

Институт геоэкологии РАН им. Е.М.Сергеева (ИГЭ РАН), г. Москва,  
[galgeoenv@mail.ru](mailto:galgeoenv@mail.ru)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ  
ХИМИЧЕСКОГО И РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА  
ВОДНЫХ СИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИЯХ РАЗМЕЩЕНИЯ  
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

*Галицкая И.В., Костилова И.А., Позднякова И.А.*

# Задачи исследования

1. Установление пространственно-временных закономерностей изменения химического и радионуклидного состава подземных вод:

- на промплощадках действующих АЭС,

– на промплощадке и в окрестностях полигона захоронения радиоактивных отходов.

2. Разработка рекомендаций по развитию мониторинга водных объектов.

Научно-исследовательские работы проводились ИГЭ РАН по договорам с ФГУГП «Гидроспецгеология» и ГУП МосНПО «Радон»

## Химическое загрязнение ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Индикаторы химического загрязнения - рН, сульфат-ион, натрий, общая жесткость.

Установлена существенная пространственно-временная изменчивость химического, состава подземных вод.

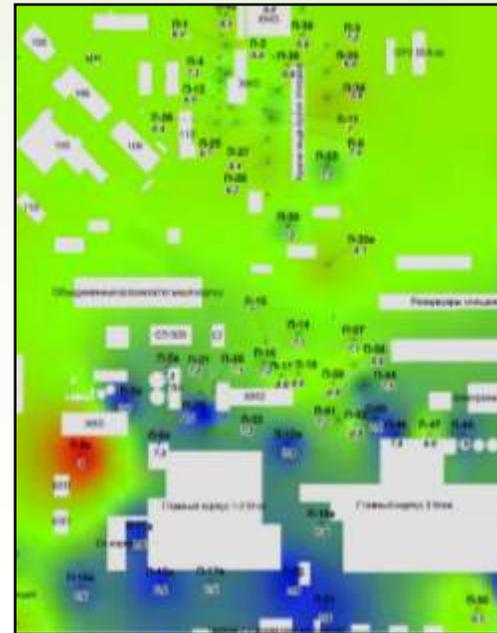
Воздействие протечек привело к формированию на территории площадки чрезвычайно пестрой гидрогеохимической обстановки.

Площадь и уровень загрязнения подземных вод постоянно изменялись в течение всего периода наблюдений, что связано с постоянными протечками различной интенсивности.

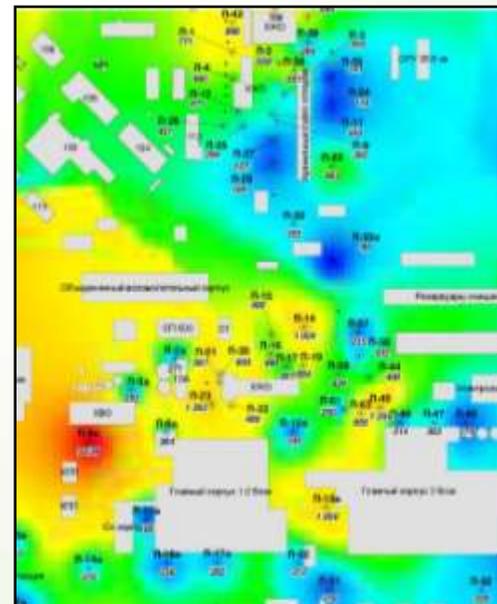
В результате протечек наблюдались изменения рН, общей жесткости, натрия, аммония, сульфатов, нитритов, перманганатной окисляемости.

Наиболее значительные изменения зафиксированы:

