



Институт геоэкологии
им. Е.М. Сергеева РАН
Санкт-Петербургское отделение



Изучение и прогноз воздействия горнопромышленных объектов на ресурсы и качество подземных вод

В.Г. Румынин, А.М. Никуленков, Л.Н. Синдаловский, Е.М. Каплан

Санкт-Петербург
24-26 сентября 2025 г.



Санкт-Петербургское отделение
Института геоэкологии РАН
им. Е.М. Сергеева

СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

- Введение: Небольшой исторический экскурс
- Проблемы загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах
 - 1972–2000 гг.
 - 2000–2025 гг.
- Послесловие: другие направления исследований СПбО/НИЦ Гидрогеологии СПбГУ 2000–2025 гг.



Санкт-Петербургское отделение
Института геоэкологии РАН
им. Е.М. Сергеева

Страницы научной биографии В.А. Мироненко

- Высшее образование: ЛГИ, ЛГУ (гидрогеология, математика) 1953–1958 гг.
- ВНИМИ (научный сотрудник, зав. лабораторией) 1958–1972 гг.
- Кафедра гидрогеологии ЛГИ (профессор) 1972–1996 гг.
- СПб Отделение ИГЭ РАН (директор) 1996–2000 гг.
- Межфакультетский центр гидрогеоэкологии СПбГУ (директор) 1996–2000 гг.
- Кафедра гидрогеологии СПбГУ (профессор) 1996–2000 гг.
- Международная деятельность 1989–2000 гг.

КАФЕДРА ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

1975 г.



1985 г.



География исследований кафедры гидрогеологии ЛГИ

(1970–1990 гг.)



- ◆ водозаборы подземных вод
- ◐ геохимические поиски МПИ
- ▲ минеральные воды
- горнодобывающие объекты
- ★ атомные станции и хранилища РАО

1995/1996 г.: СОЗДАНИЕ СПБО ИГЭ РАН и МНЦ Гидрогеоэкологии СПбГУ

Основные действующие лица



Н.М. Проскуряков
член.-корр., ректор ЛГИ



В.И. Осипов
акад., директор ИГЭ РАН



В.А. Мироненко
член.-корр., директор СПБО ИГЭ РАН



Л.А. Вербицкая,
ректор СПбГУ

1995 год – создание в Ленинградском горном институте Комплексной лаборатории гидрогеологии и природосберегающих горных технологий РАН и Госкомвуза РФ

1996 год – создание ИГЭ РАН и преобразование Лаборатории в СПб Отделение ИГЭ РАН

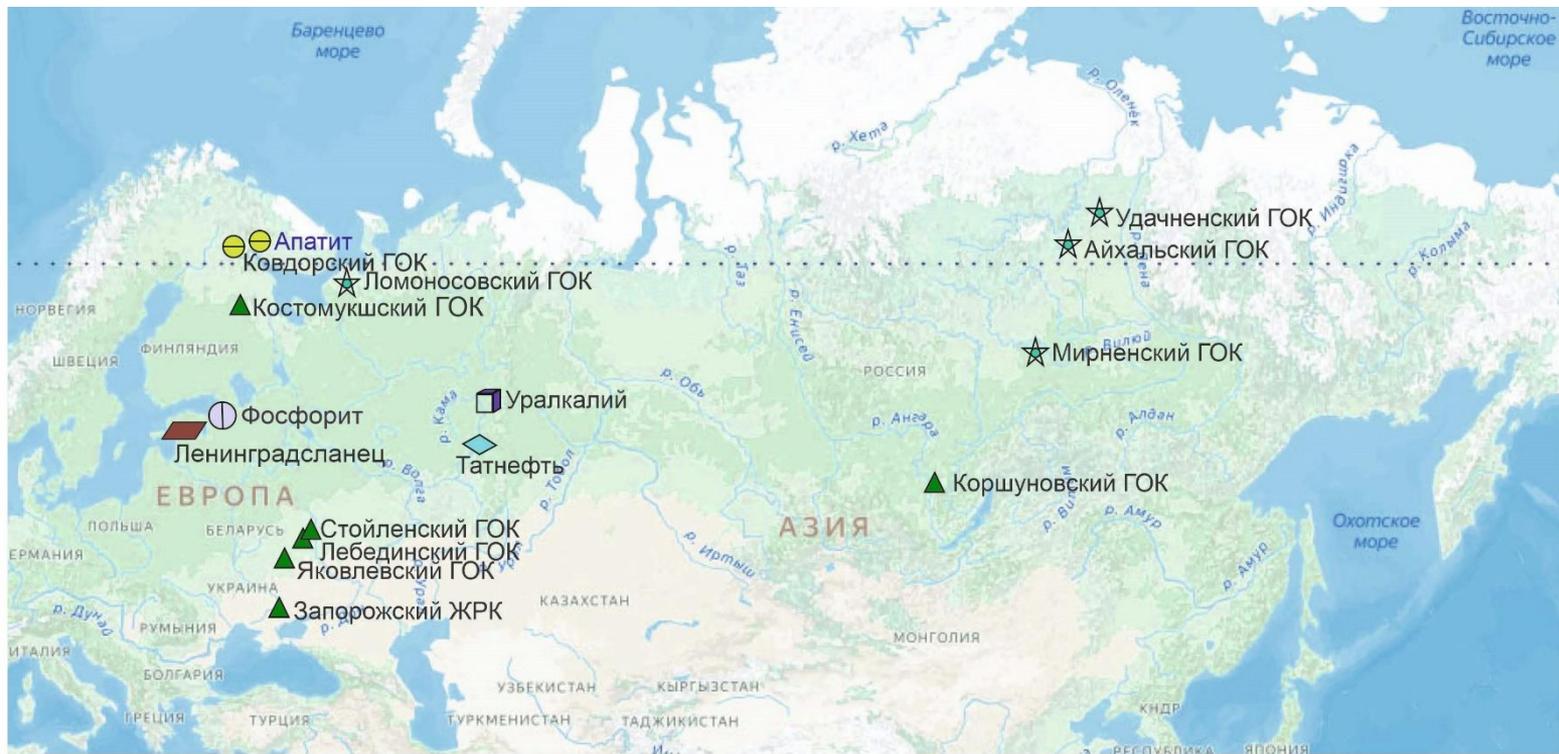
1996–1997 годы – интеграция СПб Отделения ИГЭ РАН в структуру СПбГУ (Межфакультетский центр Гидрогеоэкологии)

