

# **ПРОБЛЕМА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

Радиоактивные отходы (РАО) образуются на всех этапах ЯТЦ. Состав и количество РАО на каждом из этапов цикла является специфичным.

# Объем и активность РАО и ОЯТ на предприятиях ядерного комплекса России. По Ю.В. Чечеткину, А.Ф. Грачеву (2000)

Предприятия	Вид отходов	Объем (масса)	Активность, Бк	Примечания
На предприятиях России	Отходы жидкие твердые ОЯТ	$6 \times 10^8 \text{ м}^3$ — —	$5,6 \times 10^{19}$ $4,7 \times 10^{19}$ $0,85 \times 10^{19}$ $1,72 \times 10^{19}$	
Добыча и переработка руды	Жидкие + твердые	$1 \times 10^8 \text{ м}^3$	$6,66 \times 10^{15}$	
АЭС РБМК ВВЭР	Жидкие + твердые ОЯТ ОЯТ	$2,86 \times 10^5 \text{ м}^3$ ( $6,1 \times 10^3 \text{ т}$ ) ( $1,1 \times 10^3 \text{ т}$ )	$1,63 \times 10^{15}$ $1,15 \times 10^{20}$ $3,33 \times 10^{20}$	ВВЭР-440 + ВВЭР-1000
Комбинат «Маяк» (Озерск)	Жидкие стеклоблоки	$8,5 \times 10^5 \text{ м}^3$ ( $1,6 \times 10^3 \text{ т}$ )	$7,8 \times 10^{18}$	Переработано в стеклоблоки
Комбинат «Маяк» (Озерск) + Сибирский химич. комбинат (Северск) + Горнохимич. комбинат (Железногорск)	Жидкие	$2,5 \times 10^4 \text{ м}^3$ $4,1 \times 10^8 \text{ м}^3$	$4,8 \times 10^{19}$ $2,1 \times 10^{19}$ $2,6 \times 10^{19}$ $4,44 \times 10^{17}$	В емкостях Открытые водоемы и бассейны Приповерхностное хранение (оборудование, строительные конструкции)
Сибирский химич. комбинат, Горнохимич. комбинат	Жидкие	$4,6 \times 10^7 \text{ м}^3$	$3 \times 10^{19}$	Подземное захоронение
Оборонные отрасли промышленности	Жидкие + твердые ОЯТ	$3,28 \times 10^4 \text{ м}^3$	$7,8 \times 10^{14}$ $1,2 \times 10^{18}$	В береговых хранилищах и на плавучих базах
Комбинат «Радон»		$2 \times 10^5 \text{ м}^3$	$7,4 \times 10^{16}$	
На предприятиях ядерного комплекса	ОЯТ	(8 500 т)	$1,6 \times 10^{20}$	
На предприятиях отрасли	Источники ионизирующего излучения	$5,3 \times 10^4 \text{ шт.}$	$1,65 \times 10^{15}$	Отработали ресурс

## Классификация РАО

### По агрегативному состоянию

- твердые
- жидкие
- газообразные

### По виду излучения

- альфа-излучение
- бета-излучение
- гамма-излучение
- нейтронное излучение

### По периоду полураспада

- короткоживущие ( $T_{1/2} < 1$  года)
- среднеживущие ( $T_{1/2}$  от 1 года до 100 лет)
- долгоживущие ( $T_{1/2} > 100$  лет)

### По величине активности

- низкоактивные ( $< 0,1$  Ки/м<sup>3</sup>)  
(НАО)
- среднеактивные ( $0,1-1\,000$  Ки/м<sup>3</sup>)  
(САО)
- высокоактивные ( $> 1\,000$  Ки/м<sup>3</sup>)  
(ВАО)

Наибольшее количество опасных для биосферы техногенных радионуклидов, в том числе и долгоживущих альфа-излучателей (Pu, Am, Np и др.), образуется и содержится в отработанном ядерном топливе (ОЯТ) с атомных электростанций и на радиохимических производствах, на которых осуществляется выделение плутония, невыгоревшего урана-235 и других радионуклидов.

Для выделения плутония из ОЯТ в России был запущен в работу в 1976 году завод (РТ-1) в Челябинске-60 (г. Озерск), еще один завод (РТ-2) строится в Красноярске-26 (г. Железногорск).

Оружейный плутоний производился на специальных ядерных комплексах (Челябинск-65, Томск-7, Красноярск-26), где работали 13 атомных реакторов специального типа, например АДЭ, из которых на радиохимических заводах (РХЗ) извлекался в больших количествах плутоний. Именно РХЗ являются основным источником радиоактивных отходов.

Так, по расчетам В.Ф. Меньшикова и др. (1995), при переработке **1 тонны ОЯТ** реакторов типа ВВЭР-400 в НПО «Маяк» образуется **45** кубометров высокоактивных отходов (ВАО), **150** кубометров среднеактивных отходов (САО) и около **2 000** кубометров низкоактивных отходов (НАО).

Кроме того, продуктами переработки являются **950 кг оксидов урана и несколько килограммов плутония**, т.е. из **1 тонны ОЯТ** образуется  **$45 + 150 + 2\ 000 = 2\ 195$**  кубометров только жидких РАО, которые требуют специального обращения, переработки и хранения.

- США, Германия, Финляндия и др. отказались от, так называемого, замкнутого ЯТЦ, т.е. ОЯТ дальнейшей переработке не подвергаются, и идут на окончательное долговременное хранение, а затем захоронение.
- Россия и ряд других государств (Япония, Великобритания, Китай и другие) придерживаются концепции замкнутого ЯТЦ, которая предусматривает полную переработку ОЯТ с выделением плутония, урана-235 и возврат их в энергетических цикл.

На данном этапе развития мировой цивилизации отпала необходимость в оружейном плутонии. США в 1988 году (объявили об этом официально в 1991 году) прекратили его производство вообще и, согласно подписанному договору о нераспространении ядерного оружия, производство плутония прекращается и в России.

В связи с этим произошли и происходят остановки военных промышленных реакторов в Челябинске, Красноярске, Томске.

А оставшиеся, например, два реактора в Томске дорабатывают свой ресурс, поскольку они являются, кроме того, источником теплового снабжения областного центра (реакторы двойного назначения). Демонтируются ядерные боеголовки и возникает острая проблема с хранением и утилизацией плутония.



# Классификация жидких и твердых радиоактивных отходов при неизвестном радионуклидном составе (по ОСПОРБ-99)

Категория РАО	Удельная активность, кБк/кг		
	бетаизлучающие радионуклиды	альфаизлучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	трансурановые радионуклиды
НАО	менее 104	менее 103	менее 102
САО	104-107	103-106	102-105
ВАО	более 107	более 106	более 105

Санитарными правилами обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2000)» различают отходы радиоактивные и ядерные.

- Отходы радиоактивные – не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные федеральными нормами и правилами.
- Отходы ядерные – радиоактивные отходы, в которых возможно возникновение цепной реакции деления ядер при достижении критической массы.

Следует обратить внимание, что **существует ГОСТ** на термины и определения (ГОСТ Р 50996-96).

# Классификация жидких и твердых радиоактивных отходов при известном радионуклидном составе (по СПОР-2000)

Категория РАО	Уровень активности, в величинах 10УВ для жидких и МЗУА для твердых РАО	Годовая эффективная доза, полученная населением от излучения незащищенных РАО, мЗв	Вероятный уровень риска без мер защиты, число смертельных исходов в год	Тепловыделение, кВт/м <sup>3</sup>
НАО	$> 1$ и $\leq 100$	$\geq 0,01 \div 1,0$	$> 10^{-6}$ и $\leq 10^{-4}$ эффекты только стохастические	$\leq 2$
САО	$> 10^2$ и $\leq 10^4$	$\geq 1,0 \div 100,0$	$> 10^{-4}$ и $\leq 10^{-2}$ возможны эффекты детерминированные легкой тяжести	
ВАО	$> 10^5$	$\geq 100,0$	$> 10^{-2}$ и $\leq 1,0$ эффекты детерминированные, включая смертельный исход для всех пострадавших	$> 2$

Гаммаизлучающие отходы считаются радиоактивными, если МЭД у их поверхности (на расстоянии 0,1 м) превышает 100 мкР/ч

# Классификация твердых радиоактивных отходов АЭС.

## По С.Н. Смирнову (2000)

Единица измерения	Категория РАО		
	I низкоактивные	II среднеактивные	III высокоактивные
мр/ч	0,03-30	30 - $1 \times 10^3$	более $1 \times 10^3$
мкКи/кг	2-100	$1 \times 10^2$ - $1 \times 10^5$	более $1 \times 10^5$
мкКи/кг	0,2-10	10 - $1 \times 10^4$	более $1 \times 10^4$
$\text{см}^{-2}\text{мин}^{-1}$	$5 \times 10^2$ - $1 \times 10^4$	$1 \times 10^4$ - $1 \times 10^7$	более $1 \times 10^7$
$\text{см}^{-2}\text{мин}^{-1}$	5 - $1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$ - $1 \times 10^6$	более $1 \times 10^6$

# Технологии обращения с РАО

Технология обращения с радиоактивными отходами на разных этапах становления атомной промышленности имела свои особенности, обусловленные прежде всего решаемыми геополитическими стратегическими задачами (кто быстрее сделает оружие возмездия и устрашения), отсутствием опыта и знаний по поведению малоизученных химических соединений радиоактивных элементов.

На первых этапах жидкие радиоактивные отходы групп ВАО и САО хранились в естественных или искусственных прудах отстойниках, в специальных инженерных сооружениях – емкостях из бетона и (или) стали (баки, танки), а отходы групп НАО, как правило, разбавлялись и рассеивались путем сбрасывания по системам трубопроводов, каналов в воды Мирового Океана, открытые водные системы, где происходило их естественное разбавление до приемлемо безопасных уровней

# Данные об удалении жидких отходов с некоторых предприятий атомной промышленности (по В.П. Шведову, 1968)

Место сброса	Тип отходов	Количество и радиоактивность	Место удаления
<b>Великобритания</b>			
Спрингфилдс	Жидкие	2,5 × 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> /год; 50 кюри/год α; 1 500 кюри/год β	Трубопровод к границе приливов и отливов
Кейпен-Херст	Жидкие	2 × 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> /год; 1 кюри/год (уран)	Открытый ручей в зоне приливов и отливов
Унидскейл и Колдер-Холл	Жидкие	8 × 10 <sup>5</sup> м <sup>3</sup> /год; 90 000 кюри/год β; 40 000 кюри/год Ru; 1 500 кюри/год Sr-90; 70 кюри/год Sr-90	Трубопровод в открытое море
Чапен-Кросс (1960г.)	Жидкие	3 × 10 <sup>4</sup> м <sup>3</sup> /год; 4,5 кюри/год α и β; 80 кюри/год Sr-90	Трубопровод к границе приливов и отливов
Даунри (1959-1960гг.)	Жидкие	1 × 10 <sup>5</sup> м <sup>3</sup> /год; 40 000 кюри/год β; 20 кюри/год Sr-90; 5 кюри/год α	Трубопровод в открытое море
Харуэлл	Жидкие	7 × 10 <sup>5</sup> м <sup>3</sup> /год; 15 кюри/год β; 0,5 кюри/год Sr-90; 0,02 кюри/год α	Трубопровод в Темзу

- По мере накопления информации по поведению техногенных радионуклидов становилось понятным, что такой способ избавления от отходов не совсем приемлем, т.к. создается угроза существованию биологических видов и самому человеку.
- В этом плане наглядным примером может служить сброс слаборадиоактивных жидких отходов в Ирландское море с заводов Уиндскейла (в других транскрипциях Виндскейла) на северо-западном побережье Великобритании
- Оказалось, что часть отходов с приливами и течениями возвращается обратно к берегу и накапливается в съедобной морской водоросли *Porphira Umbilicalis*, используемой для приготовления местного деликатеса «Лавербреу».
- В результате этого около 26 000 человек в Южном Уэльсе, находящемся в сотнях километров южнее, подверглись большой радиоактивной опасности (Холл, 1992).