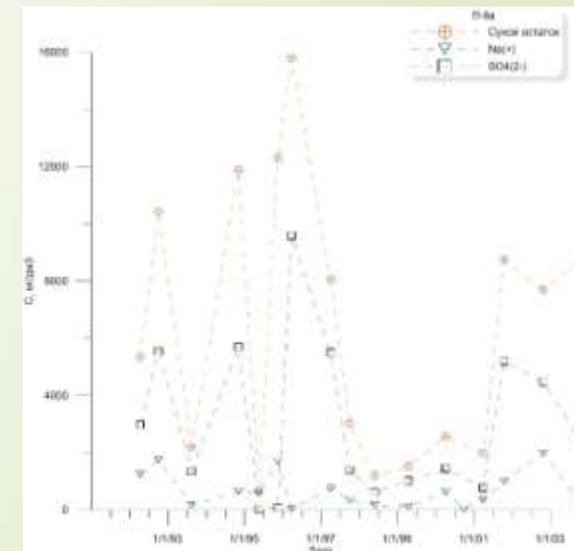
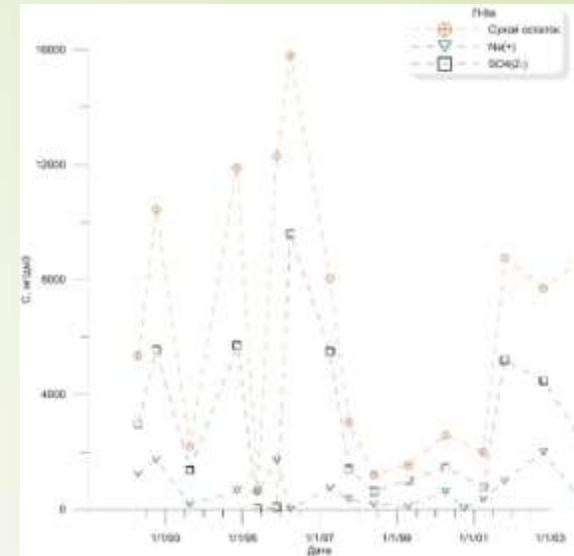
- 1) в районе спецводоочистки,
- 2) западнее хранилища жидких отходов,
- 3) у корпуса химводоочистки.



рН подземных вод



Сухой остаток подземных вод

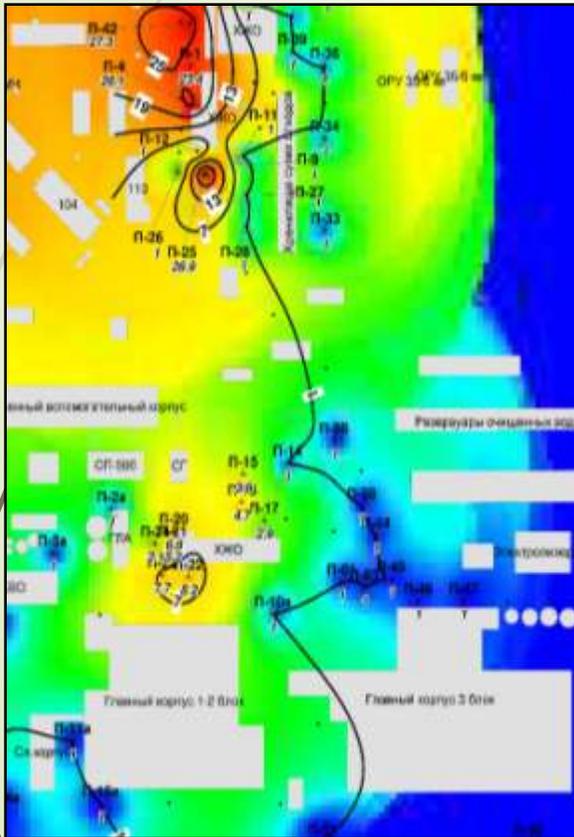


# Радиоактивное загрязнение подземных вод

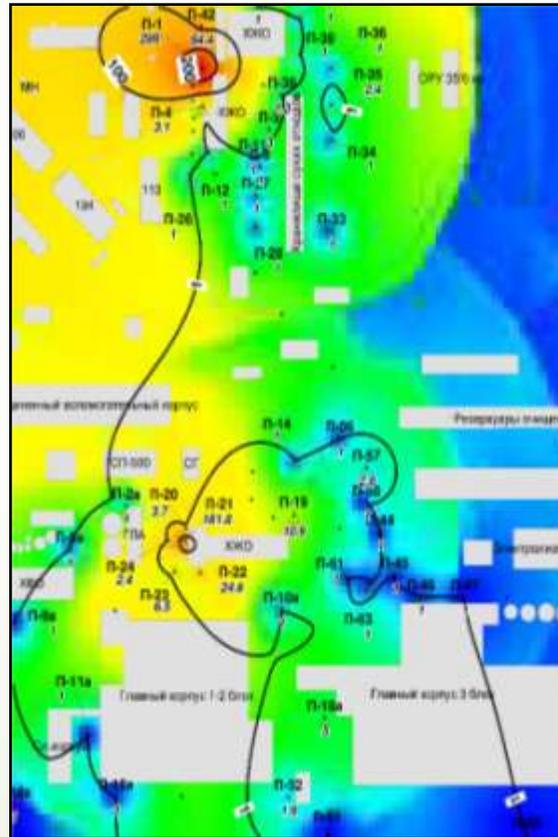
Индикаторы радиоактивного загрязнения - $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{60}\text{Co}$

Загрязнение подземных вод радионуклидами характерно для участков:

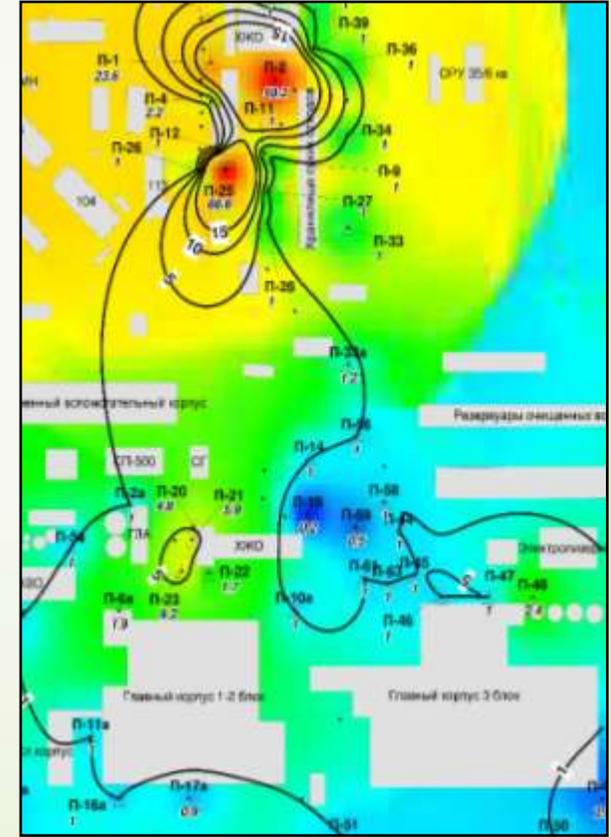
- 1) у хранилищ жидких радиоактивных отходов,
- 2) у спецводоочистки,
- 3) у хранилища ХСО.



