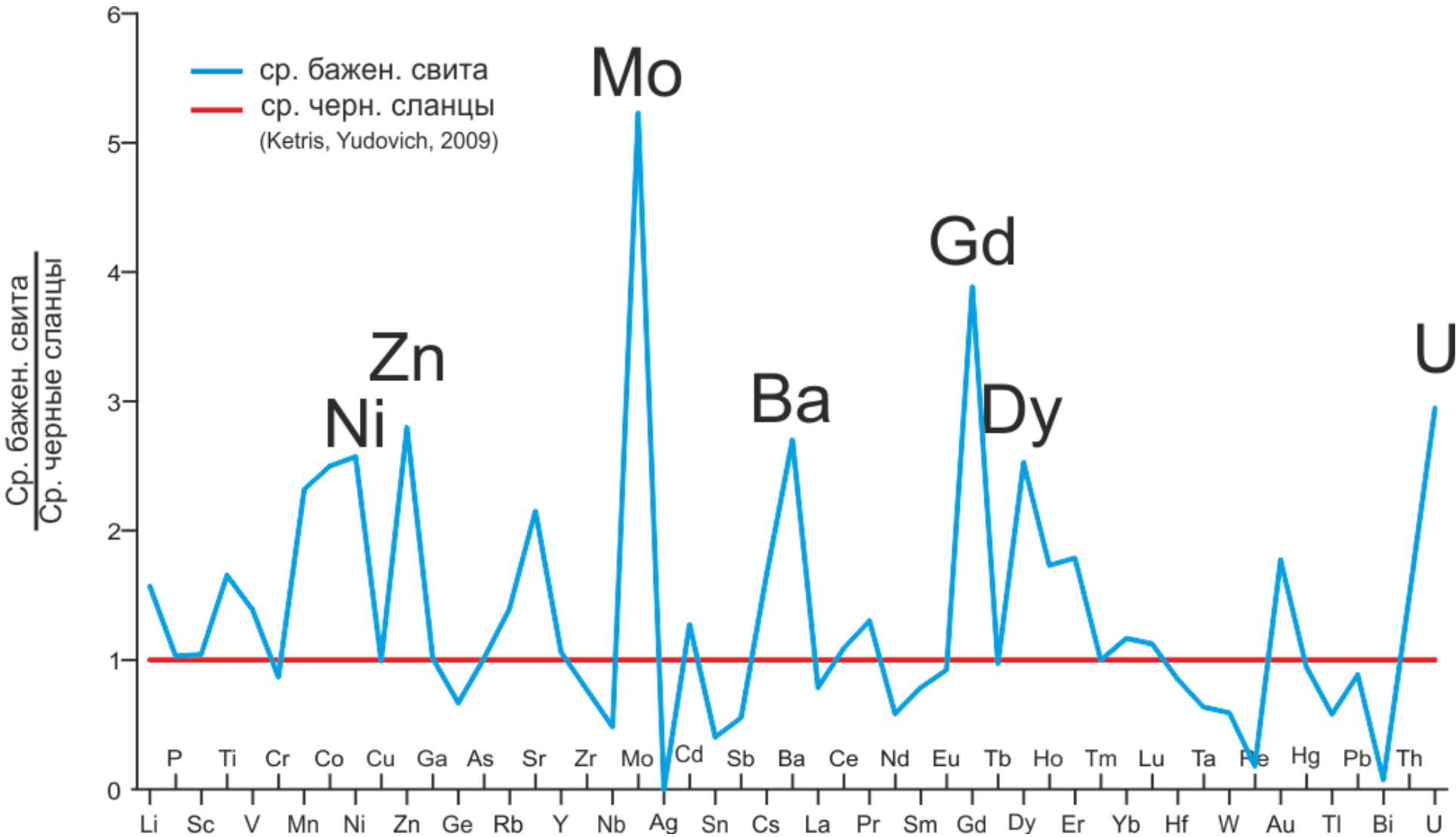
РАДИОАКТИВНОСТЬ ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ
СВИТЫ ПО ГАММА-КАРОТАЖУ И СОДЕРЖАНИЮ
углерода (по И.И.Плуману,1971)