МОНОГРАФИИ (1974–1999 гг.): ЛГИ–ВНИМИ–МГУ–ВИОГЕМ –СПБО/СПБГУ



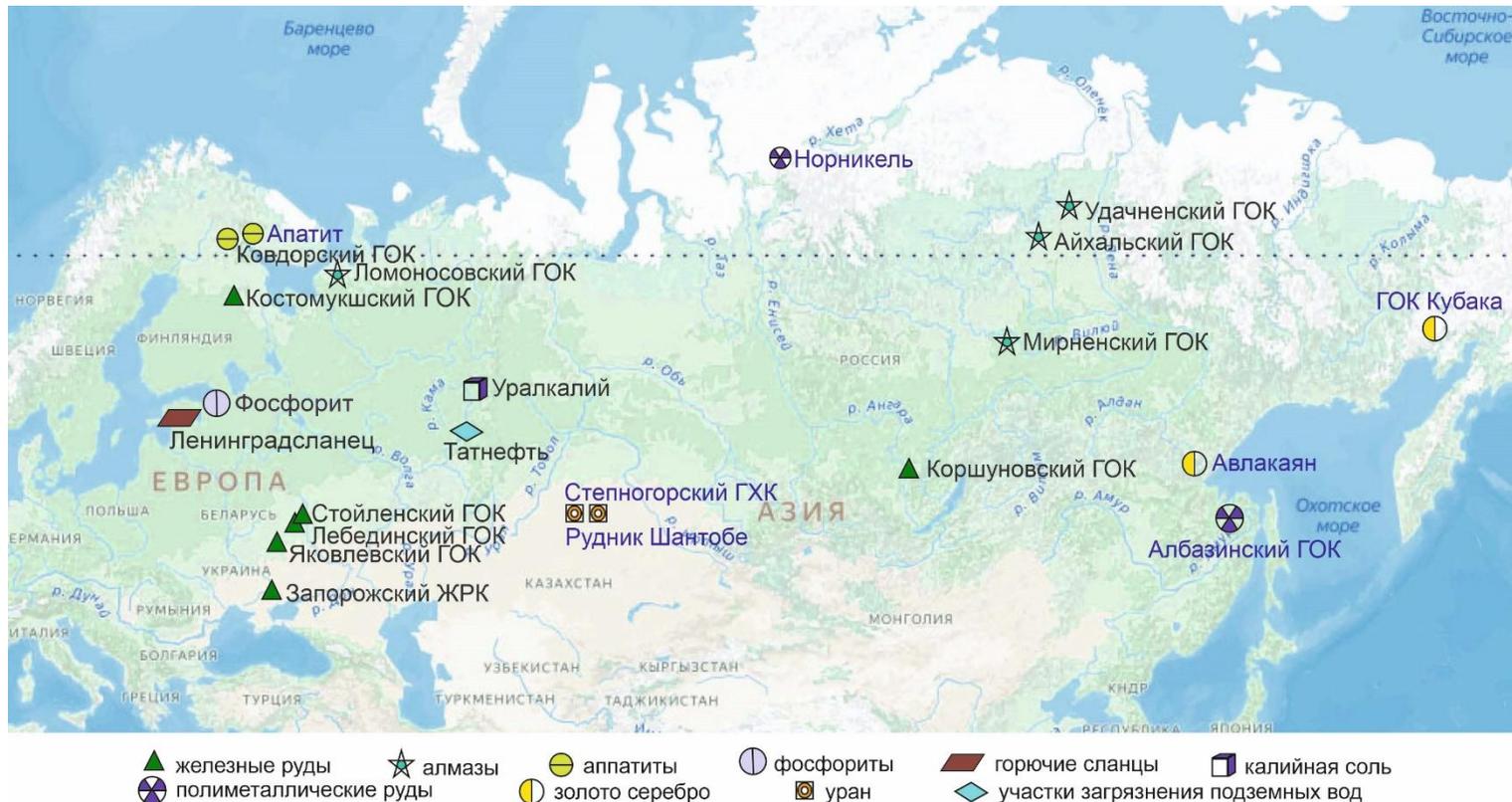
Гидрогеологические исследования на горнорудных объектах, выполненные под руководством В.А. Мироненко

1972–2000 гг.



Горнорудные объекты исследований кафедры гидрогеологии ЛГИ, СПбО ИГЭ РАН/НИЦ Гидрогеологии СПбГУ

2000–2025 гг.



Источники загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах

Шламо- и хвостохранилища

(флотореагенты, азотные соединения, минеральные соли)

Дренажные и шахтные воды

- а) окисление сульфидов, нитраты и аммоний (буровзрывные работы -аммонийная селитра)
- б) подтягивание соленых вод из глубинных частей разреза

Горные отвалы

- а) рудные месторождения
- б) месторождения калийных и фосфатных солей

КМА: Губкинско-Стойленский ГПР (Лебединский и Стойленский ГОКи)

Основные объекты



Лебединский карьер (1964 г.)