Кобальт-60

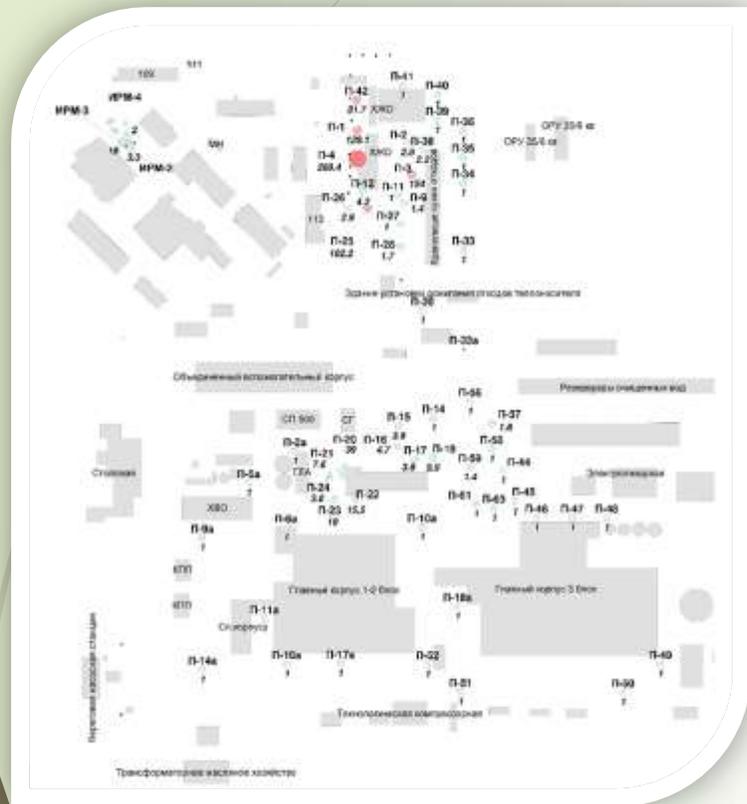


Цезий-137

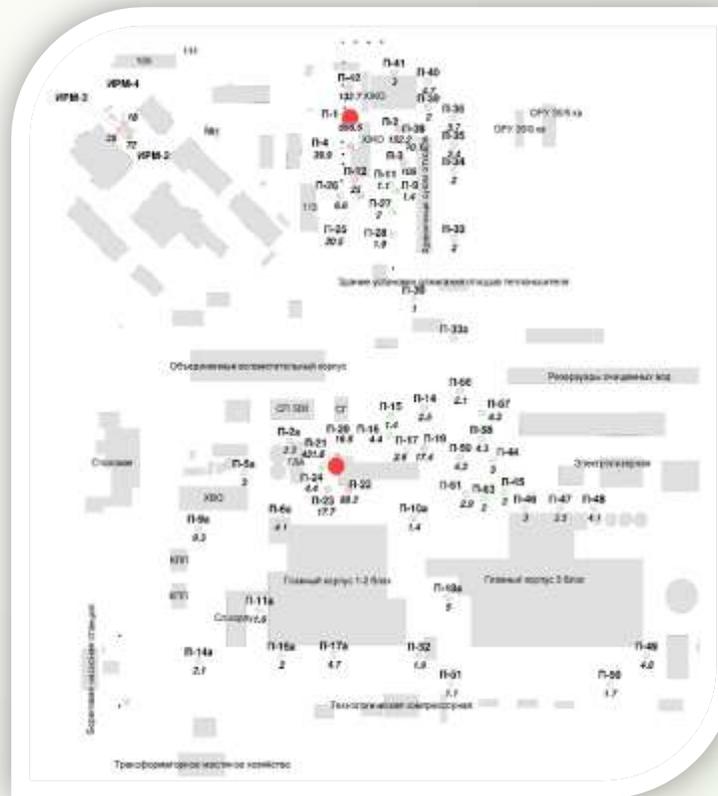


Стронций-90

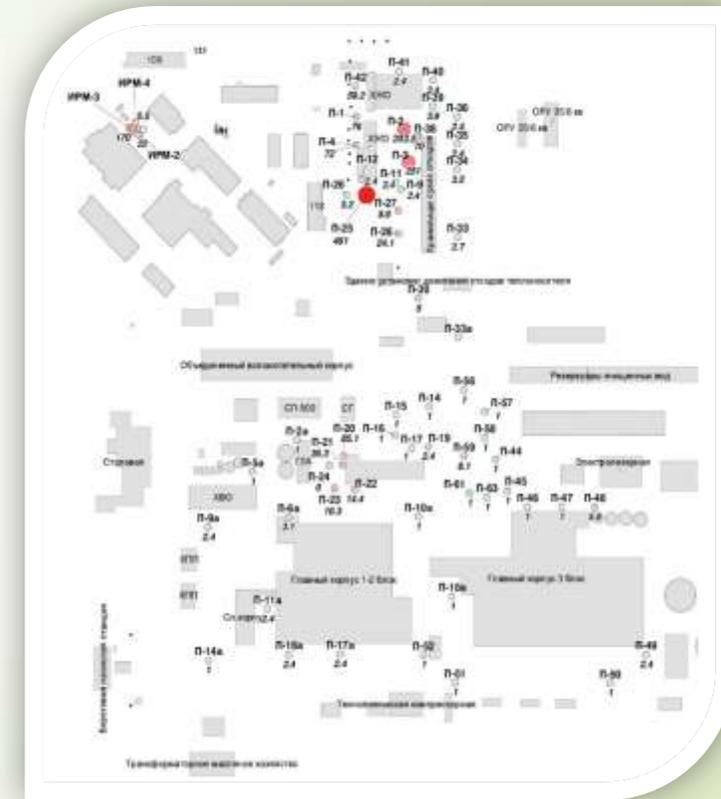
# Максимальные активности кобальта-60, цезия-137 и стронция-90 в подземных водах по данным мониторинга



Кобальт-60



Цезий-137



Стронций-90

## Проверка полноты и достоверности химических анализов воды:

- сопоставление экспериментально найденной величины *сухого остатка* воды с расчетной величиной суммарной минерализации (суммарная ошибка анализа не должна превышать 10 мг/л при минерализации менее 500 мг/л и 2 отн. % при более высоком значении),  
сопоставление *сумм анионов и катионов* в эквивалентной форме, допустимые расхождения этих сумм составляют при суммарных концентрациях анионов 3-5, 5-15 и >15 мг-экв/л соответственно 5-10, 2-5 и 2 отн. %.

### Результаты сравнения :

- Несоответствие катионов и анионов в эквивалентной форме (ошибка – до 92 %).
  - Несоответствие экспериментально найденной величины *сухого остатка воды* с расчетной величиной суммарной минерализации (ошибка до 46 %).
  - Отсутствие данных по концентрациям нитрат-иона, калия, бора, в ряде случаев – по нитрит-иону, основным катионам и анионам.
- Отмеченные недостатки затрудняли интерпретацию результатов и возможность расчета форм миграции.
  - При оценке соблюдения принципа электронейтральности необходимо учитывать реальные формы миграции компонентов, поскольку от заряда ионов зависят их эквивалентные веса, ошибки могут быть связаны с присутствием в водах значительного количества, органического вещества.

# Рекомендации по развитию мониторинга

1. Развитие наблюдательной сети, в том числе за счет ярусных пьезометров, для выяснения пространственных закономерностей миграции загрязняющих веществ в подземных водах и оценки влияния на поверхностные водотоки и водоемы.