Для уменьшения такой опасности во многих странах жидкие отходы стали концентрировать методами химического осаждения, выпаривания и сорбции на ионообменных смолах, после чего они связываются каким-либо материалом в трудно растворимую матрицу (цемент, битум, полимеры, бетон и т.д.), устанавливаются в металлические контейнеры и захораниваются.

Обратите внимание на то, что термины **захоронение и хранение** отходов понятия не идентичные  
(Закон РФ «Об отходах производства и потребления», 1998).

- **Захоронение отходов** – это изоляция отходов, не подлежащих дальнейшему использованию.
- **Хранение отходов** – это содержание отходов в объектах их размещения в целях их последующего использования, обезвреживания или захоронения.

# Виды захоронения САО и НАО

1. Удаление отходов на дно Мирового Океана;
2. Удаление в стационарные наземные и приповерхностные хранилища;
3. Удаление в полости скальных пород;
4. Закачка жидких РАО в горные породы с большой открытой пористостью (пески, гравелиты, кавернозные известняки и т.д.).

# Виды захоронения ВАО

1. Удаление на дно Мирового Океана;
2. Хранение в сухих приповерхностных или подземных специально сооруженных хранилищах;
3. Хранение в водных приреакторных бассейнах, либо в автономных водных хранилищах (подземное водное хранилище CLAB);
4. Закачка жидких ВАО в подземные горизонты горных пород с большой открытой пористостью (в России этот способ получил название **закачки в глубокие геологические формации**)

1. Эти продукты из-за присутствия делящихся материалов (урана, плутония и др.) **имеют способность к разогреванию до высоких температур (сотни градусов)**.

Высокая радиоактивность способствует радиолизу (разложение под воздействием радиоактивного излучения) воды и других химических компонентов с образованием высоковольтных азотистых, водородных и других соединений.

Недоучет этого фактора может приводить к весьма сложным аварийным ситуациям с выбросами радионуклидов в окружающую среду. Такой случай был реализован в **1957** году в Челябинске-65, когда разогрев отходов в баке привел к парогазовому взрыву большой мощности.

2. Эти материалы по существу дела образуют **специфичное техногенное месторождение** (находка столь компактных по объему и концентрации компонентов месторождений является вождеденной мечтой любого геолога), к разработке которого можно вернуться при возникновении потребности или появлении новых технологий
3. К этим материалам должен быть закрыт несанкционированный доступ, так как они **могут послужить основой для производства ядерного и радиологического оружия для проведения террористических актов и шантажа**

Хранение РАО, особенно ВАО и ОЯТ, а также демонтажирование ядерных материалов (плутоний, высокообогащенный уран) **требует создания специальных инженерных сооружений**, позволяющих контролировать и регулировать температурный режим хранения

- При хранении и захоронении радиоактивных отходов используется принцип многобарьерной защиты, включающий в себя искусственные (инженерные) и естественные барьеры физической и химической защиты.
- В качестве инженерной, физической и химической защиты выступают: оболочка ТВЭЛов или остеклованной массы, оболочка контейнера, накопитель между стеклоблоком (например, полиэтилен, который поглощает нейтроны и тем самым снижает тепловой разогрев и уровень радиационного воздействия на материал контейнера); оболочка инженерного сооружения (каньон, бункер, траншея, шахта, скважина и т.д.).
- В качестве естественной физической и химической защиты используются горные породы различных типов, почва, толща воды.
- **Эта мультибарьерная стратегия захоронения РАО должна способствовать их надежной изоляции.**
- **Вспомните пример с месторождением ОКЛО, когда природе удалось надёжно изолировать отходы природного ядерного реактора, используя мощные глинистые толщи.**



**В каждом конкретном случае в зависимости от типа отходов, их объемов и т.д., используются или планируются для использования те или иные способы захоронения.**

Так, например, для временного сухого хранения ОЯТ имеются четыре конструктивных разновидности сухого хранения (в воздухе, углекислом газе, азоте, гелии и т.д.):

1. Шурфо-скважины на 1-2 кассеты, закрываемые массивной бетонной крышкой;
2. Бетонные каньоны;
3. Силос (бетонный цилиндр, устанавливаемый на поверхности земли и закрываемый крышкой);
4. Металлические контейнеры.

Например, проект хранилища ОЯТ в шурфо-скважинах на 10 тыс. тонн топлива в штате Невада (США) представляет собой площадку в аллювиальной почве, на которой по квадратной сетке с шагом 3 м будет расположено 23 500 шурфо-скважин.

Поле хранения сможет принимать кассеты с ОЯТ с тепловыделением не более 1 кВт и будет расширяться по мере надобности. Предполагаемый срок хранения 100 лет. После чего ОЯТ либо будет захораниваться в специально сооруженные к тому времени хранилища, либо, если появятся приемлемые технологии, перерабатывать

- Сбросы РАО в море осуществляли многие государства, и общий объем радиоактивных отходов, сброшенных в море, составляет более 200 000 Ки.
- Основными критериями при выборе площадок для сбора являлись: глубина (>4 000 м), отдаленность от основных морских путей, отсутствие районов промышленного лова рыбы, большое расстояние от континентов и островов.

# Сбросы РАО в море (по Е.К. Горловой и др., 1994)

Страна	Годы	Океан	Число контейнеров (оценка)	Уровень радиоактивности, Ки
США	1946-1969	Тихий	55 389	14 766
	1949-1967	Атлантический	34 083	79 507
Великобритания	1949-1966	Атлантический	117 544	143 200
	1968-1970			
Япония	1955-1969	Тихий	1 661	452
Нидерланды	1965-1972	Атлантический	2 365	62
		<b>Итого:</b>	<b>211 042</b> контейнера общим весом <b>99 255 тонн</b>	<b>263 967</b>

Практически все специалисты, занимающиеся проблемами обращения с РАО, считают наиболее приемлемой **концепцию удаления радиоактивных отходов в глубокие геологические формации.**

При этом для обоснования безопасности используется метод аналогий с существованием урановых месторождений в недрах планеты, в т.ч. и таких, на которых протекали ядерные процессы (природный ядерный реактор на месторождении Окло).

Само определение «**глубинная геологическая формация**» в литературе отсутствует (Лаверов и др., 1991, 1994 и др.).

По-видимому, под, этим понимают такие **глубины захоронения в геологические недра** и такие **горно-геологические условия захоронения, которые обеспечивают хранение высокоактивных отходов на многие тысячелетия без воздействия на экосферу.**

Чаще всего в литературе обсуждаются приемлемые глубины захоронения **500-1000 м**, что прежде всего определяется фактором экономичности строительства такого рода сооружений (Кочкин и др., 1994).

# Выбор площадки под строительство ВАО определяется многими факторами.

Так, в США, согласно требованиям закона и федеральных правил, выясняются **117** факторов по оценке площадки, на которой будет вестись строительство

- сейсмическая активность и тектоническая стабильность;
- химический состав вод, интенсивность водообмена, скорость движения водного потока, расстояние до зоны разгрузки подземных вод и ряд других гидрогеохимических показателей;
- наличие типов пород, пригодных для строительства постоянного сооружения, с учетом их экранирующих свойств;
- близость водных и минеральных ресурсов, которые могут вовлекаться в эксплуатацию и могут стать причиной непреднамеренного проникновения человека в могильник в будущем;
- близость к системе национальных парков, населенным пунктам и т.д

Даже при наличии такого рода сооружений существует проблема хранения ВАО в твердом состоянии.

Прежде всего, это обусловлено интенсивным термическим разогревом.

Так, по проекту строительства хранилища в районе Юкко-Маунтин, температура вблизи контейнера составит около 230°C и будет выше температуры кипения воды более 300 лет.



Детальный мониторинг геологической среды в экспериментах по созданию хранилища РАО в **соляных куполах** (соляные толщи считались одной из самых благоприятных для захоронения геологических толщ) показывает, что по истечению 25-30 лет их опытной эксплуатации, возникают серьезные проблемы по безопасности их функционирования, что ставит под сомнение возможность создания в них хранилищ по долговременному хранению ОЯТ и облученного топлива, несмотря на то, что соляные толщи обладают многими преимуществами по сравнению с другими типами пород

Среди вариантов обращения с плутонием наиболее часто рассматривает технологии, обеспечивающие «минимальную доступность» к делящимся материалам, ВАО.

При этом, наиболее часто обсуждаются и начинают находить практическое использование методы **остекловывания, упаковки в керамическую матрицу** и использование смешанного плутониево-уранового оксидного топлива («МОХ-топливо»).

Среди вариантов остекловывания рассматривается возможность использования различных видов стекол (боросиликатное, сильно пористое кварцевое, керамическое и др.), в которых может быть **три варианта остекловывания**:

- **остекловывание** плутония, смешанного с гамма-излучающими компонентами деления, с тем, чтобы полученные стеклянные блоки соответствовали «стандарту ОЯТ»;
- **остекловывание** плутония с обедненным ураном или иными подобными альфа-излучающими элементами;
- **остекловывание** плутония, смешанного с нерадиоактивными химическими элементами, близкими по свойствам (например, редкоземельные элементы: европий, самарий и т.д.).

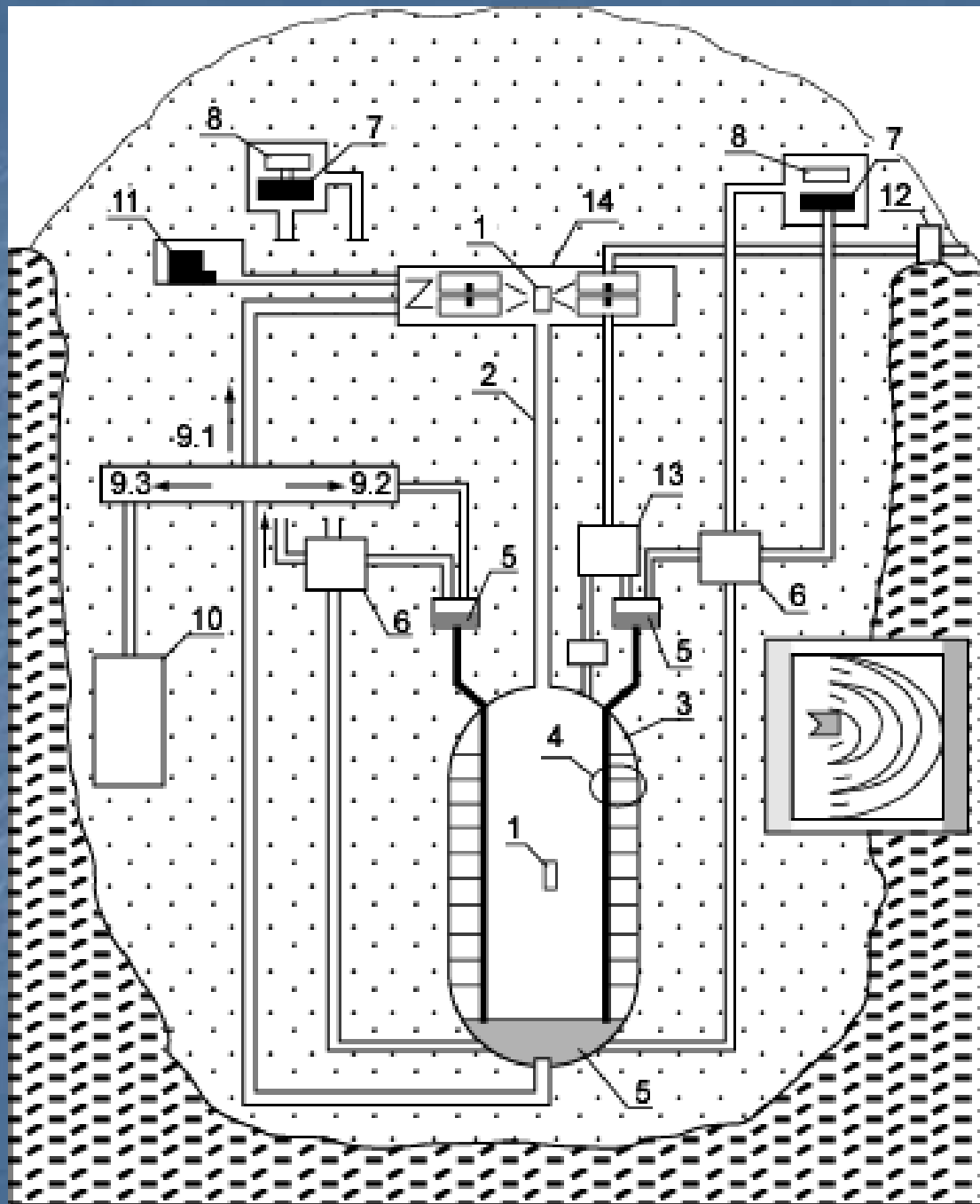
Обращает на себя внимание тот факт, что даже хорошо спроектированные специальные инженерные сооружения, в которых ВАО хранятся в **остеклованной массе**, упакованной в контейнеры, **размещаются на значительной глубине от дневной поверхности.**

Например, в районе Селлафилда (Англия) хранилище планируют расположить на глубине ~800 м , либо на еще большие глубины (2 000-4 000 м) в специально пробуренные скважины большого диаметра, либо шахты.