Рабочий борт Лебединского карьера (1974 г.)



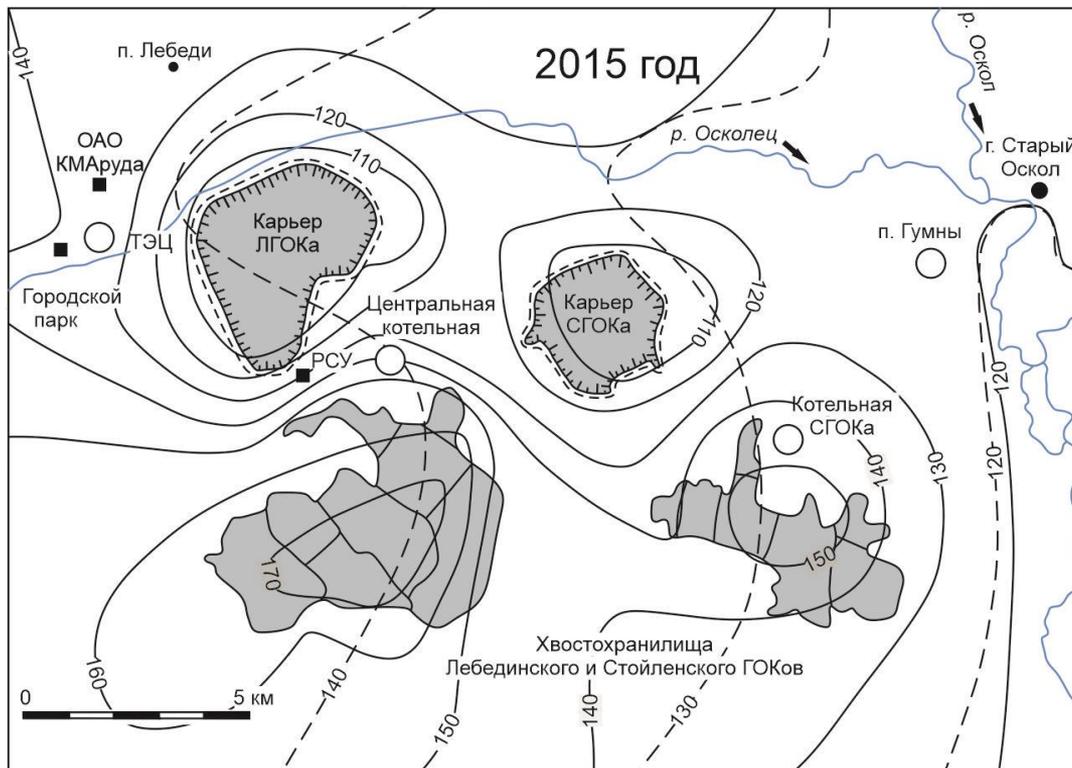
Гидроотвал «Березов лог»



Основные результаты

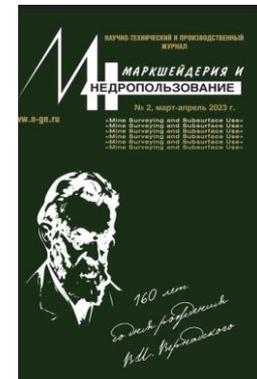
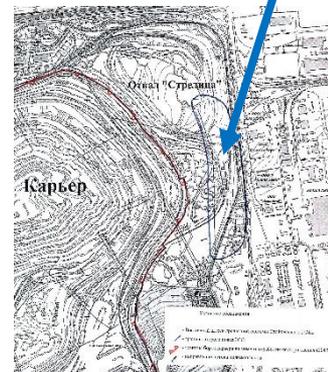
- ❖ Доказана стабильность состава подземных вод в условиях замкнутого водно-балансового цикла (природная реабилитация)
- ❖ Предложены оригинальные методы исследования проницаемости техногенных отложений в основании хвостохранилищ ГОКов, определяющие условия взаимосвязи поверхностных и подземных:
 - инфильтрометрия,
 - термозондирование донных отложений,
 - прослеживание температурных волн в скважинах
- ❖ Разработан комплекс опытно-миграционных работ в водоносных горизонтах
- ❖ Разработаны теоретические модели макродисперсии вещества в ВГ
- ❖ Построены первые численные модели объекта (совместно в ВИОГЕМ)

Гидродинамическое равновесие в условиях замкнутого водно-балансового цикла



Гидроизогипсы: --- естественный режим — нарушенный режим

Восточный штрек дренажной системы



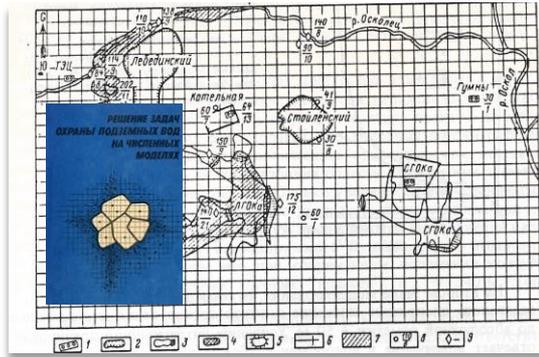
ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ В СТАРООСКОЛЬСКО-ГУБКИНСКОМ ЖЕЛЕЗОРУДНОМ РАЙОНЕ (РЕГИОН КМА)

Е.И. Писорельцева, АО «Стойленский ГОК», Старый Оскол, Белгородская обл., Россия
 Е.Ю. Потанина, ЗАО «Геликс Ковалтинг», Москва, Россия
 В.В. Хаустов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

2. Выявлено, что в течение прогнозного периода (вплоть до 2045 г.) отсутствует непосредственная угроза загрязнения подземных вод питьевого качества, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Губкин и Старый Оскол и прочих населенных пунктов исследуемого района.