Обоснование размещения дополнительных скважин целесообразно выполнить после проведения геофильтрационного и геомиграционного моделирования.

2. Проверка полноты и достоверности химических анализов воды.

3. Включение в программу мониторинга аналитических определений содержания в подземных водах нитрат-иона, иона аммония, железа, бора.

4. Корректировка перечня индикаторов загрязнения за счет более полных сведений о химическом и радионуклидном составе жидкой фазы ХЖО и бассейнов выдержки, а также о составе утечек из сооружений спецводоочистки, химводоочистки и из других потенциальных источников загрязнения.

5. Включение в программу мониторинга исследования химического и радиоактивного загрязнения грунтов.

## Исследования на промплощадке и в окрестностях полигона захоронения радиоактивных отходов

Основная цель исследований – выяснение причин увеличения концентрации радия-226 в подземных водах на территории размещения полигона захоронения радиоактивных отходов.

Для решения данной проблемы были поставлены следующие задачи:

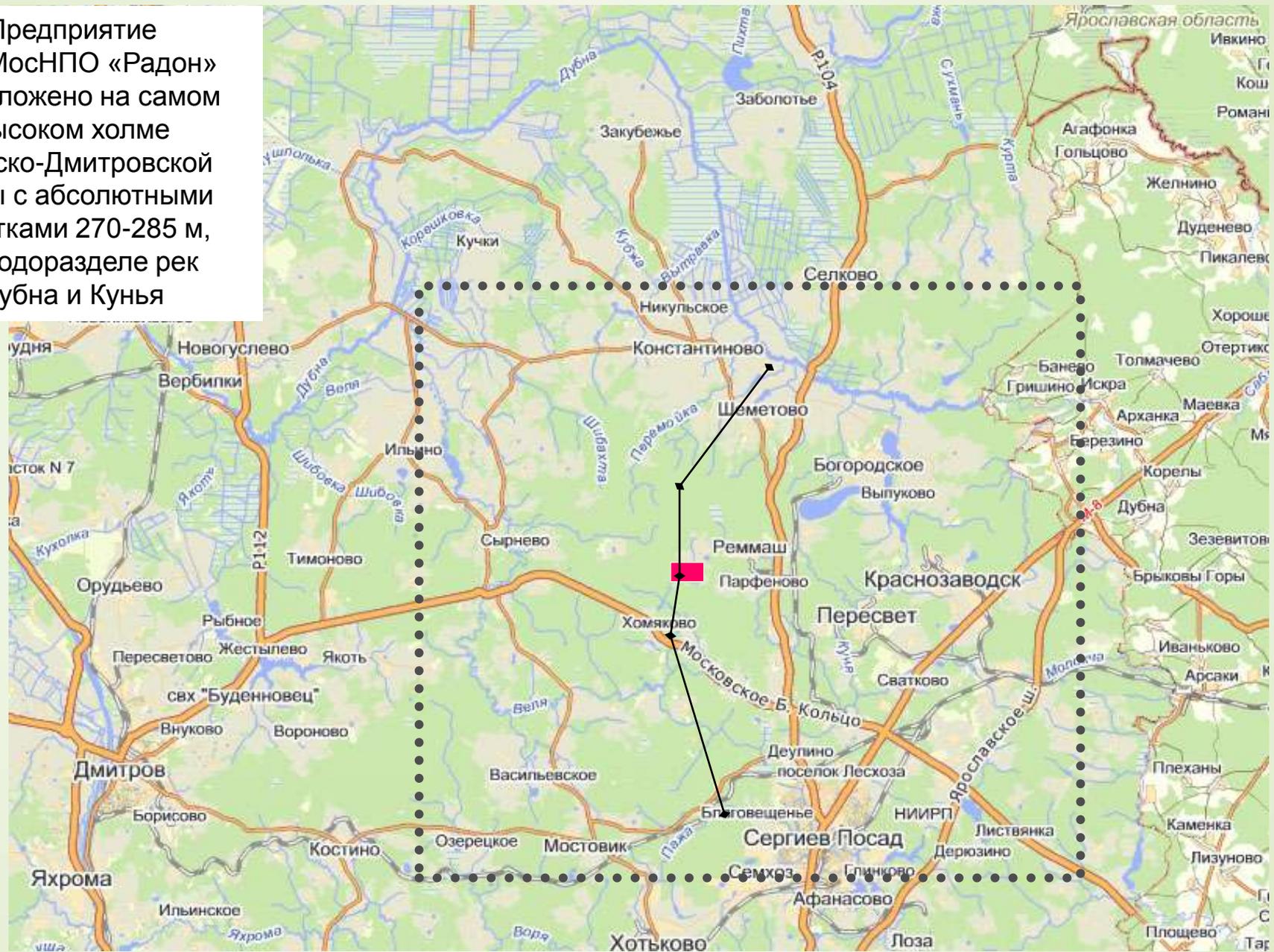
установление закономерностей формирования изотопного состава подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов,

оценка роли природных и техногенных факторов в формировании изотопного состава подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов,

выявление потенциальных источников поступления химических и радиоактивных веществ в подземные воды на территории северо-восточной части Сергиево-Посадского района.