Ни в каких вариантах проектов обращения с РАО для длительного их хранения в зарубежных ядерных странах **не рассматривается** возможность их закачивания в виде жидких радиоактивных отходов в проницаемые горизонты геологических **недр**, тогда как в России на сегодняшний день **это один из самых распространенных способов обращения с радиоактивными отходами** (гг. Дмитровград, Северск, Железногорск).

В печати активно обсуждаются и другие альтернативные способы хранения и удаления радиоактивных отходов. К таковым относятся:

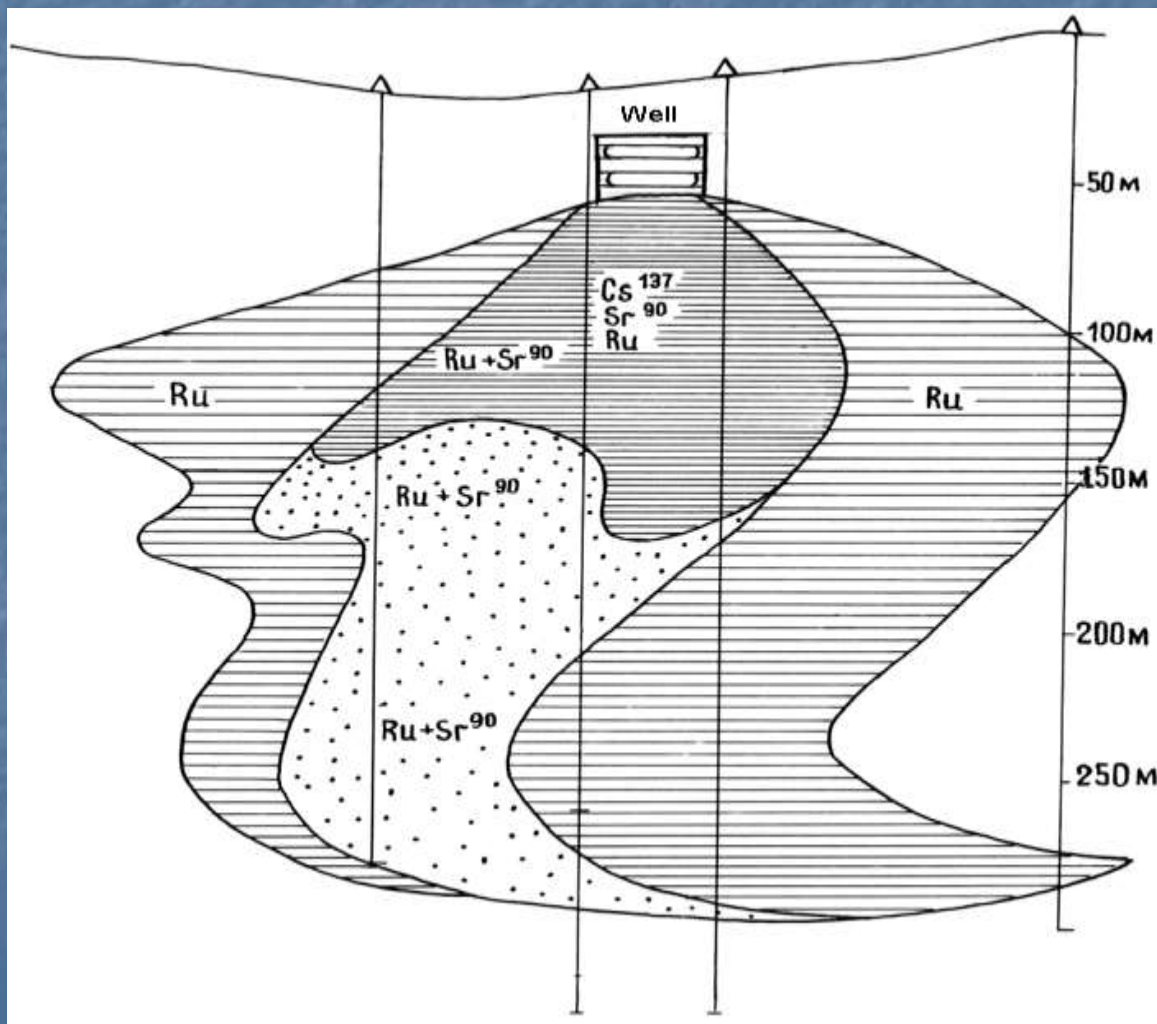
1. Захоронение ядерных отходов в центре планеты;
2. Удаление радиоактивных отходов в космическое пространство;
3. Трансмутация радиоактивных элементов;
4. Сжигание радиоактивных элементов (урана-238, урана-235, плутония) в котлах внутреннего сгорания с замкнутым топливно-энергетическим циклом;
5. Захоронение ядерных отходов в глубоководных илах дна Мирового Океана.



**Закачка жидких  
радиоактивных отходов в  
глубокие геологические  
формации**

**Томский полигон ЖРО**

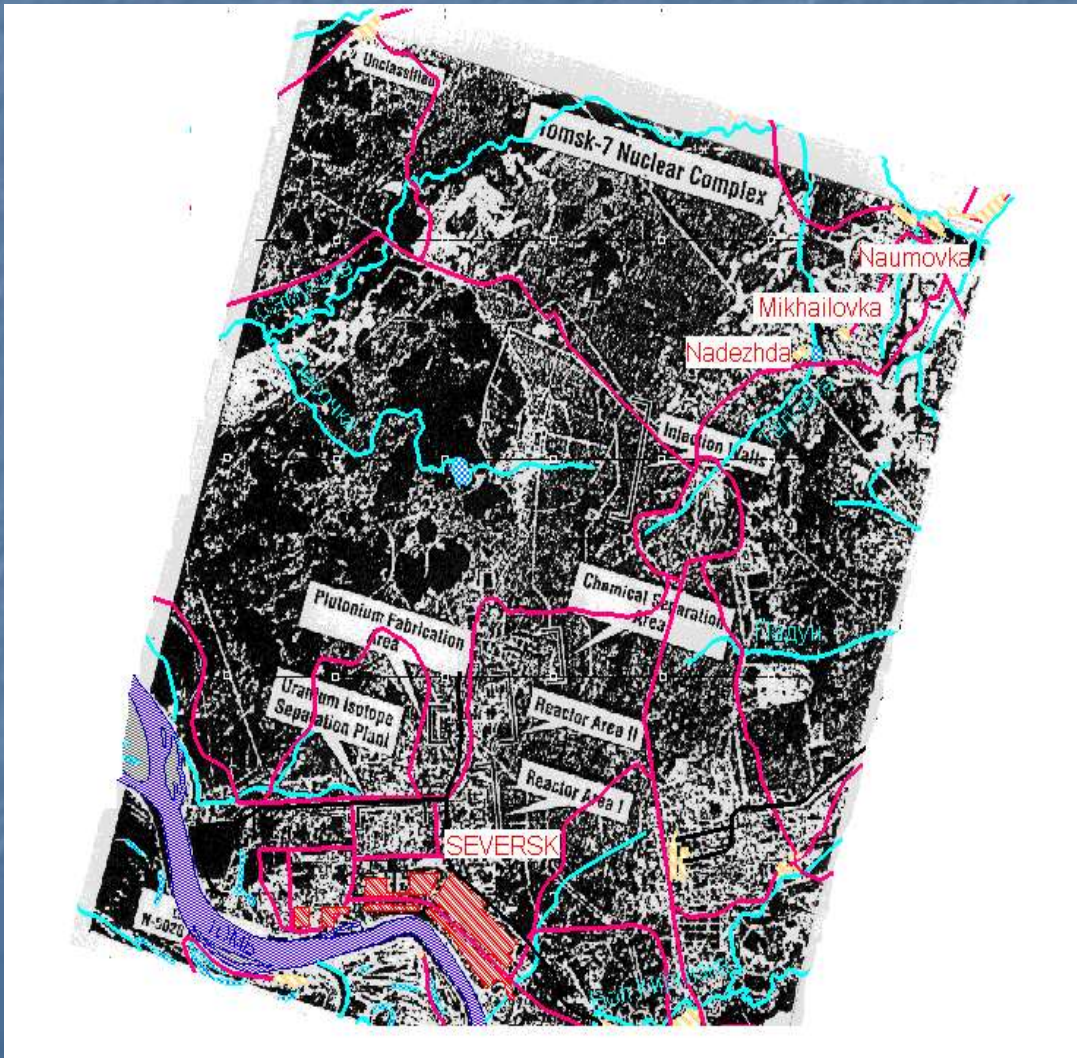
# Закачка ЖРО в районе Хэнфорда (США)