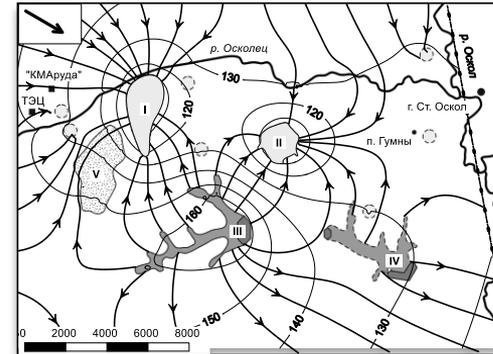
1974–2020 гг.: Развитие модельных подходов

Численная (сеточная) модель (ВИОГЕМ, 1992)

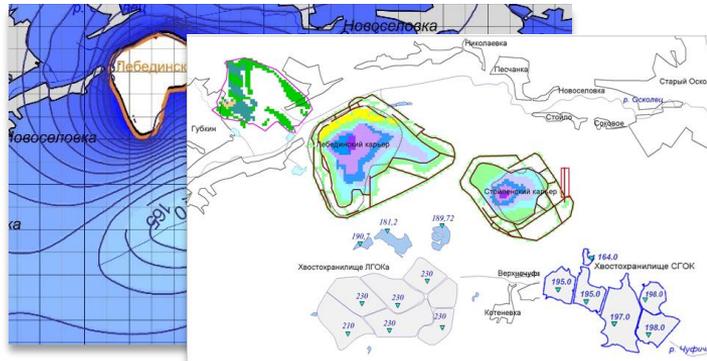


Аналитическое моделирование (ANSDIMAT), 2020

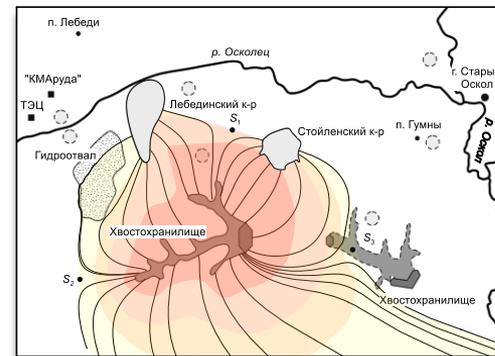
Сетка движения подземных вод



Численная (сеточная) модель (ЗАО «Геолинк», 2020)



Динамика распространения техногенных вод



Разработка моделей миграции в трещиновато-пористых породах

Обобщенное решение 3D проблемы: Румынин, Синдаловский, 2024 (ANSDIMAT-C)

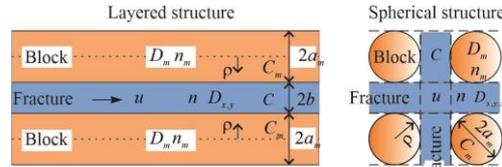
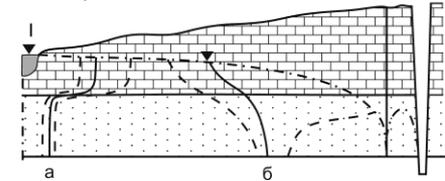
Геологический разрез месторождения



Концептуальная схема к прогнозу загрязнения подземных вод (В.А. Мироненко, 1974 г.)

Дренаж карьера

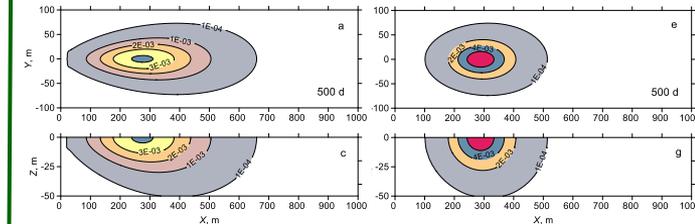
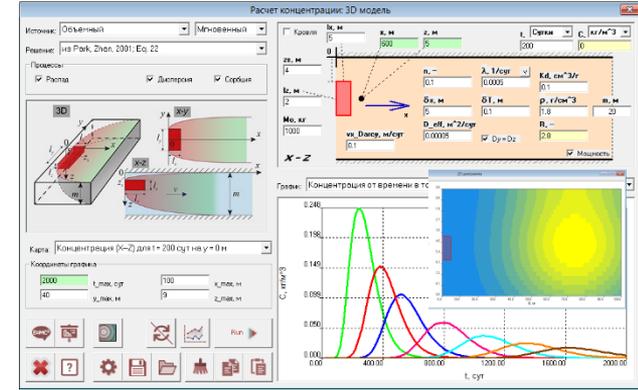
Хвостохранилище



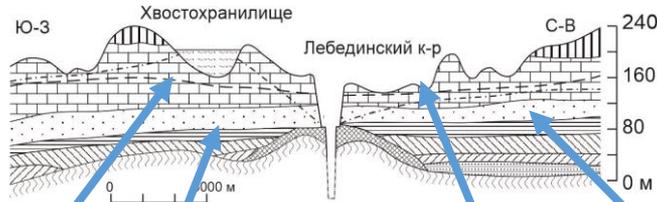
$$C_i = M_{p,i,a,v} \omega_m \exp(-\gamma\tau) \int_0^{t/R} f(\theta) g_i(\eta, \tau - \eta) d\theta$$