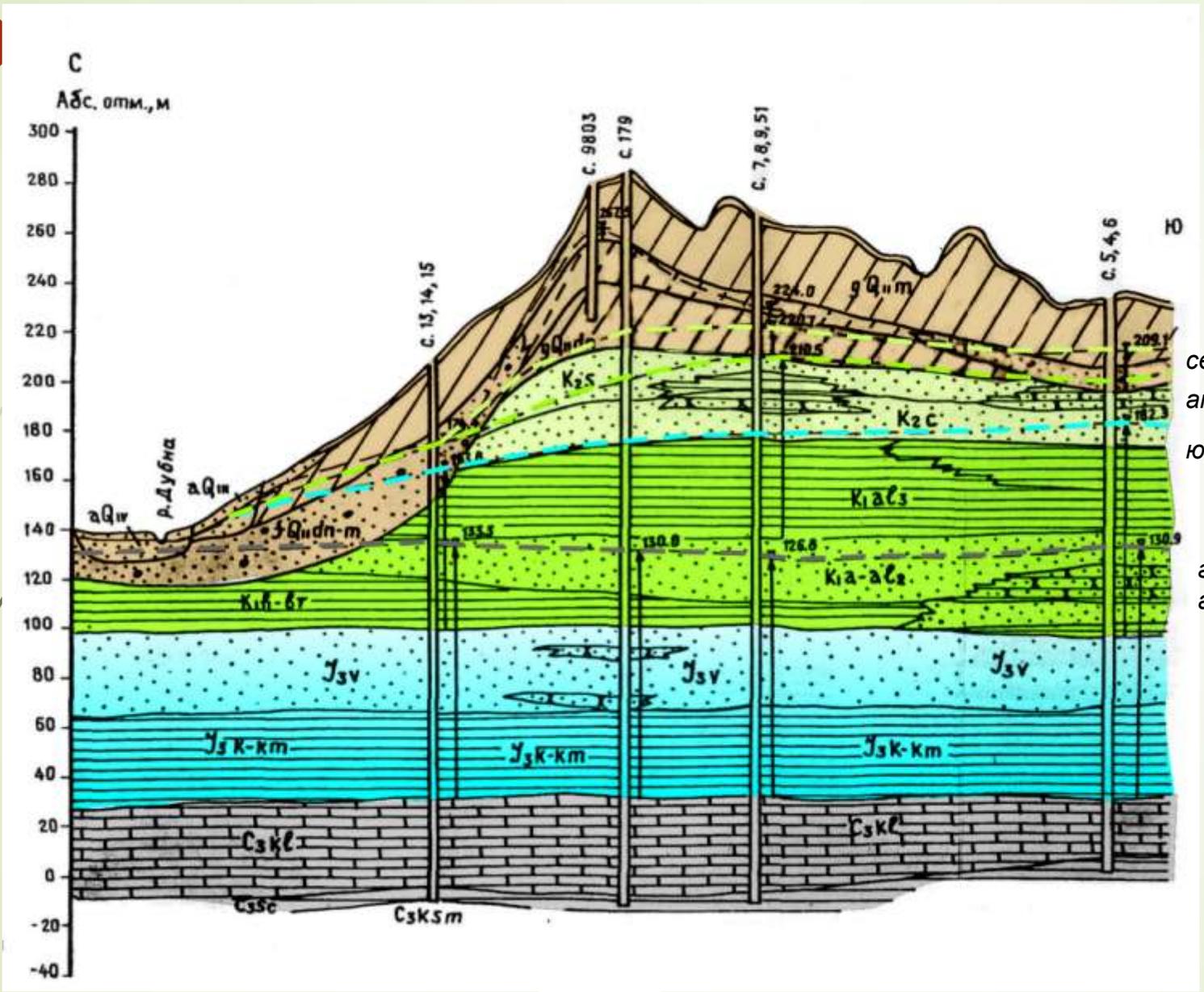


Предприятие  
ГУП МосНПО «Радон»  
расположено на самом  
высоком холме  
Клинско-Дмитровской  
гряды с абсолютными  
отметками 270-285 м,  
на водоразделе рек  
Дубна и Кунья