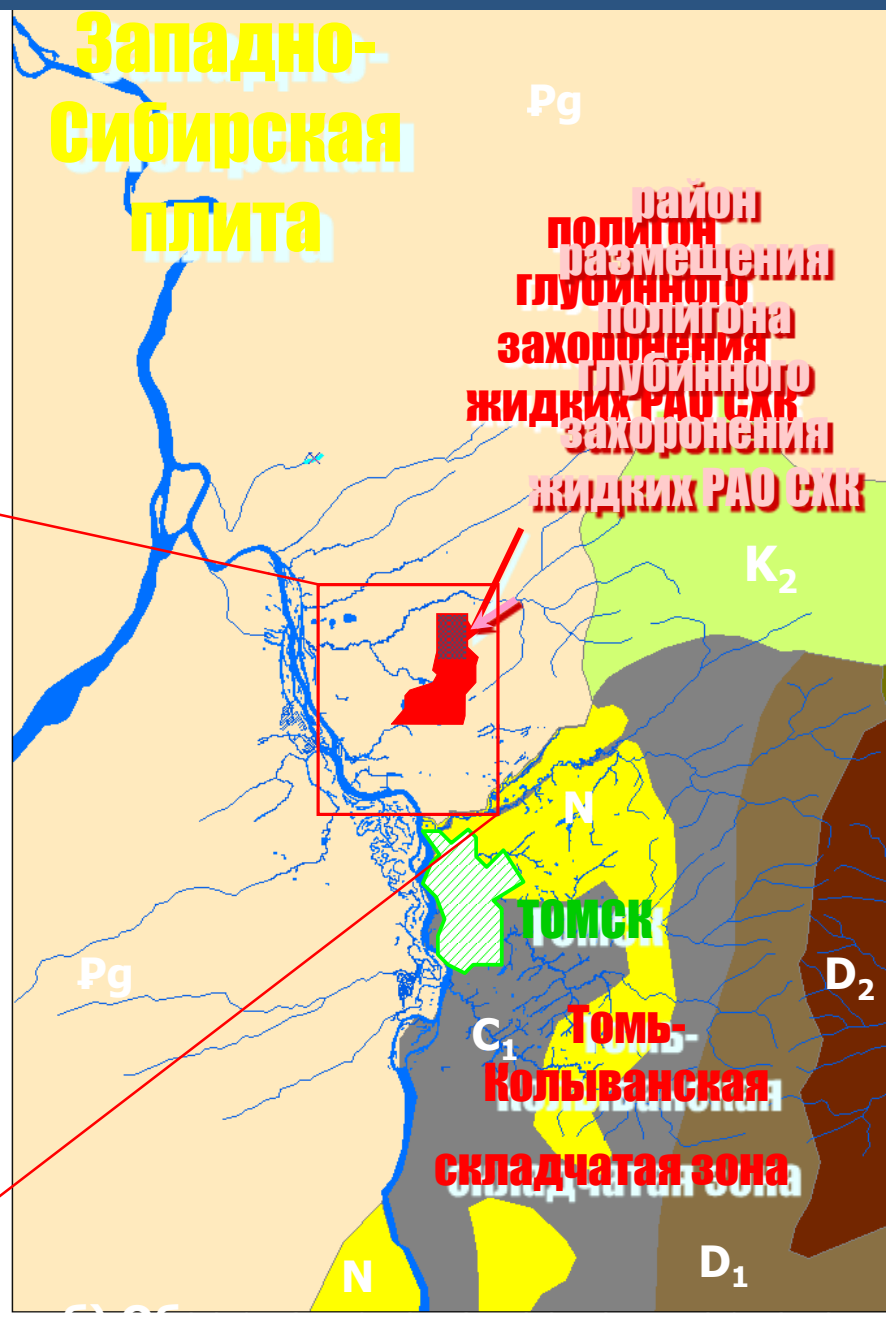
The U.S.A. satellite image of the SCC and adjacent area (presented to the movement "Ecological Initiative" in 1994 by Thomas Kochran (the U.S.A. Committee for the Natural Resources Protection))