Изменение МЭД по мощности
скважины

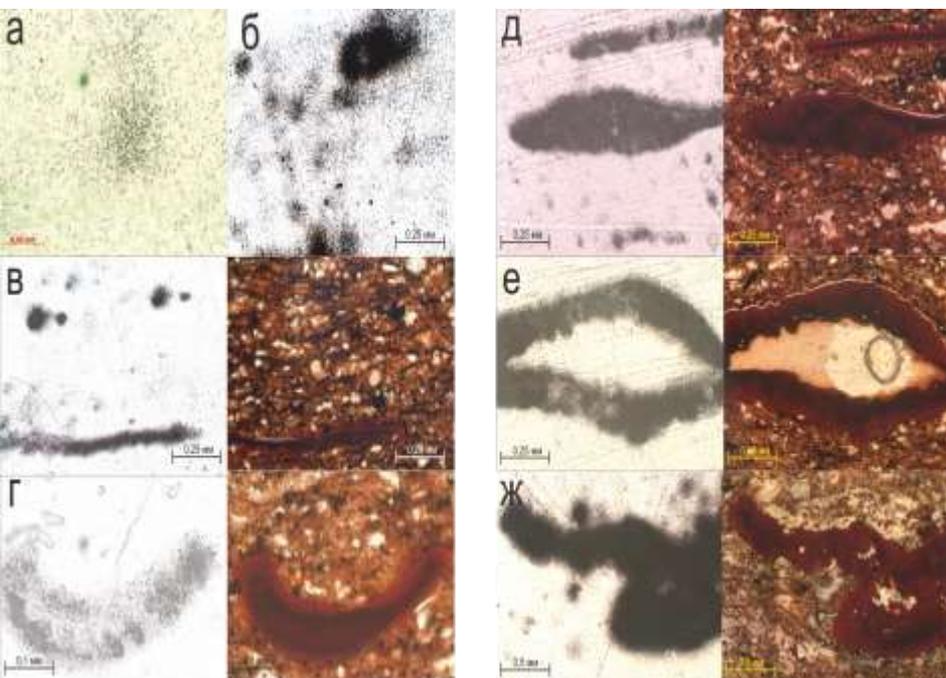


КОЭФФИЦИЕНТЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ

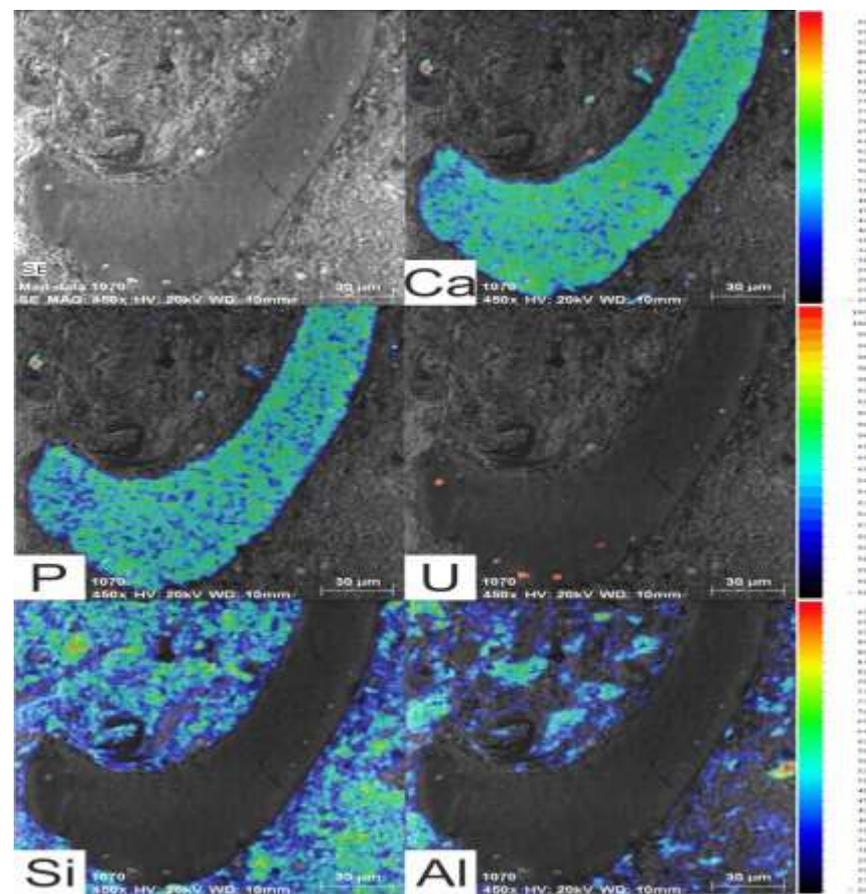


Позиция урана в породах баженовской свиты

ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА ПО
ДАНЫМ ОСКОЛОЧНОЙ (F) РАДИОГРАФИИ



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ урановой минерализации
В ФОСФАТНО-КАЛЬЦИЕВОЙ матрице



Ураноносные илы (современный аналог баженовской толщи)

Многие крупные водные бассейны, характеризующиеся анаэробными условиями, содержат сравнительно маломощные залежи современных илов, в которых содержания урана на порядок или более превышают среднее для морских осадков. Эти илы имеют мощность от 1 до 15 м и состоят из остатков планктона и глин. Среднее содержание урана около 25 ppm, и большая часть его, по-видимому, связана с планктонным материалом (кокколитами и диатомеями). Подобно черным сланцам, ураноносные илы обладают очень крупными ресурсами урана, возможно в 10-20 млн.т. U_3O_8 .

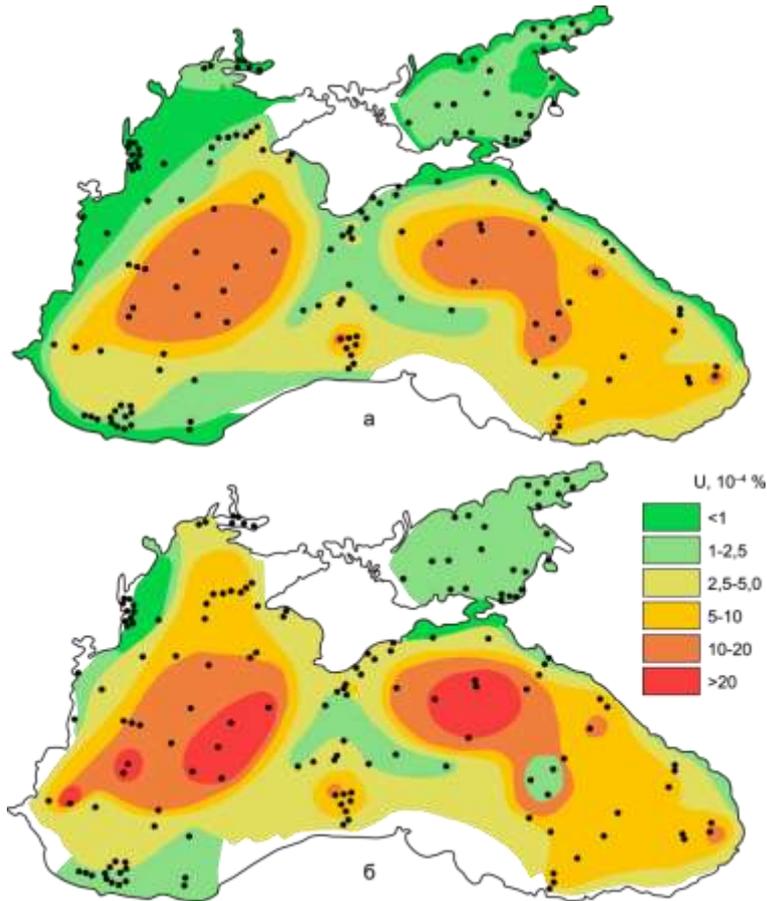
На сегодня известно два наиболее крупных месторождения ураноносных илов – это илы **Черного моря** и илы залива **Уолфиш** в Южной Африке. Подобные залежи известны в Каспийском и Балтийском морях и в некоторых фиордах Норвегии (Р.Дж. Янг, 1988).

Проблемы их освоения чрезвычайно сложны, но в печати были сообщения о добыче урана из илов в **турецкой части** Чёрного моря.