# Геолого-гидрогеологический разрез

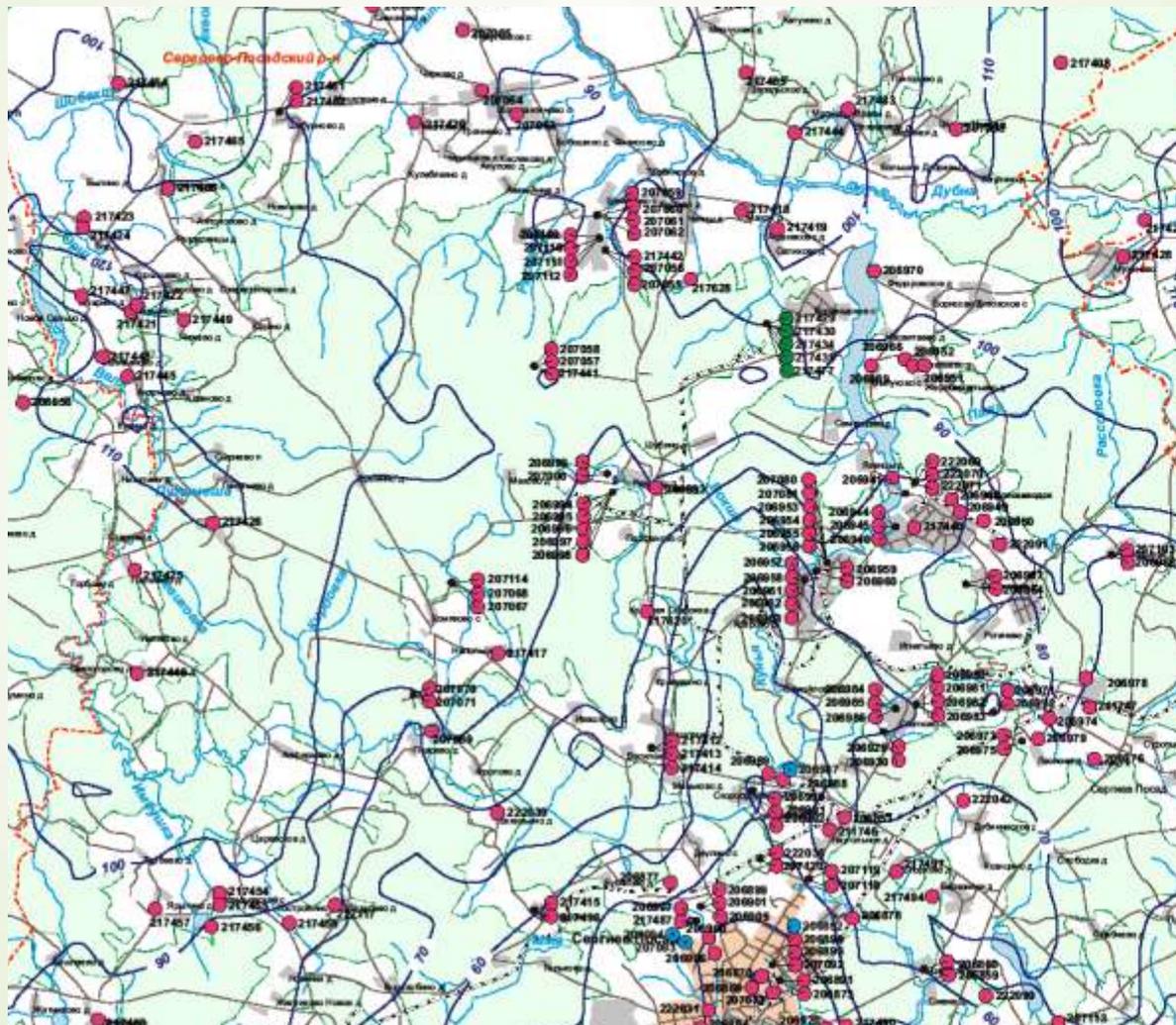
УПВ  
на 1977 г.



сеноманский  
апт-альбский  
юрский  
гжельско-  
ассельский

20 км

Карта напоров гжельско-ассельского водоносного горизонта (Геоцентр Москва, 2007 г, 1:100000)





**Перечень показателей радиационного состава подземных вод**  
Ra-226, удельные суммарные альфа ( $A\alpha$ )- и бета ( $A\beta$ )-активности.