# Структурно- геологические положение района размещения полигона глубинного захоронения жидких РАО СХК

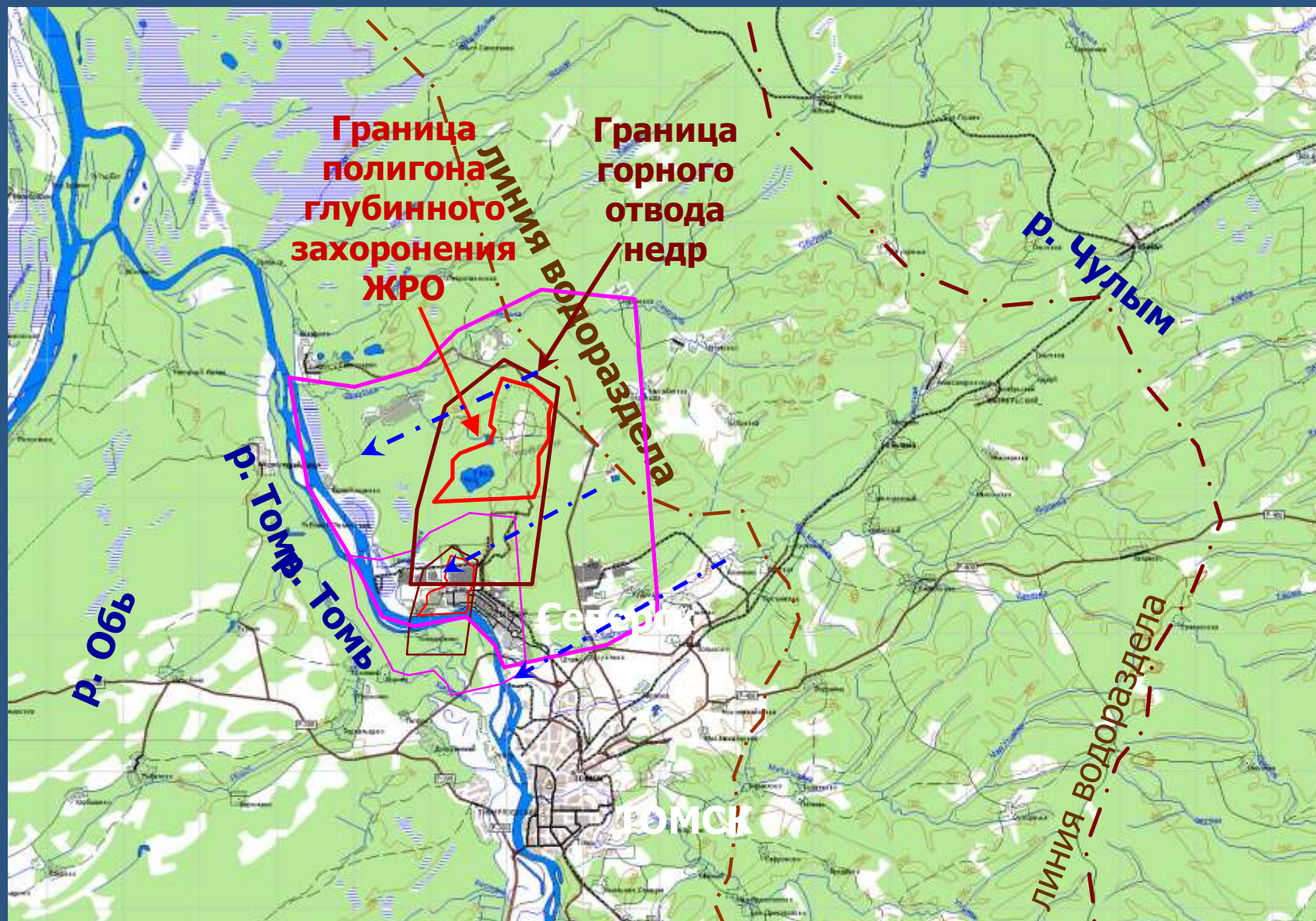


а) Карта развития четвертичных отложений в районе расположения полигона

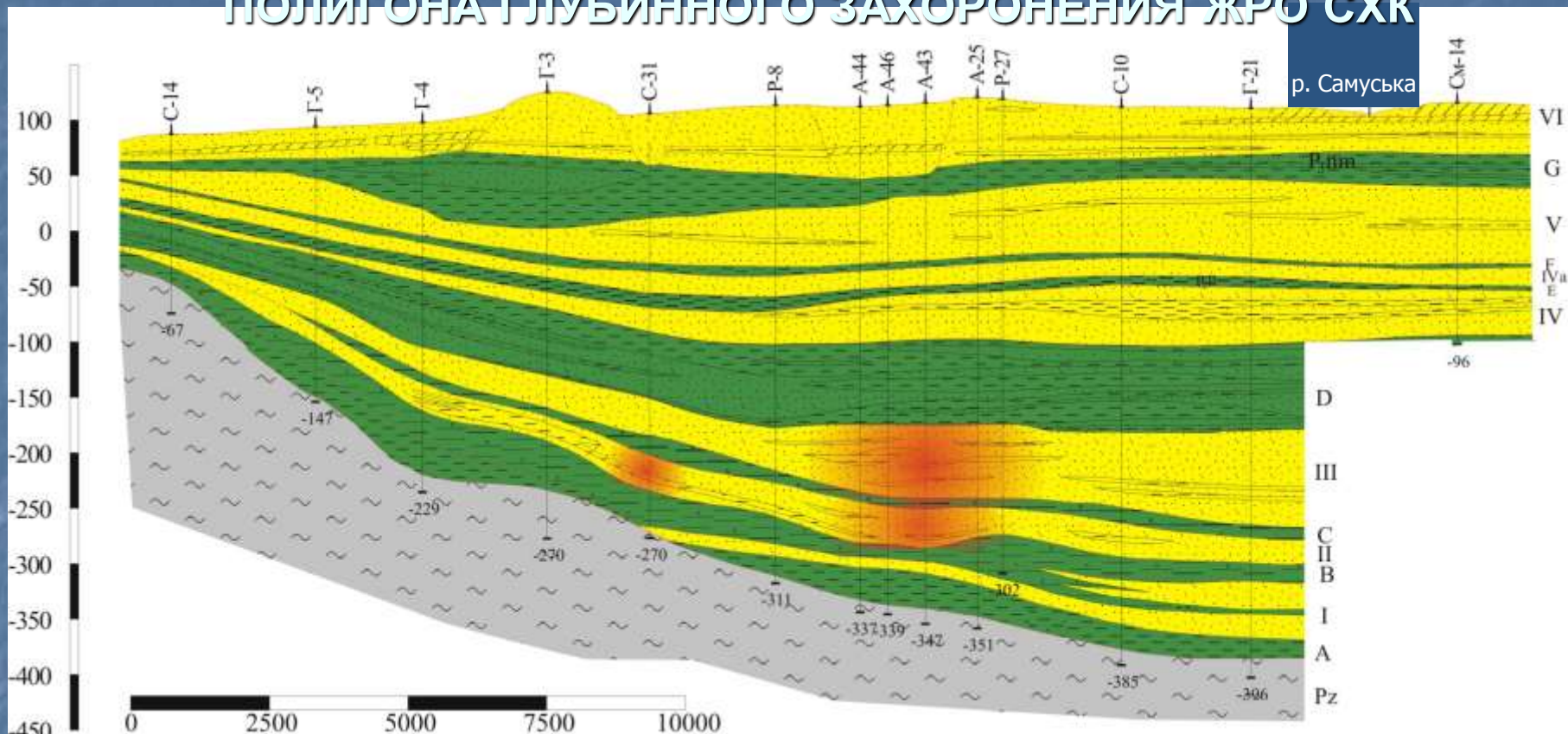


б) Обзорная схема геологического строения района расположения полигона

# Район полигона глубинного захоронения ЖРО СХК

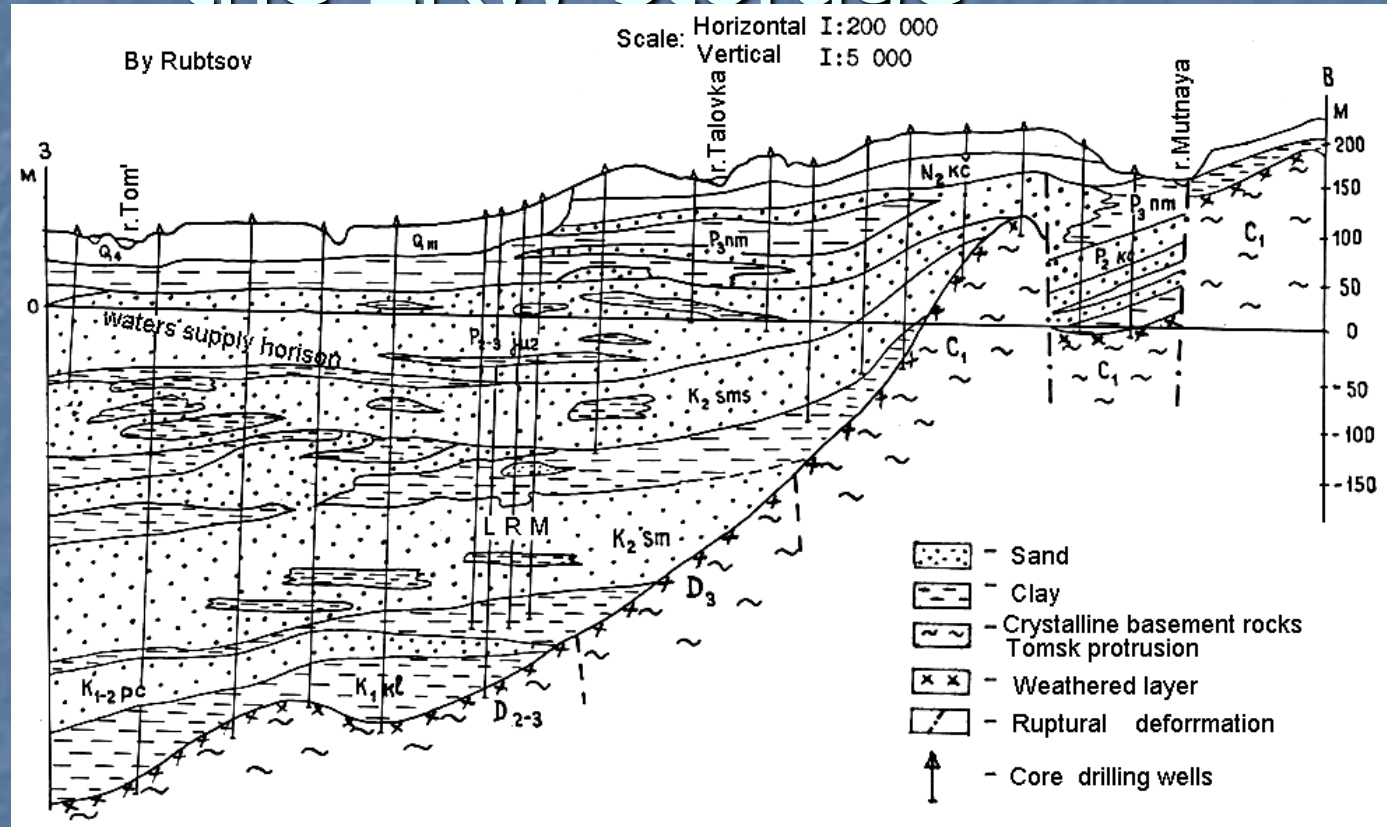


# ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ - ВСЯ СТРАТИФИЦИРОВАННАЯ ТОЛЩА ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОЛИГОНА ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖРО СХК

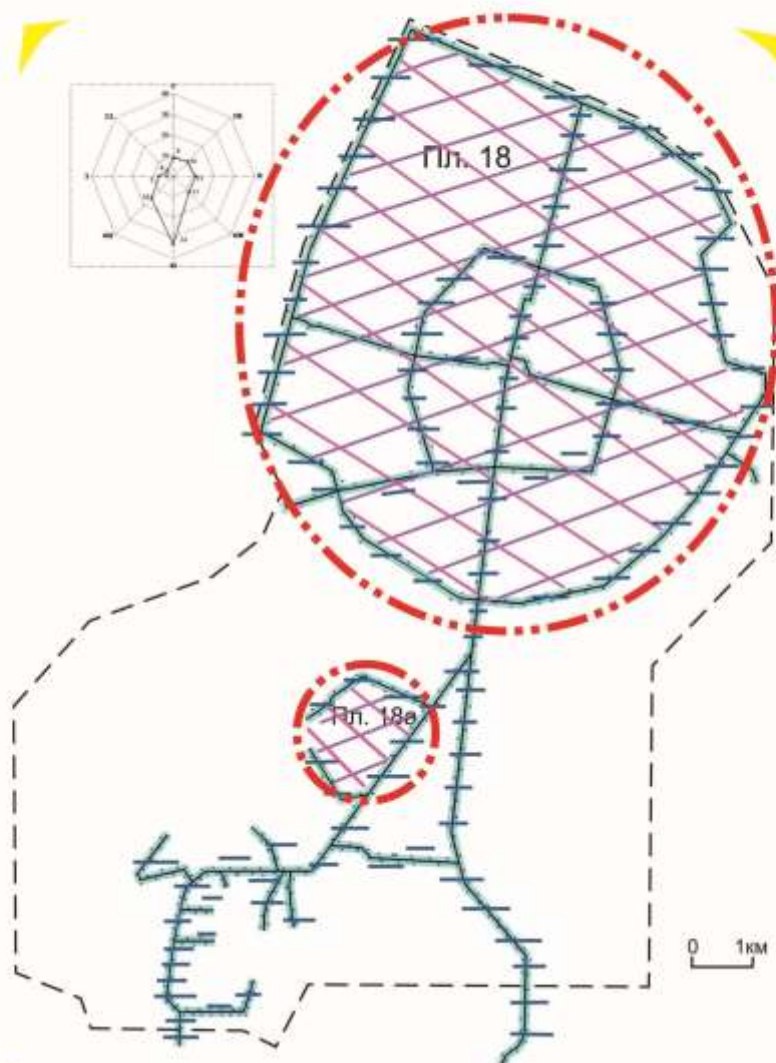


Геотехнологический разрез стратифицированной осадочной толщи в районе расположения полигона глубинного захоронения ЖРО СХК  
 Желтым цветом показаны высокопроницаемые слои,  
 зеленым – низкопроницаемые



# Geological profile in the region of the LRW storage








# Схема техногенной нагрузки на территории подземного захоронения ЖРО СХК



## Условные обозначения:

-  - граница охранной зоны площадок 18 и 18а
-  - дороги с твердым покрытием

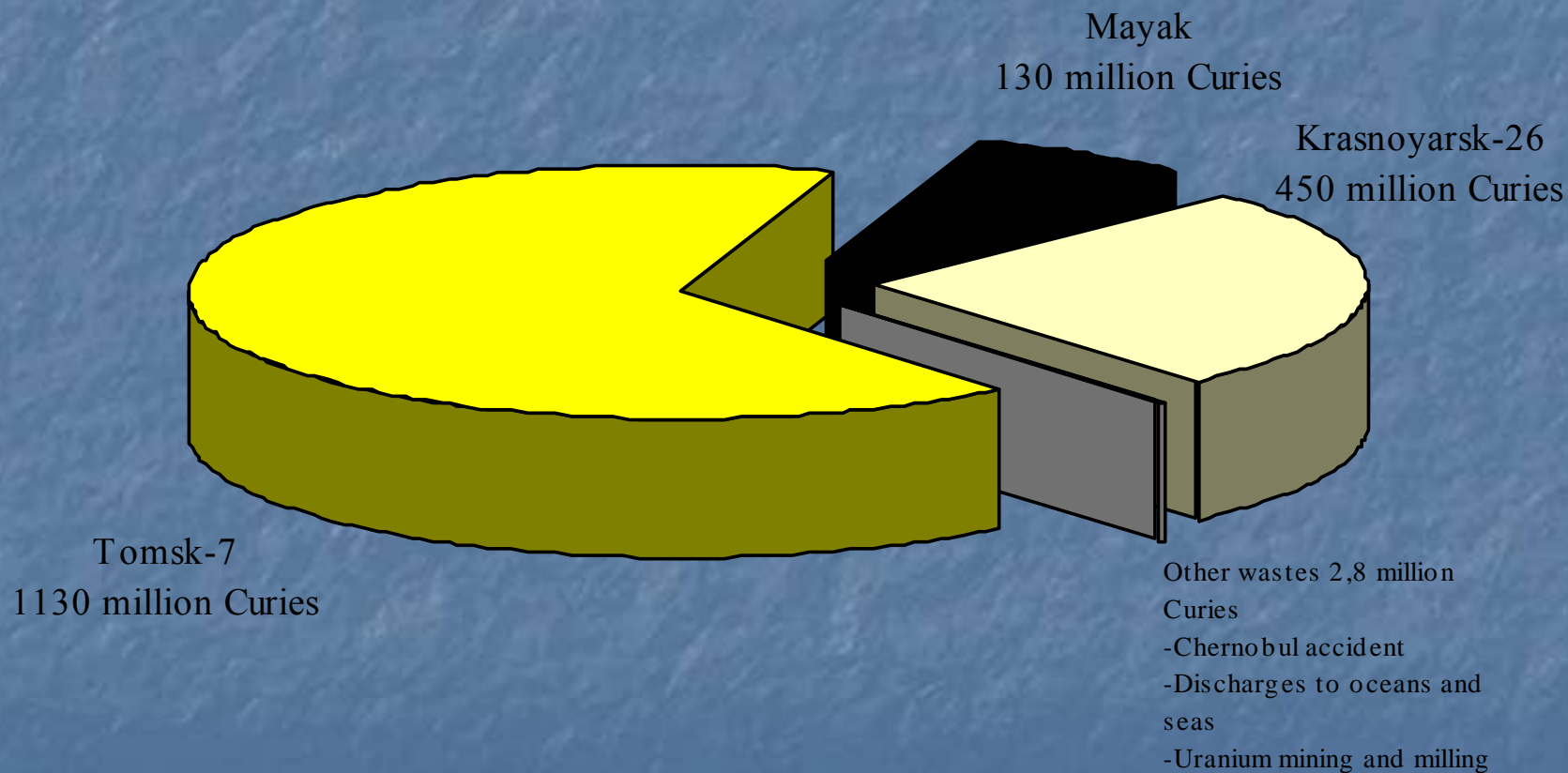
### Виды техногенного воздействия:

-  - радиационное воздействие
-  - физико-химическое(гидратное)
-  - механическое(уплотнение)
-  - внутреннее механическое разрушение
-  - гидродинамическое(повышение напора)
-  - химическое загрязнение (тяжелыми металлами)
-  - тепловой разогрев подземных вод

# Radioactive materials released to the environment by the Russian enterprises [

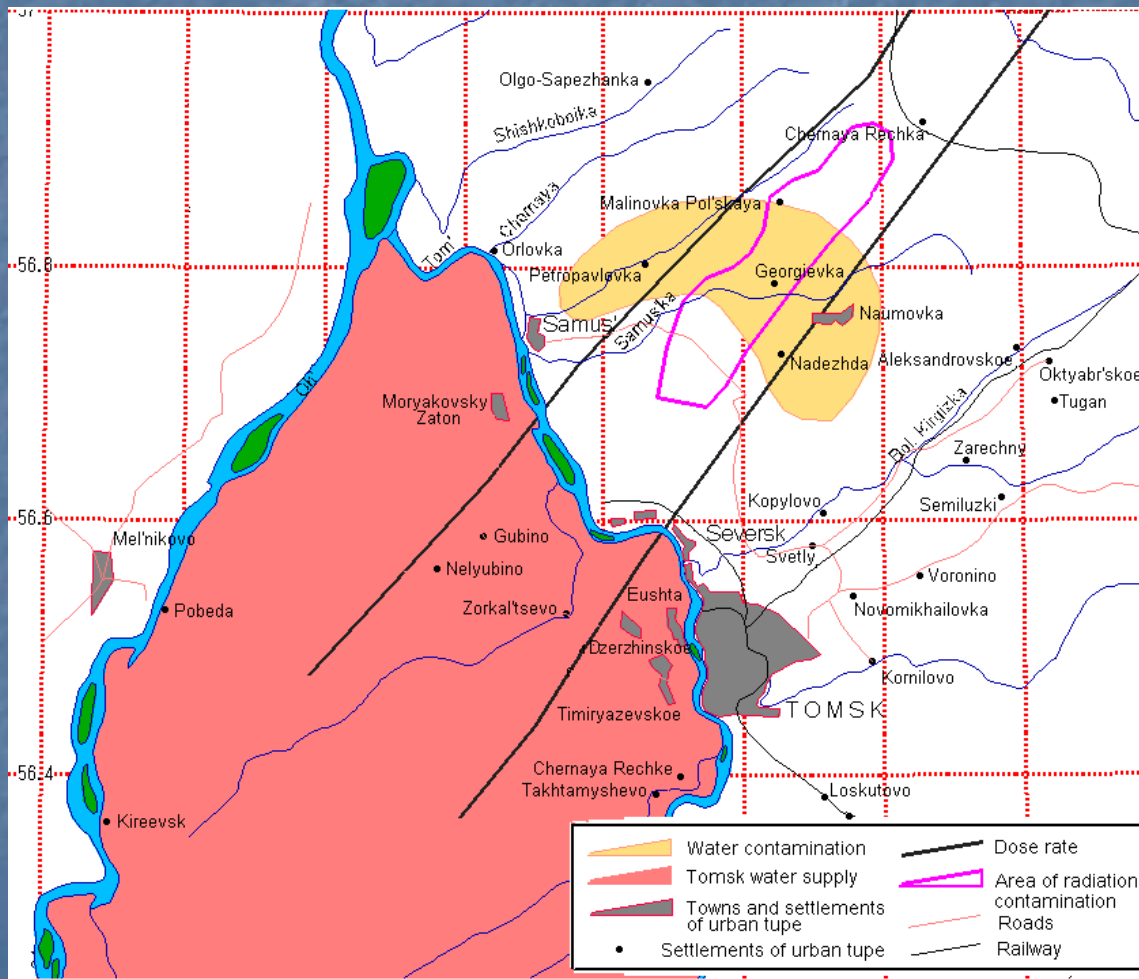
Bradley D.I., Frank C.W., Mikerin Y. Nuclear contamination from weapons complexes in the Soviet Union and the United States //Physics Today, April, 1996. - p.40-45.