Илы Чёрного моря

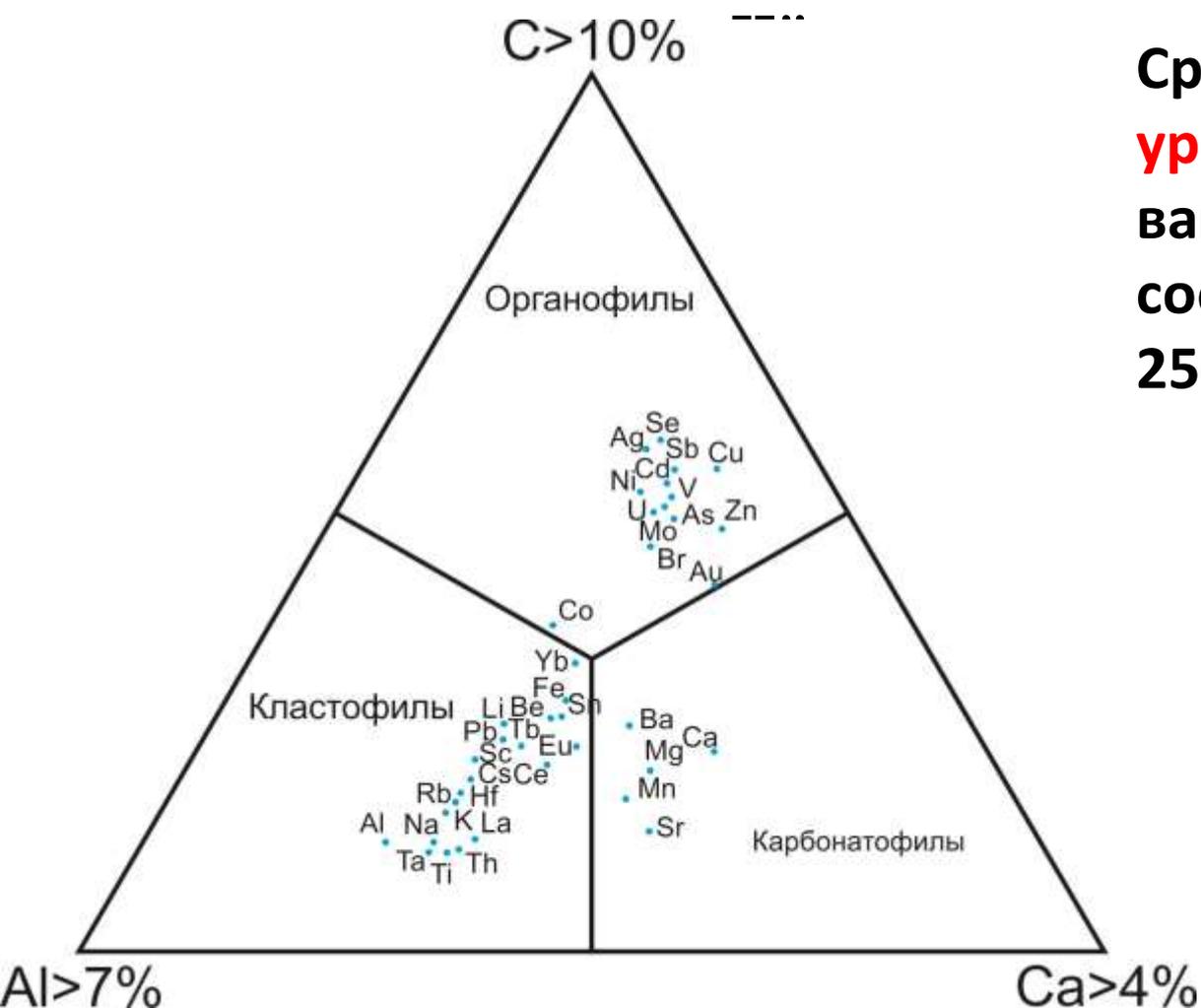
Первые определения урана в черноморских осадках были выполнены И.Е. Стариком с сотрудниками в 60-е годы XX столетия, установившими, что глубоководные илы обогащены ураном. В глубоководных глинистых илах концентрация урана повышается в среднем до $3,4 \cdot 10^{-4}$ а в глинистых слабоизвестковых, глинисто-известковых, известково-глинистых илах – от $6,9 \cdot 10^{-4}$ до $15,3 \cdot 10^{-4}$ %. В бескарбонатном веществе глубоководных черноморских осадков концентрация урана значительно выше и достигает в отдельных пробах $(28-58) \cdot 10^{-4}$ %.

Наиболее характерной чертой распределения урана в поверхностном слое черноморских осадков (рис...) является наличие двух обширных зон повышенных концентраций (выше $5 \cdot 10^{-4}$ %) – восточной и западной. В пределах каждой из них выделяются площади с концентрацией более 10



Распределение урана в осадках Черного и Азовского морей (а); б – то же в пересчете на бескарбонатное вещество) (по Г.Н. Батурину, 1975).

Ассоциации химических элементов в отложениях



Средние содержания **урана**, тория, молибдена, ванадия, соответственно составляют: **18**, 7,0; 110 и 256 г/т.

(По Гавшину В.М. и др., 1996)

Илы залива Уолфиш в Южной Африке

Район Уолфиш-бей (Побережье Намибии) включает площадь около 40 тыс.км² на побережье Намибии между 19° и 25°30' ю.ш. Глубина моря здесь колеблется от 40 до 160 м. Проведенные исследования выявили четыре «бассейна» осадконакопления, наиболее крупный из которых лежит между 21 и 24° ю.ш. В пределах этого бассейна диатомовые илы покрывают площадь примерно 19 тыс.км², достигая максимальной мощности 15 м. **Содержание урана колеблется от 7 до 70 ppm (в среднем 21 ppm).**

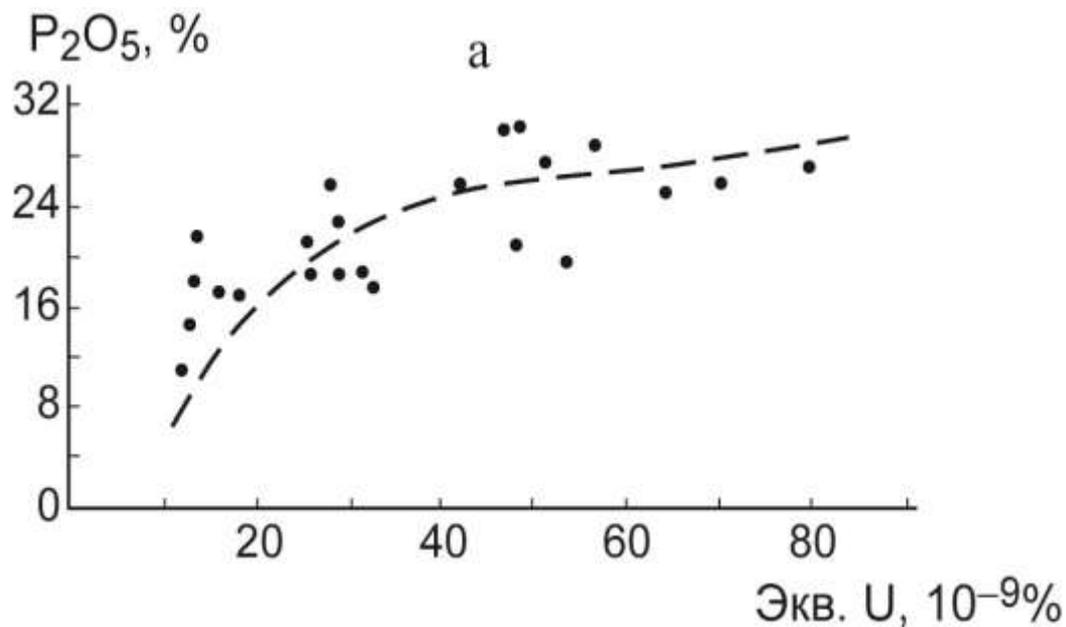
Из других металлов присутствуют молибден (среднее содержание 112 ppm) и ванадий (112 ppm). Из расчета среднего содержания 21 ppm диатомовые илы на площади 19 тыс.км² содержат **4-5 млн. т U₃O₈.**