**Перечень показателей химического состава подземных вод**

3 группы показателей:

- обобщенные (интегральные): общая минерализация и определяющие ее концентрации макроанионов ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) и макрокатионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), перманганатная окисляемость;
- приоритетные микроэлементы площадного распространения концентраций элементов преимущественно природного происхождения (**F, Ba, Sr, Fe, Mn, Al, Si**);
- приоритетные мезо- и микроэлементы локального распространения, преимущественно техногенного происхождения (**нефтепродукты,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ , Cr, Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, ПАВ**).



## Изменение гидродинамической ситуации и её влияние на химический и радиационный состав подземных вод

- Региональная гидродинамическая ситуация в гжельско-ассельском водоносном горизонте нарушена в результате интенсивного отбора подземных вод. Максимальные деформации потока соответствуют водозаборам городов Сергиев Посада и Краснозаводск, где абсолютные отметки уровней подземных вод горизонта снизились со 150-140 м до 30 и 80 м соответственно.
- Практически на всей территории исследований в результате инверсии напоров за счет интенсивной эксплуатации гжельско-ассельского водоносного горизонта существуют предпосылки восходящей фильтрации подземных вод из подольско-мячковского водоносного горизонта в касимовский и далее в гжельско-ассельский водоносный горизонт.
- Эксплуатация гжельско-ассельского водоносного горизонта привела к изменению взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами и в результате - к интенсификации перетекания через мезозойско-кайнозойскую толщу, перекрывающую каменноугольные водоносные горизонты и соответственно к активизации взаимодействия фильтрующихся вод с породами.



# Результаты исследования

1. На рассматриваемой территории формируются:

а) площадные поля вод:

- природного происхождения с повышенными ( $> 0.5$  ПДК) величинами общей жесткости и  $\alpha$ -активности, содержаниями ряда микроэлементов (Si, Fe, F) и радионуклида Ra-226,
- природно-техногенного происхождения с повышенными содержаниями железа и тяжелых металлов,

б) локальные поля вод техногенного происхождения с повышенными значениями перманганатной окисляемости, аммонийного азота, нитратов, фенолов.

2. Основные факторы формирования радиационного состава подземных вод :

- минеральный состав (наличие минералов, содержащих природные радионуклиды уран, торий, радий) горных пород водовмещающих и разделяющих слоев (региональный геологический фактор), определяющий специфику природной провинции,
- гидродинамический фактор (в основном условия взаимосвязи водоносных горизонтов и интенсивность водообмена),
- физико-химические факторы (химические свойства радионуклидов, кислотнo-щелочные и окислительно-восстановительные условия, определяющие их миграционную способность и др.).

# Результаты исследования

3. Источник радия может находиться в водовмещающих карбонатных породах (например, при наличии кремней, характеризующихся природной радиоактивностью, а также радиобарита, хокутолита и других минералов, обогащенных радием).

Высокоактивными могут являться и вышележащие отложения, особенно юрские глины, которые на территории Московского региона характеризуются высокой активностью.

Повышенная радиоактивность глин в значительной степени обусловлена наличием фосфоритов, так как фосфоритообразование - один из важных процессов концентрирования урана – источника радия.

Материнские радионуклиды радия – уран и торий могут содержаться в сульфидных минералах. Радиоактивные элементы могут поступать в фильтрующиеся воды в случае нисходящего перетекания через глинистые отложения в результате окисления связанных в различных минеральных формах радия и возможно материнского радионуклида – урана.

## Результаты исследования

4. Выявлена существенная роль нарушенного гидродинамического режима в изменении химического и изотопного состава подземных вод исследуемого района.

Результат данного процесса увеличение не только концентрации железа, тяжелых металлов и других химических элементов в верхнекаменноугольных водоносных горизонтах но и содержания радионуклидов и, в первую очередь, изотопов радия.

Активизация окисления сульфидов глинистых отложений приводит к формированию агрессивных кислых вод, которые активно (до их полной нейтрализации карбонатами и силикатами глинистых толщ) воздействуют на минеральные формы (в том числе радия) в окружающем пространстве.



# Результаты исследования

5. Доказательств влияния техногенных источников на формирование повышенного уровня радиоактивности подземных вод не обнаружено.

Повышенные уровни  $\alpha$ -активности и радия-226 были зафиксированы как в зоне влияния объекта, так и далеко за ее пределами, что свидетельствует о природных региональных факторах формирования радиационной обстановки.

Результаты расчетов численного моделирования вертикальной миграции радионуклидов в зоне аэрации показали, что все количество радионуклида сорбируется моренными суглинками в самом верхнем 20-ти сантиметровом интервале в первые несколько часов миграции.

Главным процессом, контролирующим миграцию радионуклидов в зоне аэрации, является их сорбция породой, которая сдерживает поступление радионуклидов на уровень подземных вод под источником загрязнения.



**Спасибо за внимание!**