$f(\theta)$ - функция Грина (табл.), $g(\eta, \tau - \eta)$ - функция массобмена

M, q	Геометрия источника	Функция Грина $f(\theta)$
M_{a, q_a}		$\frac{1}{4nb\sqrt{\pi D_x \theta}} \exp\left[-\frac{(x-u\theta)^2}{4D_x \theta}\right] \times$ $\times \operatorname{erfc} \frac{y-y_0}{2\sqrt{D_y \theta}} - \operatorname{erfc} \frac{y+y_0}{2\sqrt{D_y \theta}} \times$ $\times \left[z_1 - z_0 + \frac{2b}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{\cos \frac{m\pi z_1}{b}} \left(\sin \frac{m\pi z_1}{b} - \sin \frac{m\pi z_0}{b} \right) \right]$ $\times \frac{\cos \frac{m\pi z_0}{b}}{\cos \frac{m\pi z_1}{b}} \exp\left(-\frac{D_y m^2 \pi^2 \theta}{b^2}\right)$
M_{a, q_a}		$\frac{1}{4nb} \left[\operatorname{erfc} \frac{x-u\theta-x_0}{2\sqrt{D_x \theta}} - \operatorname{erfc} \frac{x-u\theta}{2\sqrt{D_x \theta}} \right] \times$ $\times \operatorname{erfc} \frac{y-y_0}{2\sqrt{D_y \theta}} - \operatorname{erfc} \frac{y+y_0}{2\sqrt{D_y \theta}} \times$ $\times \left[1 + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{m\pi z_0}{b}}{\cos \frac{m\pi z_1}{b}} \exp\left(-\frac{D_y m^2 \pi^2 \theta}{b^2}\right) \right]$
M_{v, q_v}		$\frac{1}{4nb} \left[\operatorname{erfc} \frac{x-u\theta-x_0}{2\sqrt{D_x \theta}} - \operatorname{erfc} \frac{x-u\theta}{2\sqrt{D_x \theta}} \right] \times$ $\times \operatorname{erfc} \frac{y-y_0}{2\sqrt{D_y \theta}} - \operatorname{erfc} \frac{y+y_0}{2\sqrt{D_y \theta}} \times$ $\times \left[z_1 - z_0 + \frac{2b}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{\cos \frac{m\pi z_1}{b}} \left(\sin \frac{m\pi z_1}{b} - \sin \frac{m\pi z_0}{b} \right) \right]$ $\times \frac{\cos \frac{m\pi z_0}{b}}{\cos \frac{m\pi z_1}{b}} \exp\left(-\frac{D_y m^2 \pi^2 \theta}{b^2}\right)$

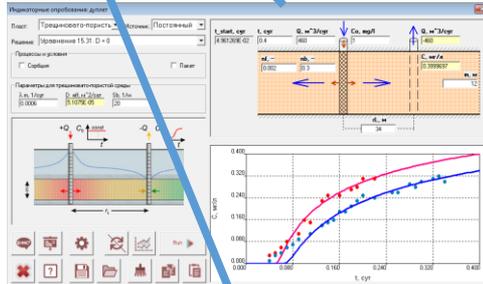
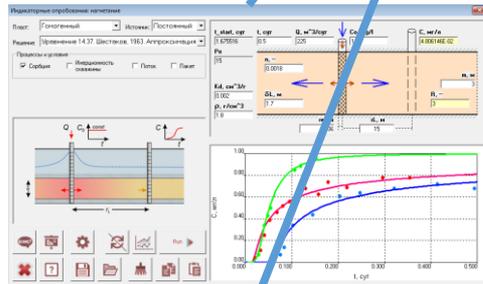
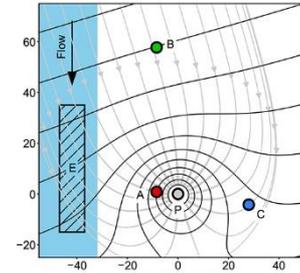


Индикаторные опробования (1970-80-е гг.) → интерпретация в среде ANSDIMAT (2020-е гг.)



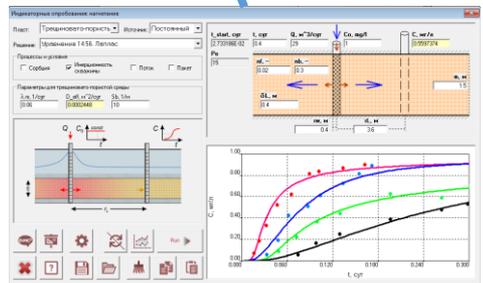
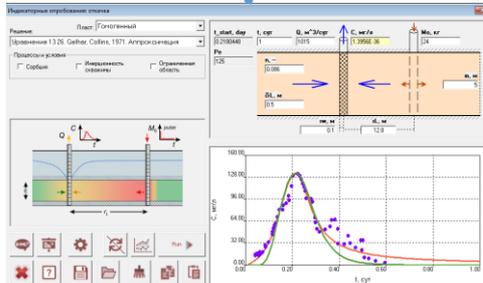
Нагнетание индикатора

Дуплетное опробование



Запуски индикатора при откачке

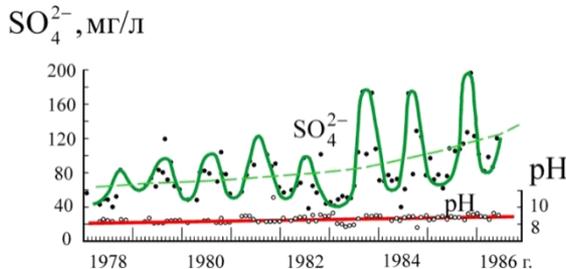
Влияние инерционности скв.



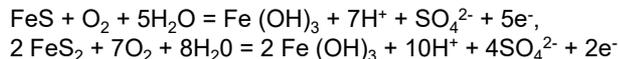
Боровский Б.В., Мироненко В.А.,
 Ершов Г.Е., Румынин В.Г., Коносовский П.К.