]



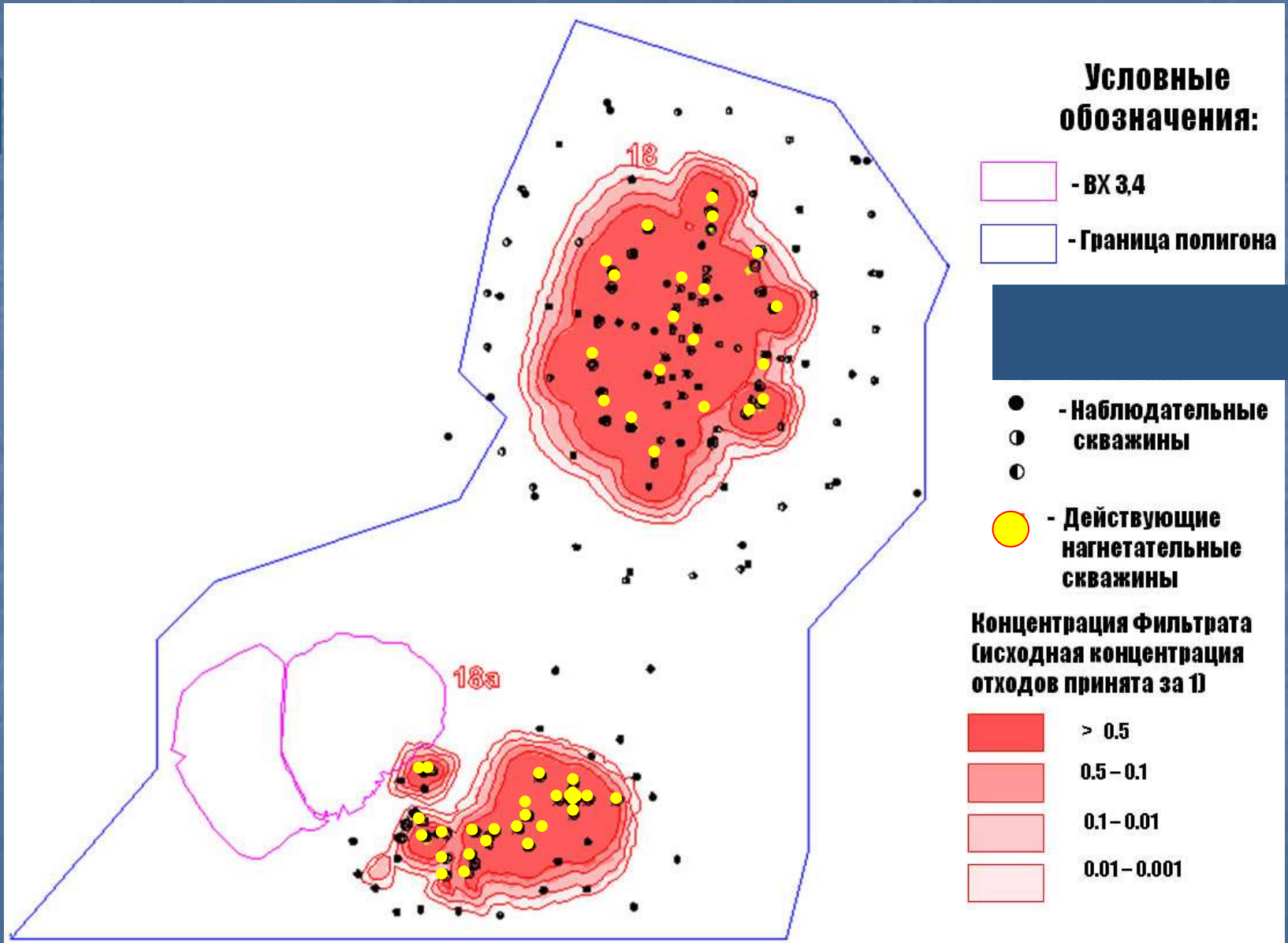


# Ситуационная схема закачки ЖРО в районе г.Томска

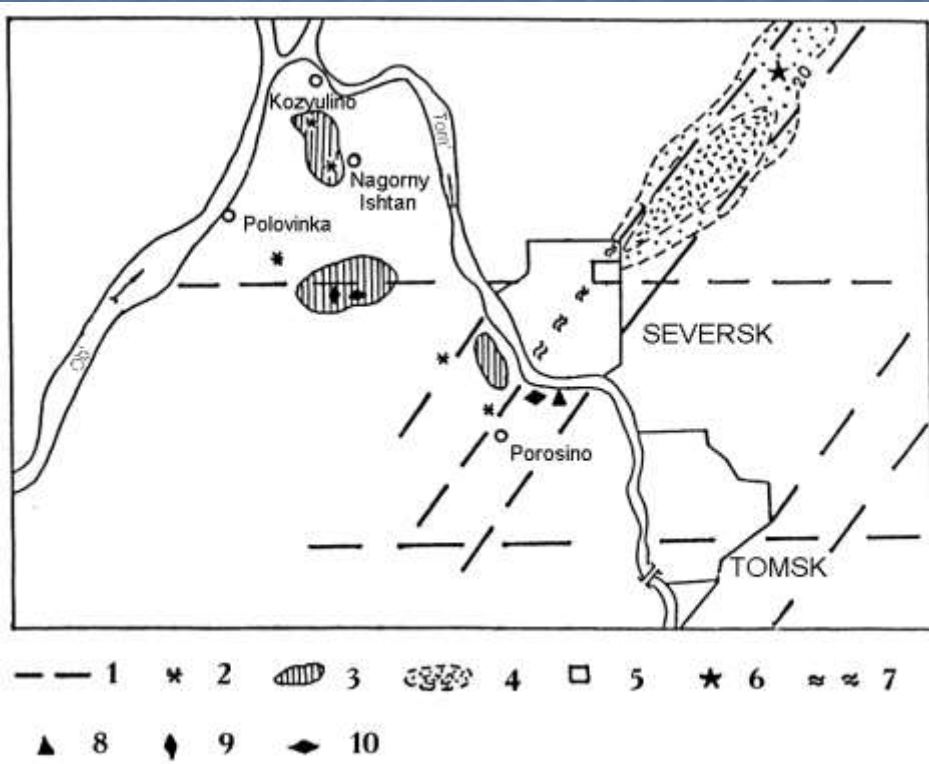


# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭПИГНОЗНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ТЕЛА ФИЛЬРАТА ОТХОДОВ В ПРОНИЦАЕМЫХ ПРОПЛАСТКАХ II ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ГОРИЗОНТА ПОЛИГОНА ГЛУБИННОГО УДАЛЕНИЯ