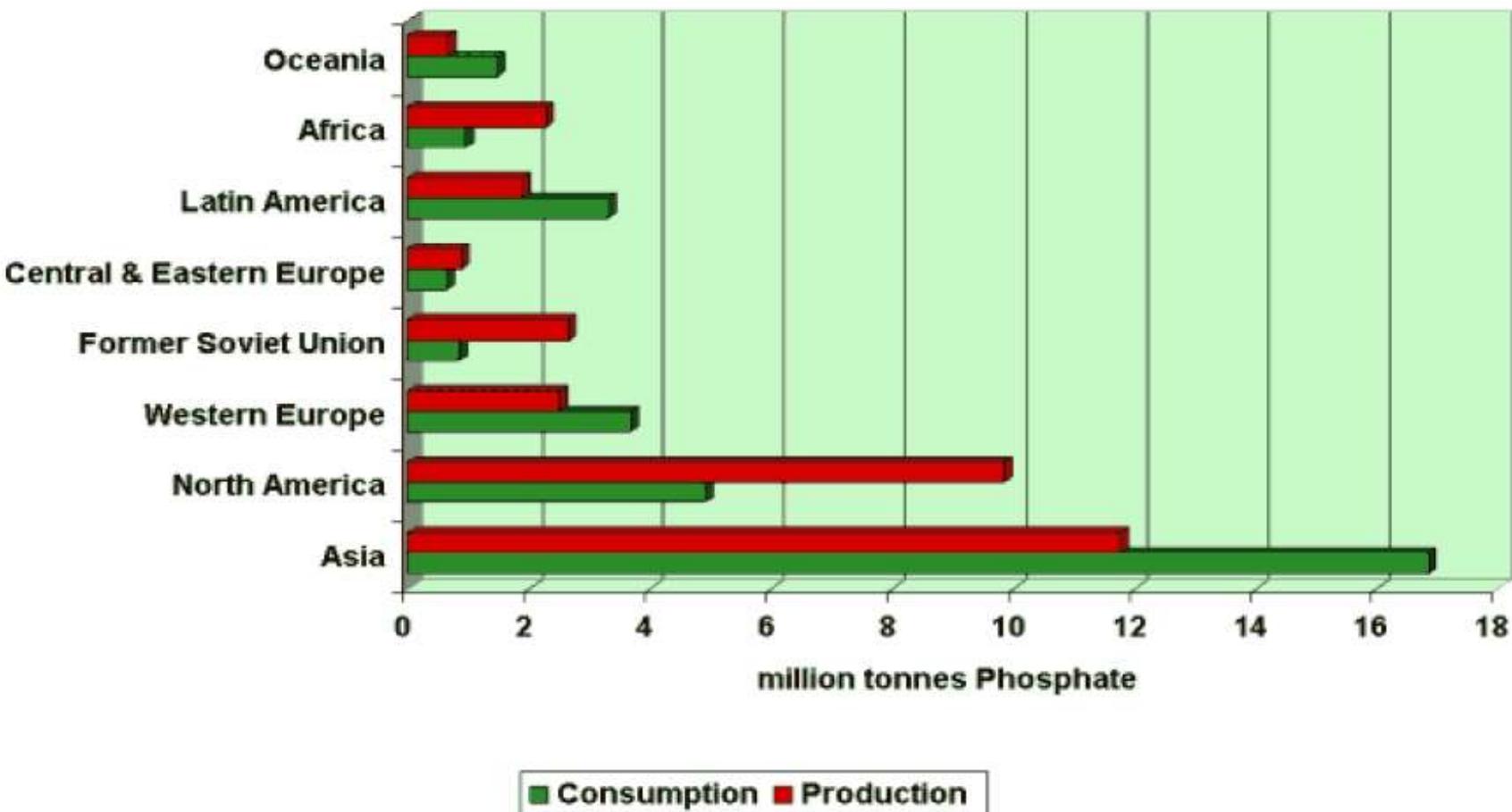
Учебный курс: «Месторождения РАЭ»

УРАНОВЫЕ РЕСУРСЫ В ФОСФОРИТАХ

Зависимость содержания U от
содержания P₂O₅:



Добыча и потребление фосфатов в мире.



http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/nfcms_rawmaterials-UnConv-presentations.html

Большую часть мировых ресурсов урана составляют морские фосфориты со сравнительно однообразным содержанием урана, колеблющимся в пределах 60–130 г/т.

Фосфатная продукция из главных промышленных месторождений фосфоритов центральной и южной Флориды (США), Марокко, штатов Айдахо и Юта (США), Западной Сахары, Мексики, Иордании, восточной Флориды (США), Перу, Ирака постоянно имеют однородные содержания урана около 100–120 г/т.

Р. Янг (1988), со ссылкой на Дё Вото и Стивене, приводит данные о том, что в 292 727 млн.т. подсчитанных запасов пригодного к извлечению фосфата в западных странах содержится 29,5 млн.т. урана. Основная масса запасов фосфатов (223 342 млн.т) находится в США, где ресурсы доступного для извлечения урана составляют 22,5 млн.т. Из других стран значительными запасами урана в фосфоритах располагают: Марокко – 4,95 млн.т., Западная Сахара – 0,56 млн.т., Мексика – 0,42 млн.т. и Иордания – 0,36 млн.т.



Учебный курс: «Месторождения РАЭ»

УРАНОВЫЕ РЕСУРСЫ В ВОДАХ (ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ)

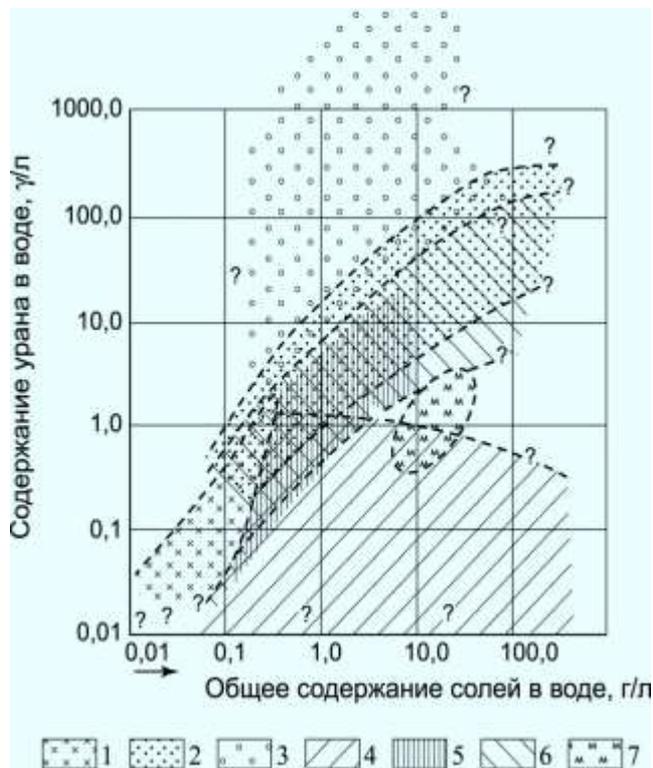


Ориентировочные сведения о добыче минерального сырья из природных минерализованных вод (по Бондаренко С.С. и др., 1986 г.)