Загрязнение дренажных вод сульфатами (окисление сульфидов в г/отвалах)

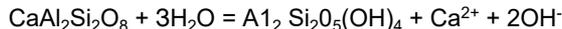
1994 г.: Формирование сульфатных вод на Ковдорском месторождении



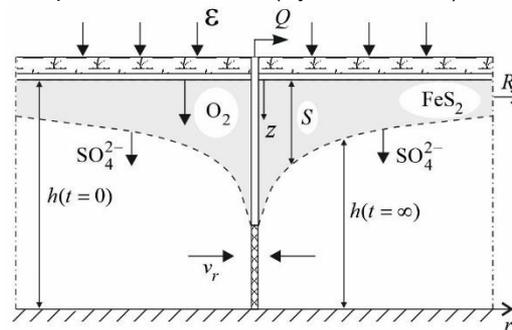
Окисление сульфидов



Реакция нейтрализации



2011 г.: Модель формирования сульфатных вод при водопонижении (Румынин, 2011)



Миграция кислорода и сульфатов в зоне аэрации

$$D_a \frac{d^2 C_a}{dz^2} = r_c = kC_a \quad D_a = \frac{1}{n^2} (D_a^0 \theta_a^{\rho_a} + HD_w^0 \theta_w^{\rho_w})$$

$$\theta \frac{\partial C'}{\partial t} + \varepsilon \frac{\partial C'}{\partial z} + \frac{\theta}{v} \frac{\partial [\text{FeS}_2(s)]}{\partial t} = 0$$

Миграция сульфатов в водоносном горизонте

$$m \frac{\partial C}{\partial t} + m \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [v(r)C] - \varepsilon C^*(r, t) = 0$$

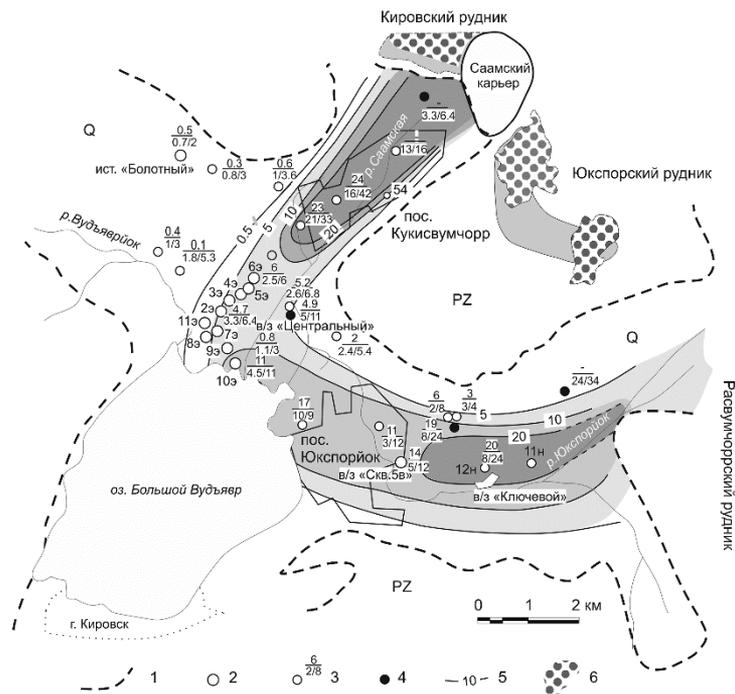
Общее решение для SO₄ в скважине

$$\bar{C} = e^{-\tau} \int_0^{\tau} e^x \frac{\text{sh}(\beta x) dx}{\beta \text{ch}[\alpha \ln(x)]}$$

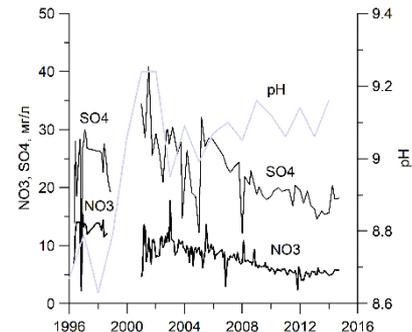
$$\alpha = \frac{Q}{4\pi T} \sqrt{\frac{k}{D_a}} \quad \beta = \frac{mn}{\theta} \sqrt{\frac{k}{D_a}} \cdot 16$$

1992–2015 гг.: Изотопная идентификация генезиса азотных соединений и определение возраста воды

Схема загрязнения подземных вод в бассейне оз. Большой Вудъяр (Хибины, АО Апатит)



Изменение концентрации ионов NO₃ и SO₄ в водозаборе «Центральный»



Отношение изотопных чисел ($R = {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$)

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = (R_{\text{об}} / R_{\text{ат}} - 1)1000$$

$R_{\text{об}}$ $R_{\text{ат}}$ отношения изотопных чисел (${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$)

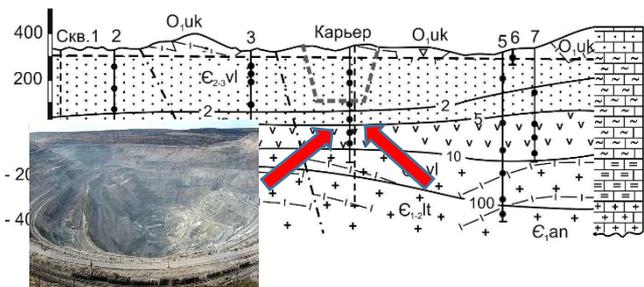
Тритий-гелий-3 метод датирования

$$t_{\text{в}} = \frac{1}{\lambda} \ln(1 + {}^3\text{He}_{\text{тр}} / {}^3\text{H})$$