2006г

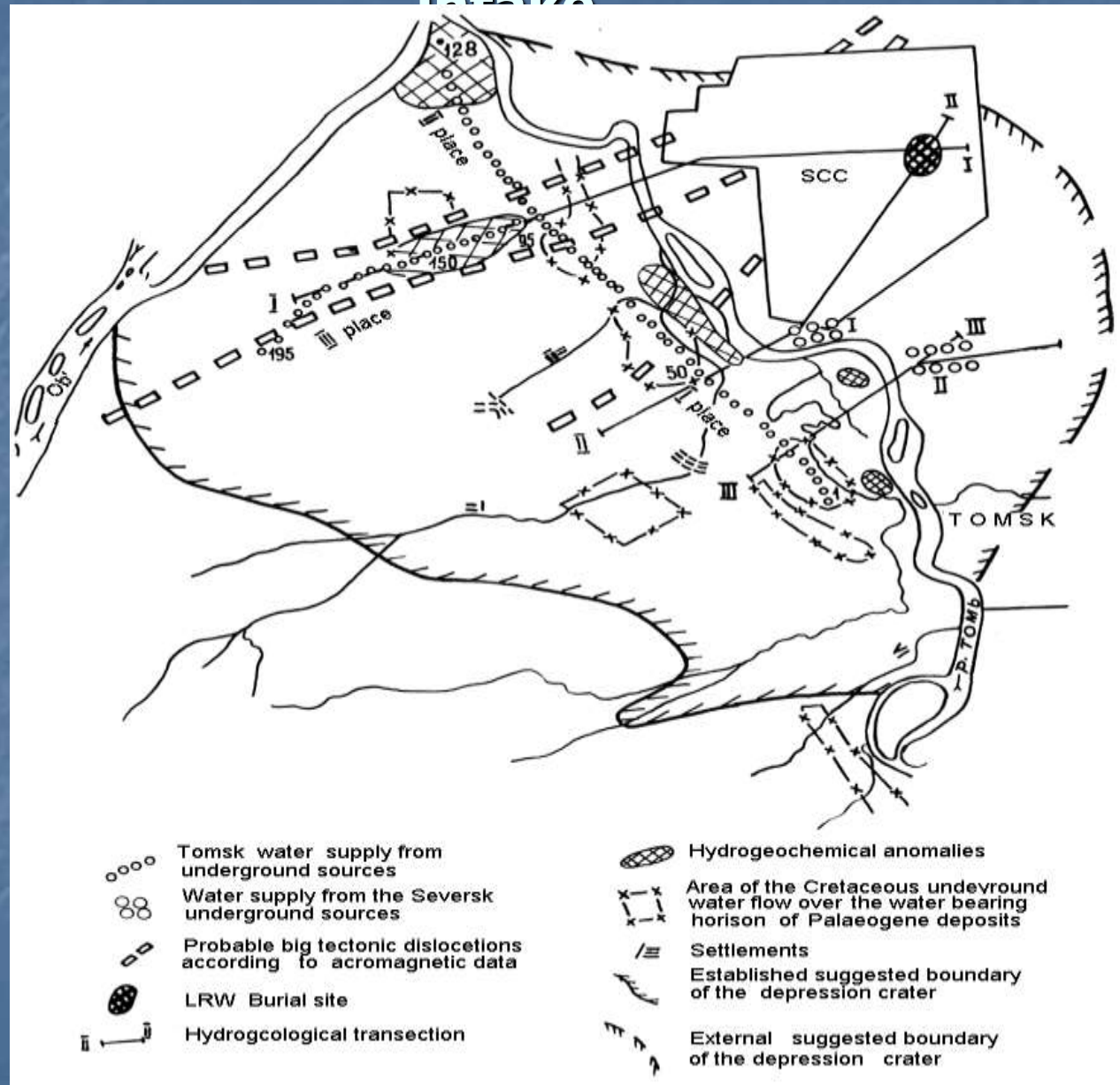


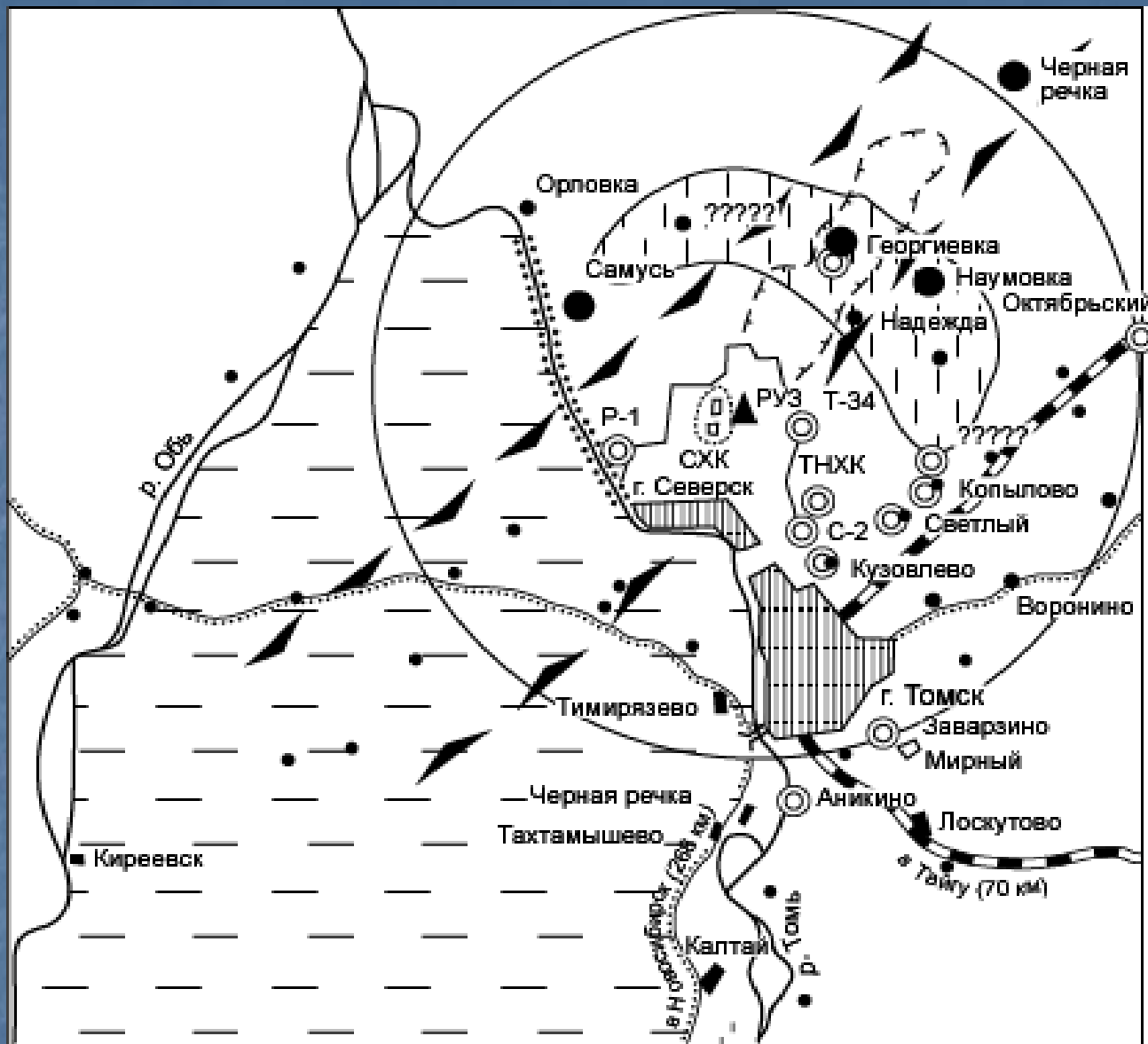
# A schematic map of the geological-tectonic and geochemical situation in the region of the town of Tomsk



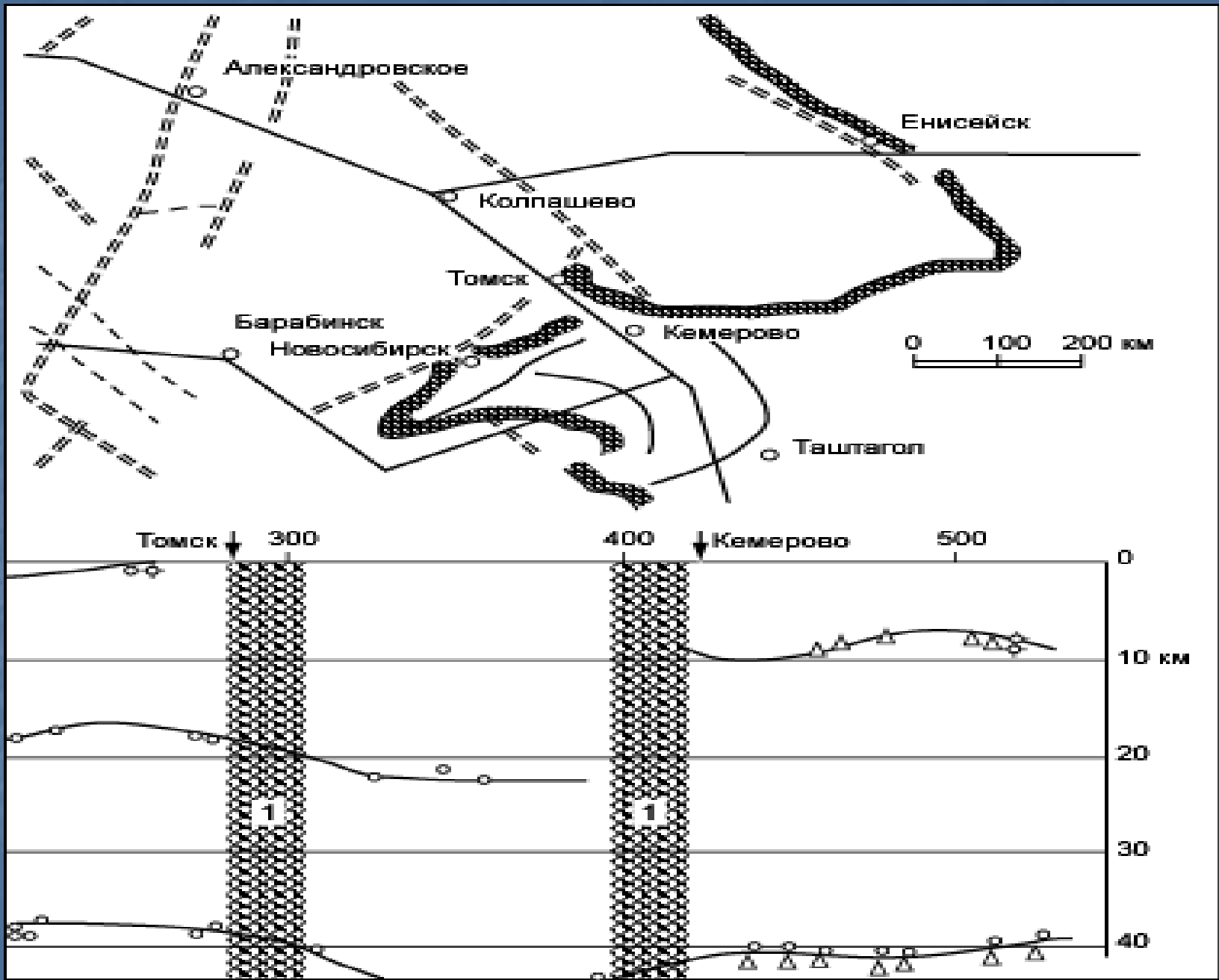
1- serious tectonic disorders assumed according to the aero-magnetic data (surveying and interpretation of the producton-geological association "Beryozovgeology", 1991, N.G.Lyashtchenko et al.); 2 - the wells of Tomsk water intake with high concentrations of chlorine (according to the data of Vostokburvod, Tomskneftgasgeologia, Institute of public housing problems (IPHP)); 3 - hydrogeochemical anomalies according to the data of the IPHP; 4 - the trace of the discharge on April 6, 1993 according to the state on October 1993; 5 - the burial zone of liquid radioactive wastes; 6 -well of the State Geological Enterprise (SGE) "Beryozovgeology" with the signs of cesium-137 and strontium-90 in the subsoil (groundwater) waters. The reason was not established; 7 -flexure zone manifested in the sedimentary mantle

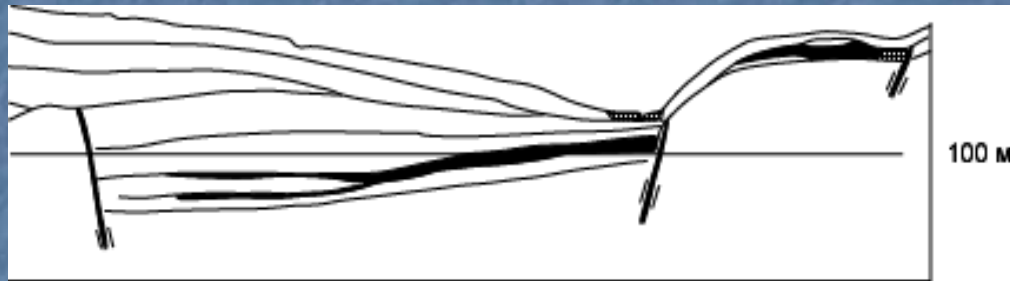
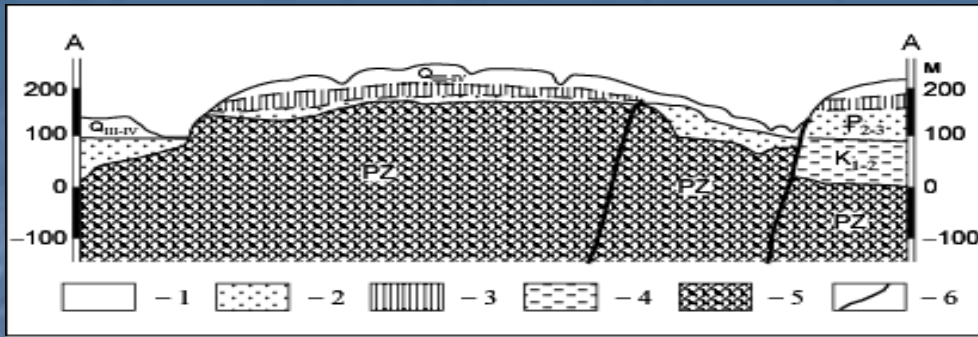
# A schematic map of the geological-tectonic and hydrogeochemical situation in the region of Tomsk water intake