Сырье	Σ Добычи	Из, H₂O, %
Поваренная соль (NaCl)	$2,2 \cdot 10^8$	30-35
Калийные соли	$2,6 \cdot 10^7$	5-10
Сода	$3,5 \cdot 10^7$	5-10
Сульфат натрия	$4,6 \cdot 10^6$	20-30
Хлорид кальция	$2,7 \cdot 10^6$	20-25
Бор (B)	$1 \cdot 10^6$	20-30
Бром (Br)	$3,9 \cdot 10^5$	30-95
Магний (Mg)	$1,1 \cdot 10^5$	25
Литий (Li)	$5,5 \cdot 10^4$	15-20
Йод (I)	$1,3 \cdot 10^4$	80-85
Железо (Fe)	$4,1 \cdot 10^6$	+
Медь (Cu)	$6 \cdot 10^6$	++
Цинк (Zn)	$5 \cdot 10^6$	++
Свинец (Pb)	$2,3 \cdot 10^6$	+
Уран (U)	$3,8 \cdot 10^4$	++
Серебро (Ag)	$1 \cdot 10^4$	++

+ - имеется технологи; ++ - разработан проект

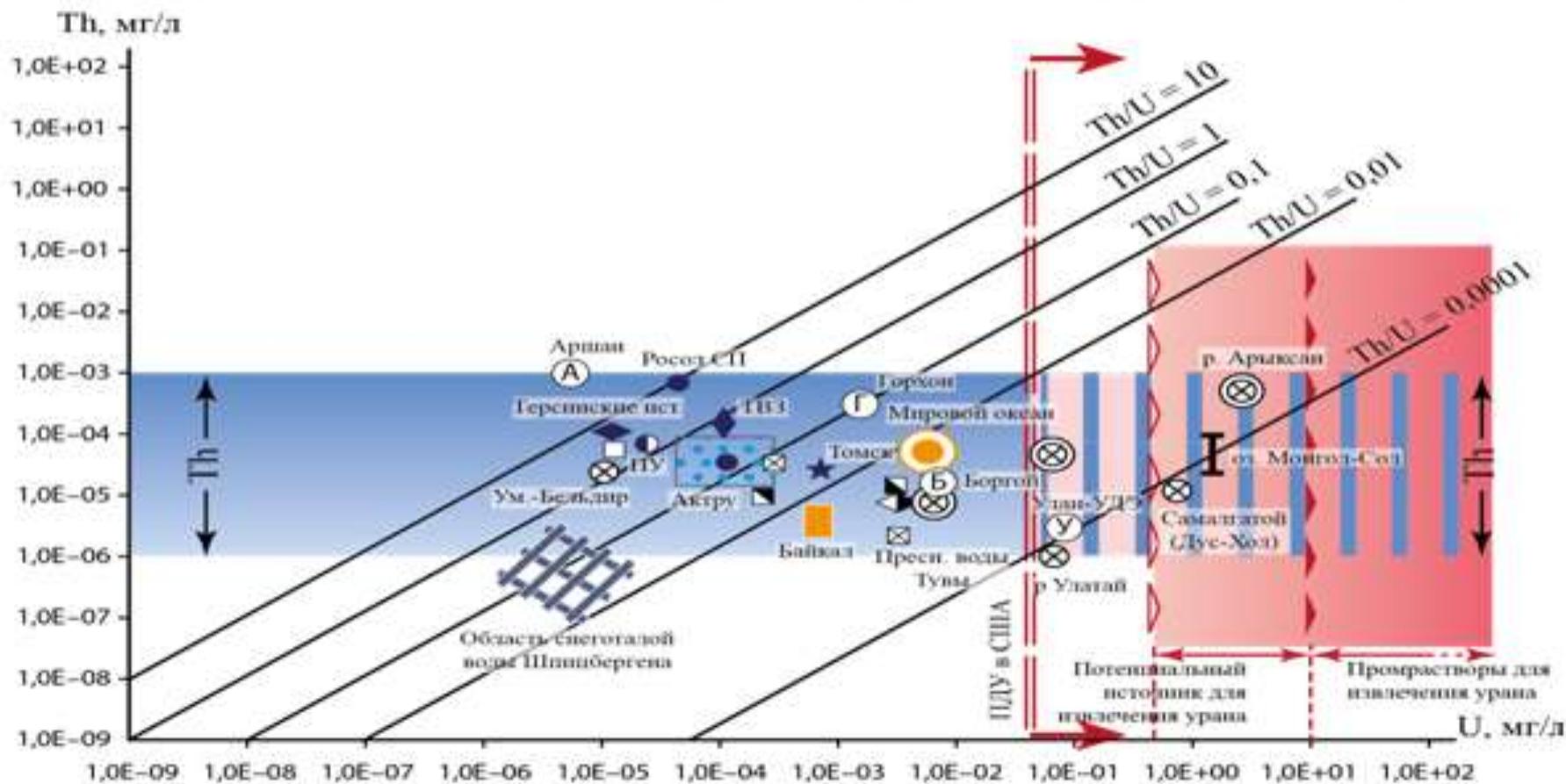
Схема взаимосвязи между общей минерализацией и содержанием урана для различных типов природных вод (по А.И. Германову, 1963).



1 – атмосферные осадки; 2 – грунтовые воды вне участков выщелачивания ранее накопленных в породах каменной соли, гипса и других воднорастворимых солей; 3 – воды урановых месторождений в окислительной обстановке; 4 – подземные воды в восстановительной обстановке; 5 – речные воды; 6 – озерные воды; 7 – морские воды.

- Все природные воды – поверхностные и подземные, воды горячих источников, рассолы нефтяных полей, содержат те или иные количества урана. Они не являются «месторождениями» в обычном понимании, так как не представляют собой концентраций кристаллических минералов в породах. Обычные содержания урана в пресных поверхностных и подземных водах колеблются в пределах $0,05-10 \text{ млрд}^{-1}$.
- Морская вода содержит около 3 млрд^{-1} , и, как известно, объем ее огромен. Содержание урана в пресных водах некоторых рудных районов может достигать нескольких сотен или даже тысяч миллионных долей.

Радиогеохимическая типизация вод гидросферы



У истоков технологии U из воды

Ласкорин Борис Николаевич



Сегодняшний день

- Создан белок для добычи урана из морской воды (США, Китай) SUP извлек от 30% до 60% уранила, растворенного в искусственной морской воде. Если такое количество удастся добыть из мирового океана, то проблема дефицита урана будет решена на многие столетия.
- В ходе экспериментальной программы японским специалистам удалось выделить из проб морской воды около килограмма урана. Их оценка себестоимости **всего лишь в два раза превышает текущие спотовые цены на уран**. Если японцы не ошибаются, то добыча урана из морской воды станет экономически выгодной при спотовых ценах выше 100 долларов за фунт U_3O_8 .



- Низкое содержание урана в морской воде инициировало выполнение работ по извлечению урана из озерных вод, где концентрация урана может быть существенно выше. Такие работы по сорбционному извлечению урана из озерных вод озера Иссык-Куль (содержание урана 0,03 мг/л, запасы около 50 т. тонн) были выполнены в 60-80 х годах под руководством академика Ласкорина Б.Н. Однако, в силу ряда причин, эти работы не вышли на промышленный уровень.



Озеро Иссык-Куль.
Концентрация урана
около 0,03 мг/л.

Запасы урана около 50
тыс. Тонн.

Информация, появившаяся в середине 2011 года, свидетельствует о наличии значительных (50 т. т) количеств урана в содовом озере Ван (Турция) и о явном интересе к этому источнику уранового сырья со стороны турецкого технического и бизнес сообщества.