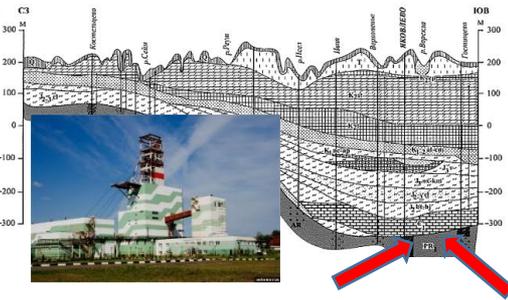
$T_{\text{в}} = 16$ лет (Гудков и др., 2014; Каменский и др., 2016)

ПОДТЯГИВАНИЕ ГЛУБИННЫХ РАССОЛОВ К ДРЕНАЖНЫМ КОНТУРАМ

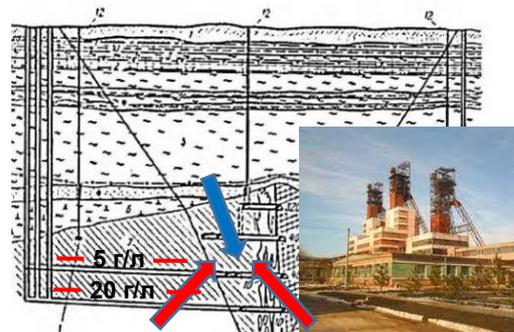
Коршуновское ЖР месторождение
(Восточная Сибирь)



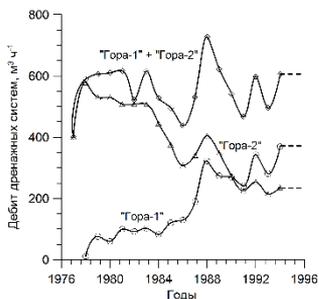
Яковлевское ЖР месторождение
(КМА)



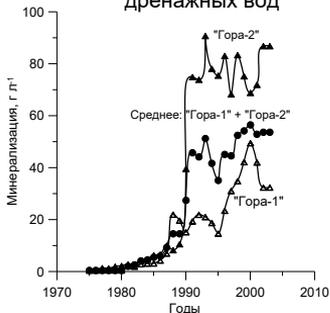
Южно-Белозерское ЖР месторождение
Запорожский железорудный комбинат



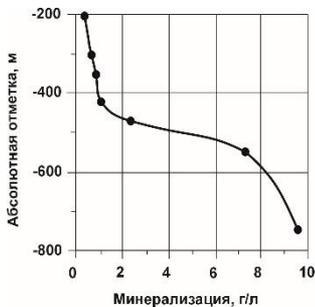
Притоки в карьер



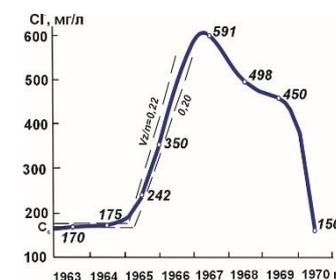
Минерализация дренажных вод



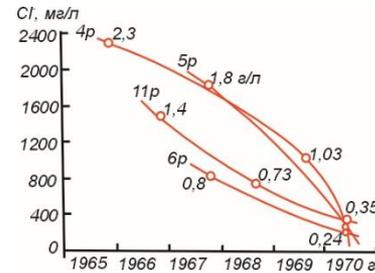
Изменение минерализации с глубиной



Минерализация в скв. (бучакский ВГ)

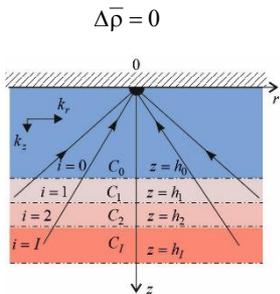


Минерализация рудно-кристаллический ВГ



РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПОДТЯГИВАНИИ СОЛЕННЫХ ВОД К КОНТУРУ ДРЕНАЖА

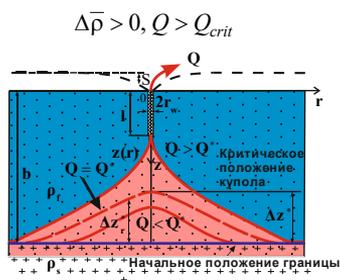
Концептуальные схемы "upconing"-процесса



Аналитическое решение
«Миллионщикова–Гольдберга»

$$C(t) = C_0 + \sum_{i=1}^I (C_i - C_{i-1}) \left(1 - \sqrt[3]{\frac{t_{i-1}}{t}} \right)$$

$$t_{i-1} = \frac{2\pi k^2 n h_{i-1}^3}{3Q}$$



Аналитическая аппроксимация
численных решений

$$\bar{C} = 1 - \left(\frac{f_0}{\beta} \right)^\lambda \quad \lambda = f(\omega) \quad (*)$$

$$\omega = \frac{Q}{Q^{**}}, \quad Q^{**} = \frac{\pi}{3} k_r b^2 \Delta \bar{\rho}$$

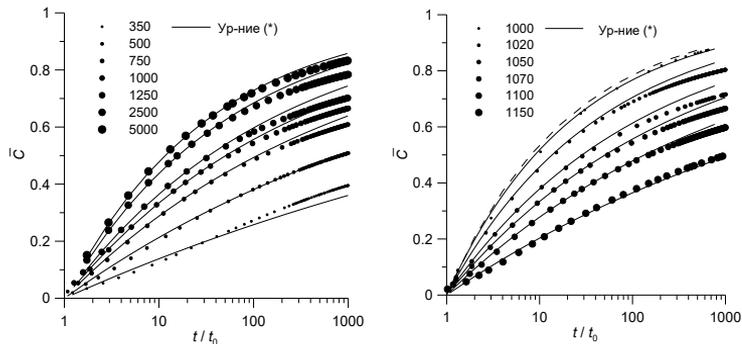
$\Delta \bar{\rho}$ – плотностной градиент