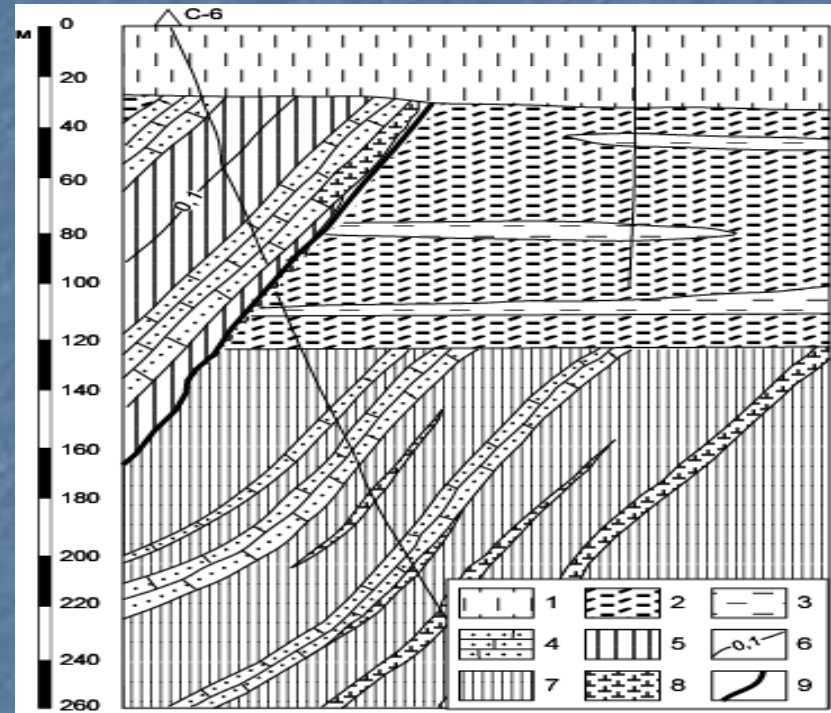


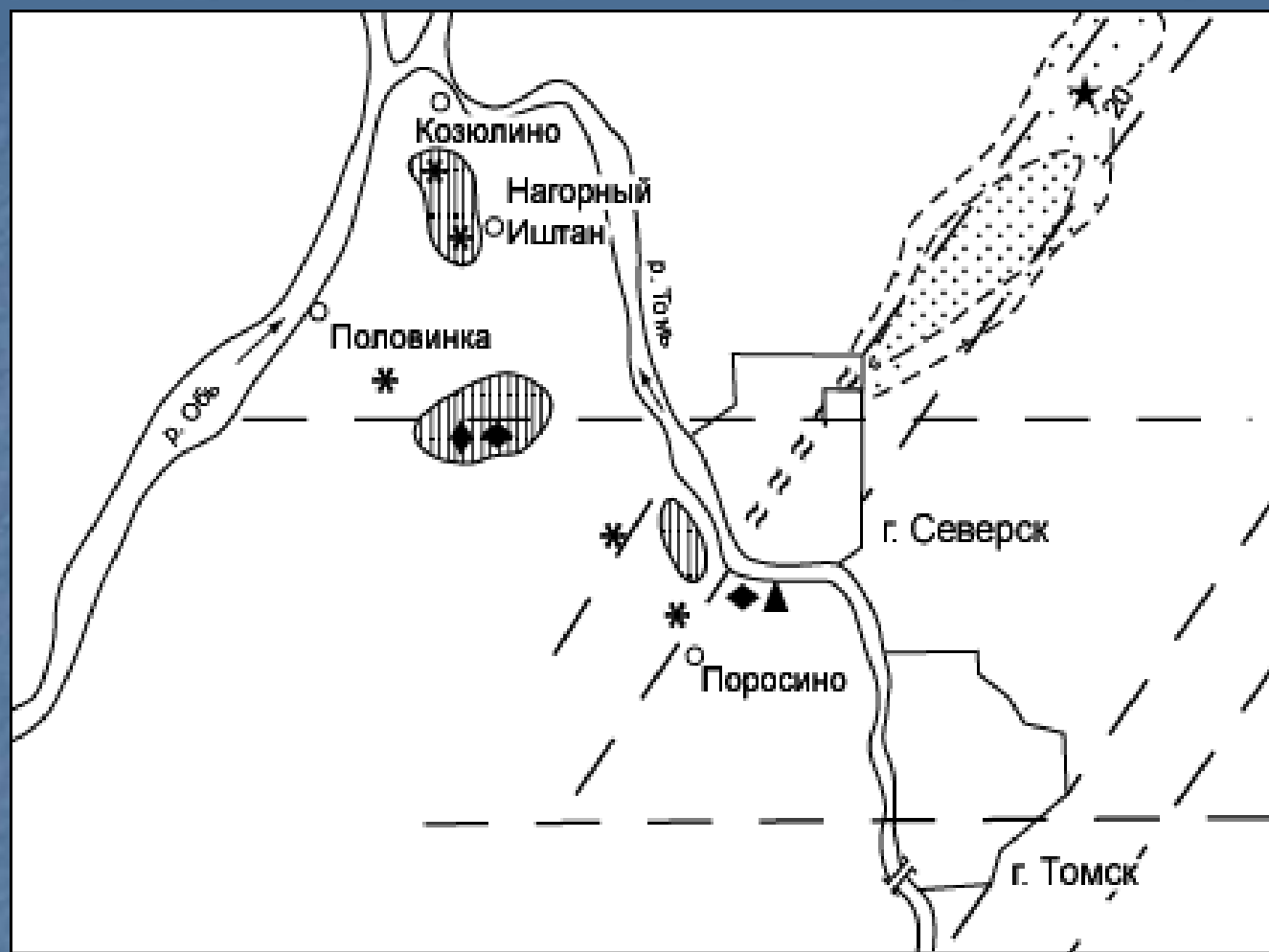
- 1; ▲ — 2; Ⓞ — 3; Ⓜ — 4; Ⓜ — 5; Ⓜ — 6; Ⓜ — 7; Ⓜ — 8;  
 ● а), ■ б), ● в) — 9; Ⓜ — 10; Ⓜ — 11; Ⓞ — 12;













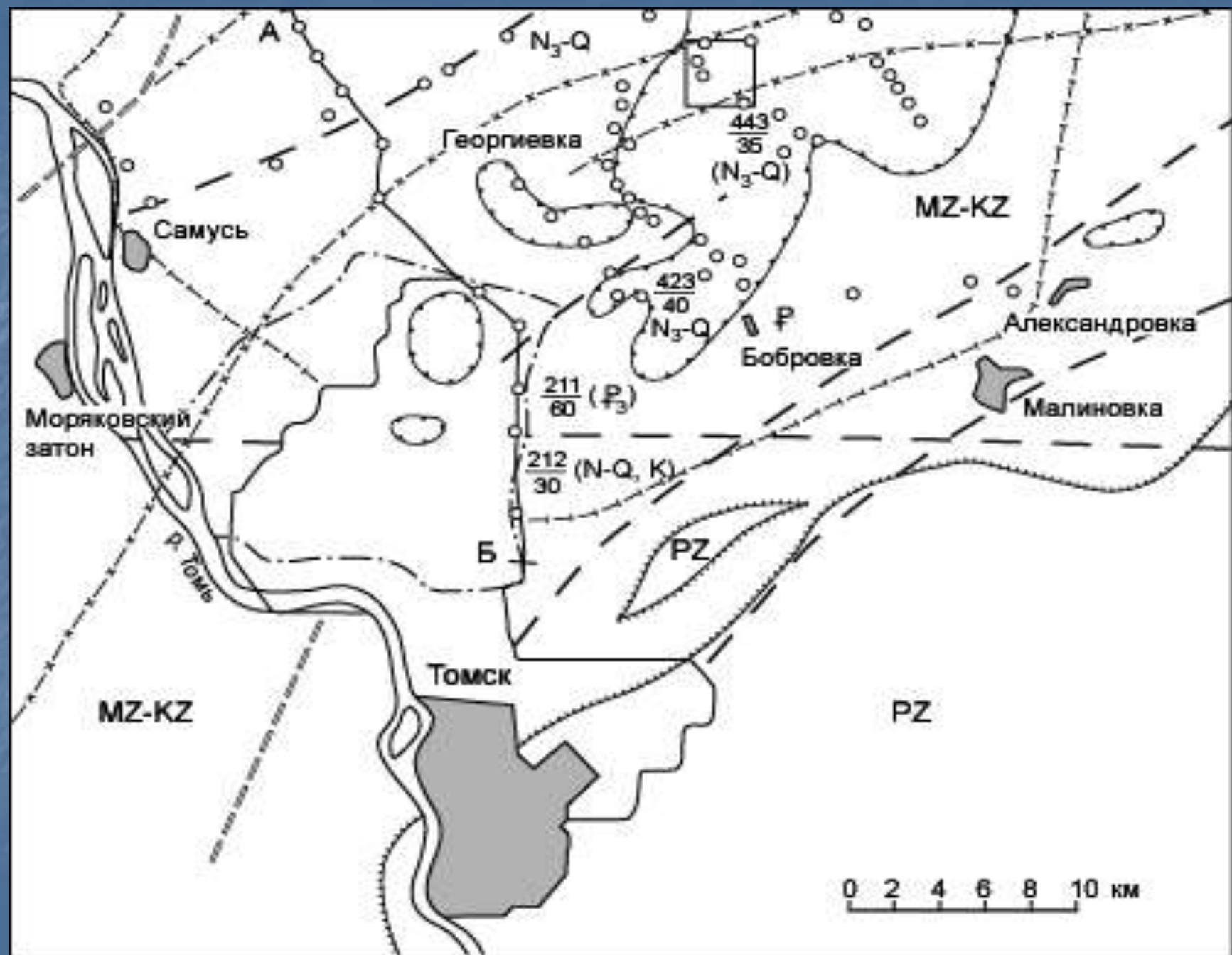
Horizontal scale 1 : 40 000  
 Vertical scale 1 : 3 000





- 1   \* 2    3    4    5    6    7    8
-  9    10









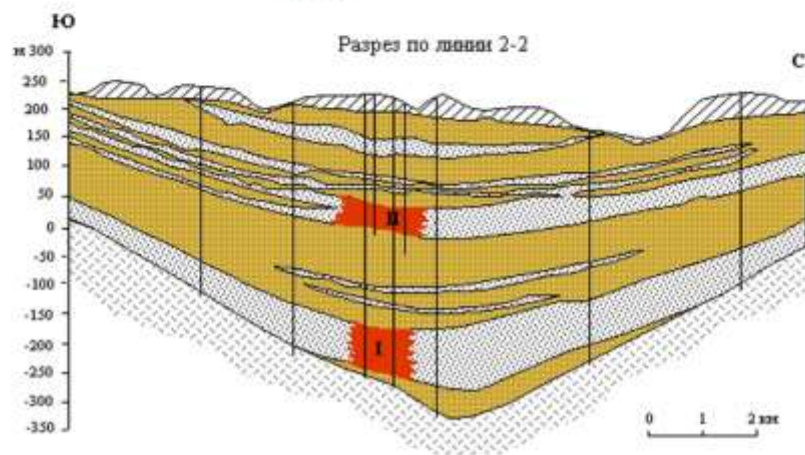
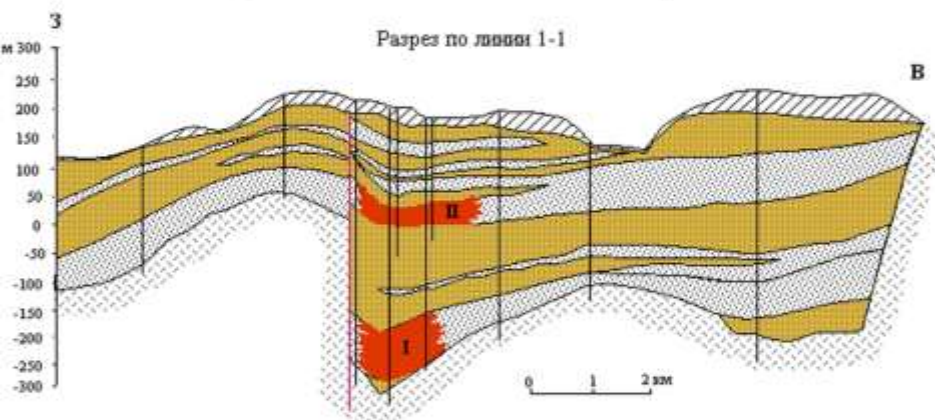
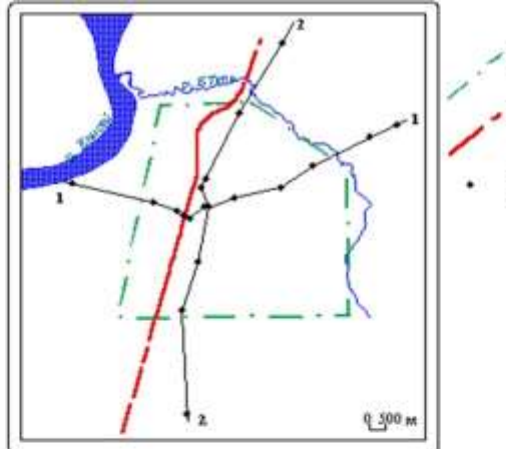


Схема  
расположения  
глубокого  
хранилища  
«полигон  
Северный» и  
геологические  
разрезы  
1 – граница горного  
отвода, 2 –  
тектонический экран,  
3 – скважины