**Урановое озеро
Ван, Турция.
Запасы 50 тыс. т.
Концентрация
урана около 0,07
мг/л.**

Содержание U, рН и общая минерализация (М) в озерах Северо-Западной Монголии

Озеро	Объем озера км ³	рН	М, мг/л	Ср. содержание ²³⁸ U, мг/л	Запасы т.
Урег-нуур	6.4	9.04	4880	0.026	166
Хяргас-нуур	66	9.1	7480	0.09	5940
Хар-Ус-нуур	0.3	9.0	5080	0.07	21
Шаазгай-нуур	0.01	9.4	13560	1.0	10
Телмен-нуур	2.7	8.9	7390	0.02	54

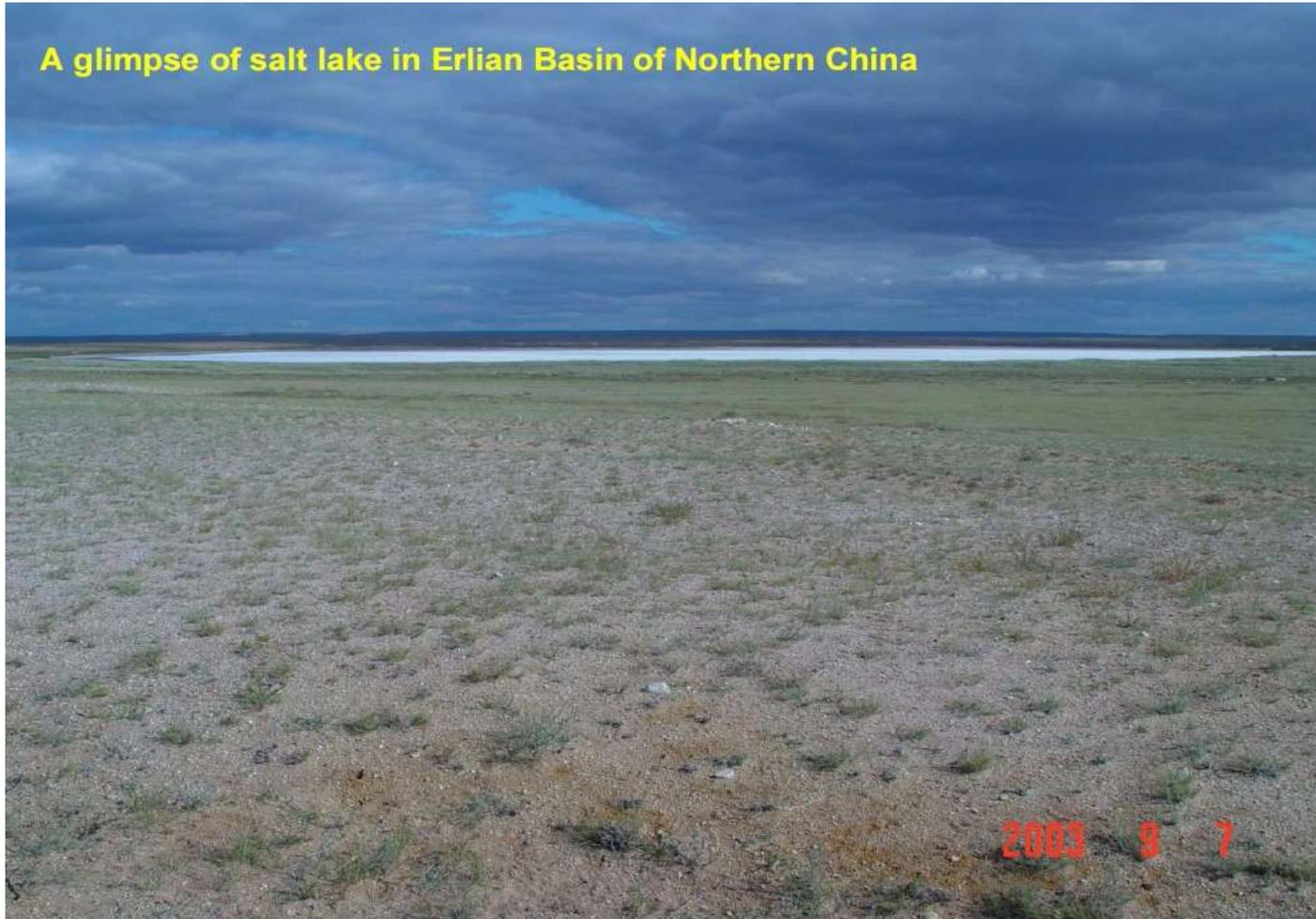
Содержание некоторых элементов в озёрах Монголии (по О.В.Скляровой и др.,2012)

15

параметры состава	Онон-Борзинская	Восточно-Монгольская
TDS(г/л)	0,3 – 380	0,5 – 280
pH	8,0 – 10,14	7,2 – 10,1
микроэлементы, мкг/л		
Li	10 – 360	4 – 48000
B	50 – 17300	40 – 46000
V	1 – 120	1 – 750
Ge	0,01 – 3	0,4 – 6
As	6 – 14100	18 – 4400
Se	0,05 – 13100	0,2 – 27
Br	не опр.	30 – 240000
Sr	96 – 1700	90 – 24000
Zr	0,06 – 310	0,03 – 560
Mo	1,4 – 210	9 – 1400
Sb	0,2 – 25	0,6 – 43
Cs	0,0001 – 0,6	0,005 – 25
REE	0,05 – 170	0,1 – 120
W	0,04 – 140	0,2 – 120
U	3,5 – 550	7 – 3200

- **Воды такого типа уже использовались для извлечения урана в районе рудного пояса Грантс (США).**
- **В Японии были построены и апробированы опытные фабрики, где уран извлекается из морской воды.**
- **Развитие технологий создания новых сорбентов позволяют надеяться на успех.**
- **В этом плане весьма интересны сорбенты фирмы «Blukher»(Германия), которые сейчас проходят испытания по извлечению некоторых металлов из воды.**

Китай рассматривает добычу U из солончаков



Учебный курс: «Месторождения РАЭ»

УРАНОВЫЕ РЕСУРСЫ В ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ

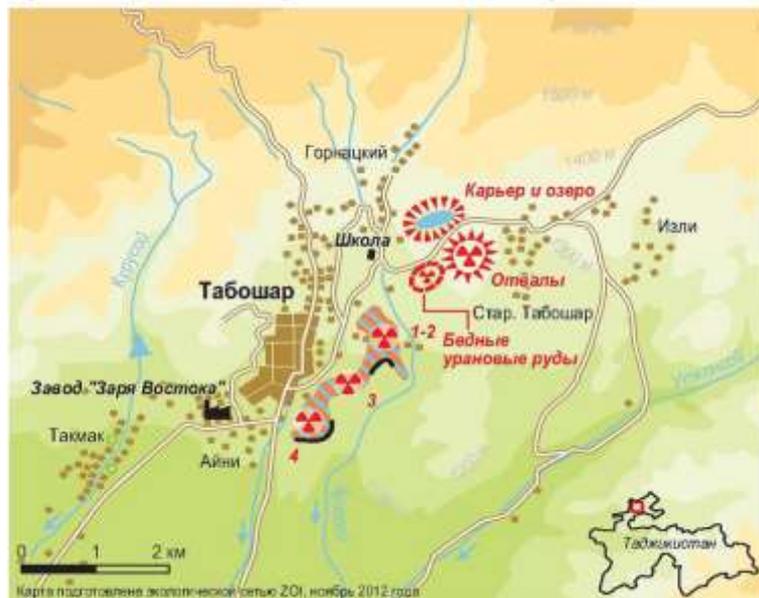


1. Отходы ураноперерабатывающей промышленности (Кара-Балта, Чкаловск и др.).
2. Отходы переработки апатитовых руд (Кольский полуостров), редкометально-редкоземельных руд (Актюз, Киргизия и др.)
3. Золо-шлаковые отходы угольных ТЭЦ и ГРЭС.
4. Сточные воды переработки Cu -Cu-Mo руд и др.



Хвостохранилища на местах переработки урановых руд

Урановые хвостохранилища Табошар, Таджикистан



Урановые хвостохранилища
Историческое загрязнение, вызванное промышленным развитием

- Среднее содержание урана в хвостохранилище 0,09-0,025%

Вода (подпочвенная) вытекает из-под хвостохранилища с содержанием урана 40-60 мг/л

Содержание урана в почве на расстоянии 1,0-1,5 км составляет 0,04-0,54%.

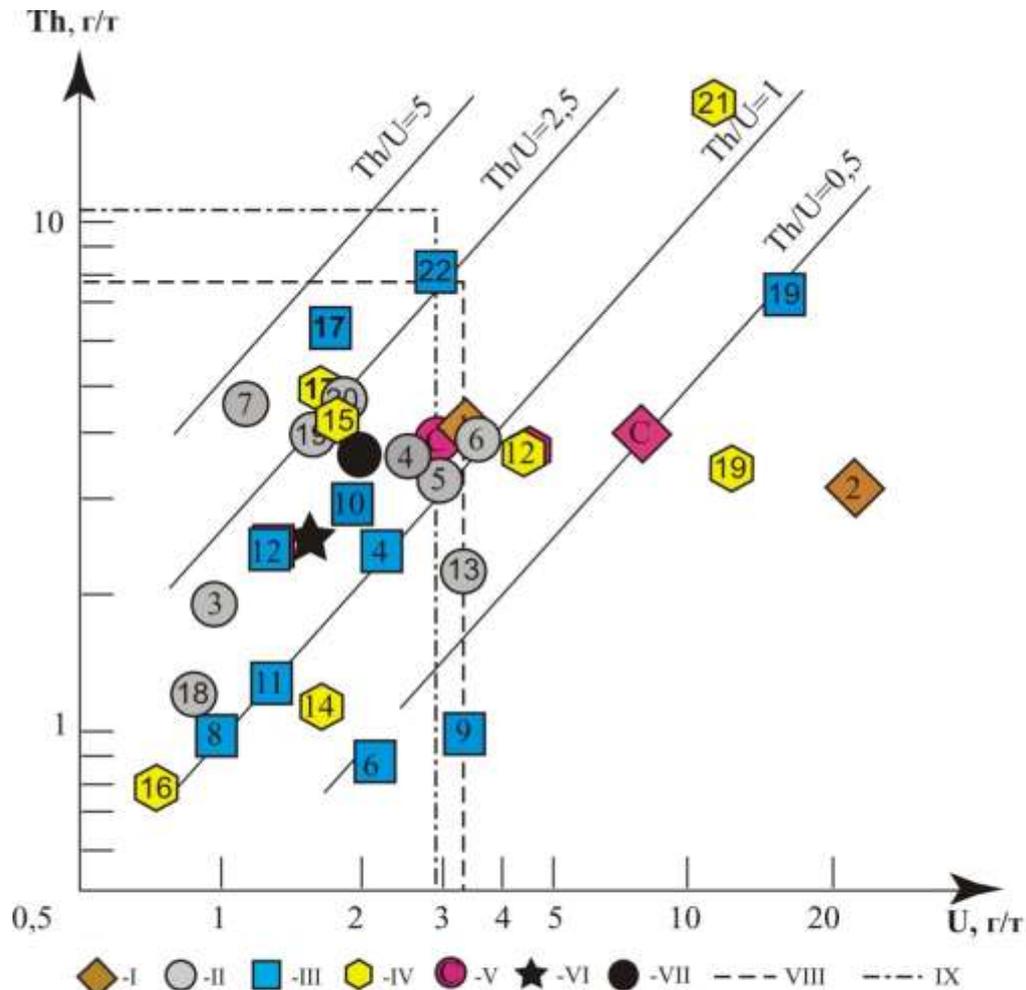


Радиоактивные элементы в отходах добычи и переработки редкоземельного сырья

Месторождение Ак-Тюз (Кыргызская Республика) (по материалам гамма-спектрометрии)

проба №	место отбора	U(ра) г/т	Th г/т	K %	Th/U
1-А	хвостохранилище №1	221,8	4137,5	4,7	18,6
1-Б		182,6	3690,4	4,1	20,2
2	хвостохранилище №2	5,9	10,1	2,4	1,6
3	хвостохранилище №3	3,4	188,9	1,6	55,3
4	хвостохранилище №4	32,6	248,4	1,3	7,6
5	баки возле отстойника	161,1	1970,5	2,6	12,2

U и Th в углях и продуктах их сжигания



I-девонская эпоха угленакопления; II-карбон-пермская эпоха угленакопления; III-мезозойская эпоха угленакопления; IV-кайнозойская эпоха торфо-угленакопления; V-среднее для эпохи; VI-среднее для Сибири; VII-угольный кларк; VIII-среднее для осадочных пород (по Н.А. Григорьеву, 2003); IX-среднее для континентальной земной коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988).

Угольные бассейны и месторождения: 1-Барзасское, 2-Убруское, 3-Горловский, 4-Кузнецкий, 5-Минусинский, 6-Тунгусский, 7-Курайское, 8-Пыжвинское, 9-Канско-Ачинский, 10-Иркутский, 11-Улугхемский, 12-Западно-Сибирский, 13-Таймырский, 14 - Талду-Дюргунское, 15-Возновское, 16 - торф современный, 17-Дальний Восток, 18-Казахстан, 19-Монголия, 20-Нуре-Хотгор, 21-Павловское, 22-Ургальское.

Содержание урана и тория в золах углей теплоэлектростанции Монголии

Название ТЭЦ	Наименование месторождения угля	Среднее содержание элемента в золах г/т	
		Уран	Торий
ТЭЦ 4 Г. Улан-Батор	Баганур	53,4	12,4
ТЭЦ г. Чойбалсана	Адунчулуун	207	Н.д

Опытно-промышленное извлечение U из зол углей в Китае

Sparton Resources investigates potential of Chinese high uranium coal ash for uranium extraction

On May 17, 2007, Sparton Resources Inc. announced that [China National Nuclear Corporation \(CNNC\)](#) has agreed to purchase any uranium oxide produced from the coal ash leaching tests, as well as any future U₃O₈ production from the program.

On Dec. 19, 2006, [Sparton Resources Inc.](#) reported that it has identified a major supply of uraniferous coal ash in central Yunnan Province. The local coal has a high ash content (approximately 20-30%) and the coal uranium content varies from about 20-315 parts per million (ppm) and averages about 65 ppm U (historical and current data). Both the bottom ash and fly ash samples tested by Sparton returned values varying from 123-142 ppm U. Assuming an average U content of 125 ppm, the annual coal ash produced from the three power stations burning that coal contains about 390,000 pounds of U₃O₈ [150 t U]. At a uranium recovery rate of 70% (to be confirmed with planned leaching tests) 273,000 pounds of uranium oxide [105 t U] could be processed annually.



**Урановый жёлтый кек
(полиуранат Na)**

Выщелачивающие растворы на некоторых медных месторождениях и перерабатывающих фабриках в среднем содержат U n * 10 мг/л, и известно, что на медном руднике Бингем-Каньон (шт. Юта) уран извлекался в качестве попутного продукта.

Учебный курс: «Месторождения РАЭ»

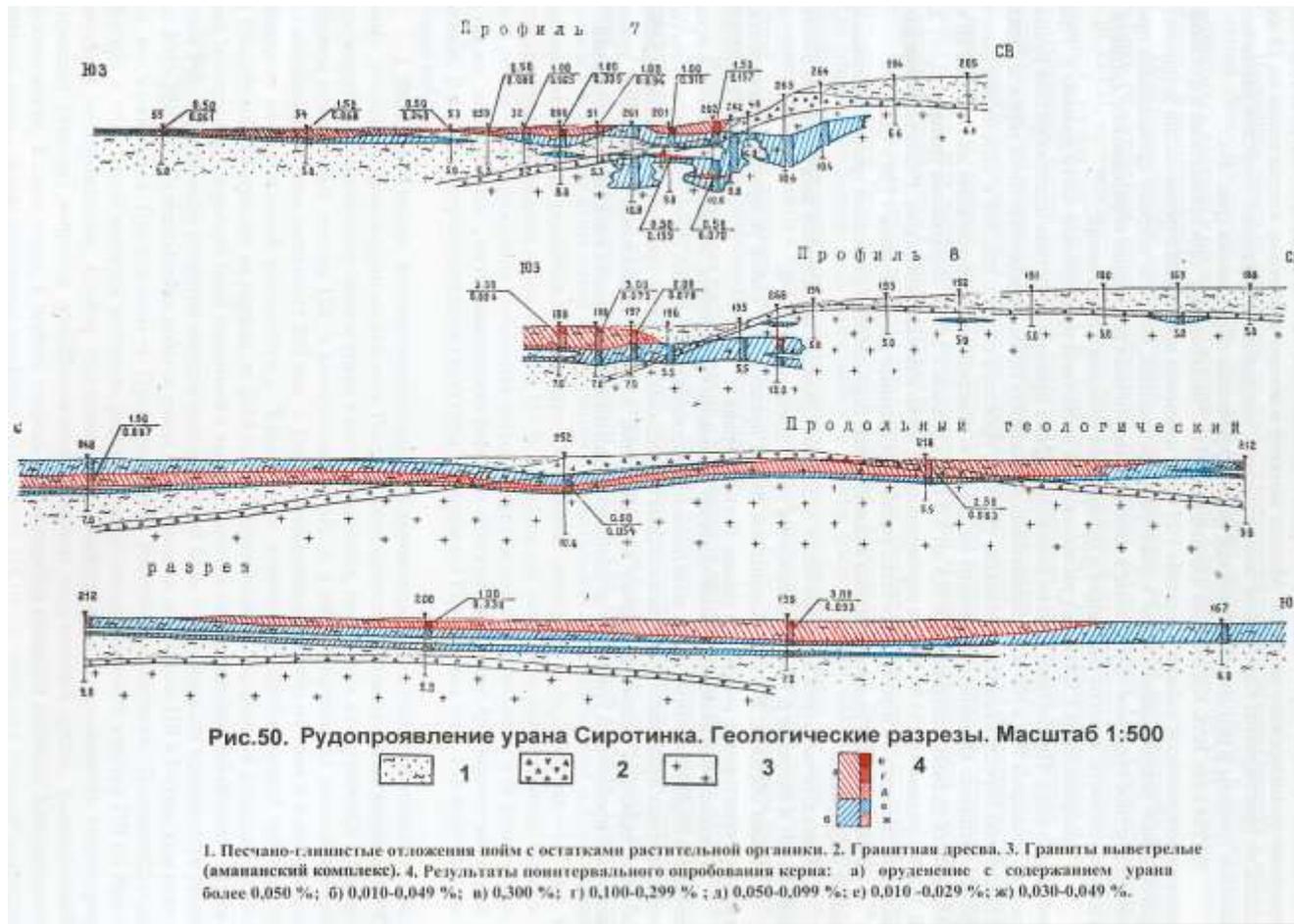
УРАНОВЫЕ РЕСУРСЫ В ТОРФАХ



- потенциальным источником урана могут быть *золы торфяных залежей*, в которых уран нередко содержится на уровне $n100 - n1000$ г/т (Бойл, 1987 и др..) и, зачастую, по нашим данным, сопровождается высокими концентрациями редких земель, прежде всего неодима. Таковыми являются объекты Витимо-Каренгского района на севере Бурятии и ряда других стран (Канада, США и др.)

- Содержание урана и РЗЭ в золе торфяников некоторых районов Сибири
- **U**— 20 до **17 512** г/т
- Сумма **TR**—от 500 до **20 000** г/т
- **Nd**—от 45 до **1 971** г/т

Геологические разрезы рудопроявления U Сиротинка (д.А. Самовичу и др.,2012)



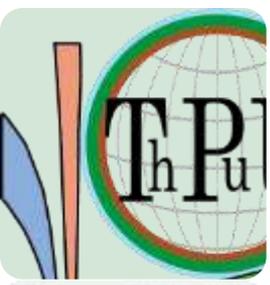
Учебный курс: «Месторождения РАЭ»

УРАНОВЫЕ РЕСУРСЫ В БОКСИТАХ



Мировая добыча бокситов в настоящее время составляет примерно 70 млн.т. в год, в результате переработки которых получается 35 млн.т. «красной глины». Многие перерабатывающие фабрики в мире функционируют уже в течение 40 лет и более, в результате чего отходов, т.е. «красных глин», могло накопиться более 1 млрд.т. Если принять, что среднее содержание урана в этих отходах составляет 10 г/т, то ресурсы этого металла здесь значительны.

Небольшие предприятия уже извлекают такой уран (Р. Янг, 1988).



Заключение



- Представленный анализ потенциальной сырьевой базы урана **не позволяет согласиться с утверждением о том, что человечество столкнётся с проблемой дефицита урана.** Урана на планете достаточно много. **Проблема заключается только в том, что нет достаточно хорошо отработанных эффективных, экономически и экологически приемлемых технологий по его извлечению.** Страны с развитым технологическим укладом (Япония, Китай, Франция, Германия и др.) активно работают над этим. И проблема потенциальных ресурсов урана будущего активно обсуждается.
- При решении проблемы редких земель придётся столкнуться с проблемой высоких концентраций радиоактивных элементов в продуктах переработки. И придётся ответить на вопрос: это сырьё или это отходы ???