Q_{crit} – критический дебит

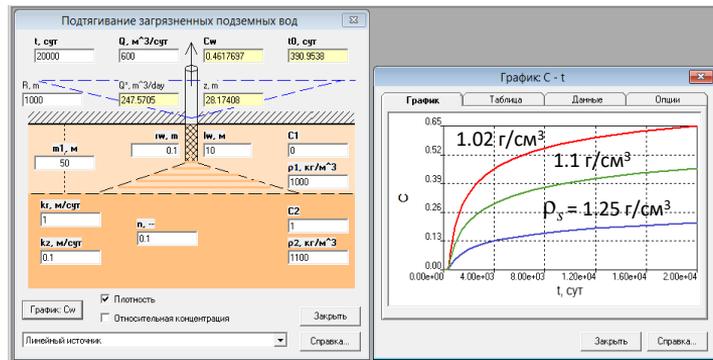
$$\Delta \bar{\rho} = (\rho_s - \rho_f) / \rho_f$$

ρ_f ρ_s – плотность пресной и соленой воды

Сравнение численного (TOUGH2) и аналитического решений (*)



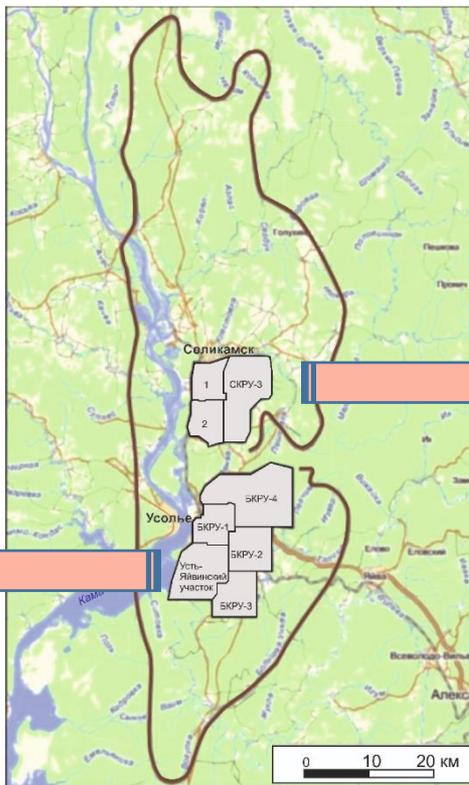
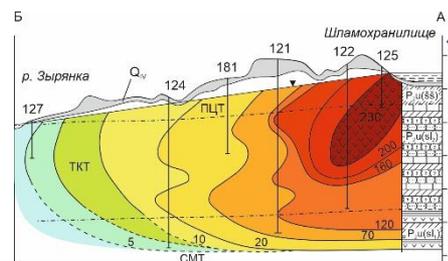
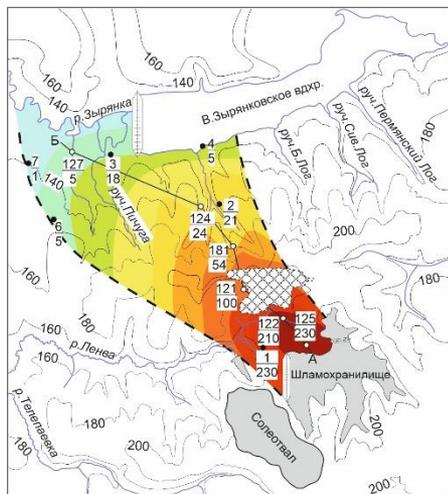
Оценка влияния различных плотности соленых (ρ_s) и пресных (ρ_f) вод на минерализацию воды в скважине: расчеты в среде ANSDIMAT:



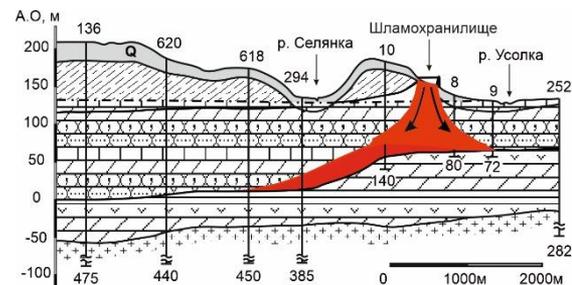
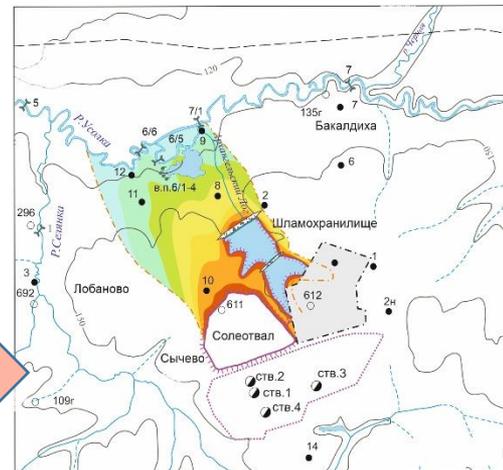
ВЕРХНЕКАМСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

1986–2009 гг.: Изучение и прогноз миграции рассолов из шламохранилищ

БКРУ-2 (1986 г.)



СКРУ-3 (2009 г.)

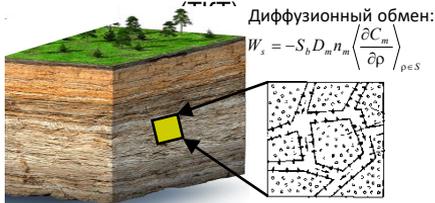


Факторы, контролирующие миграцию рассолов

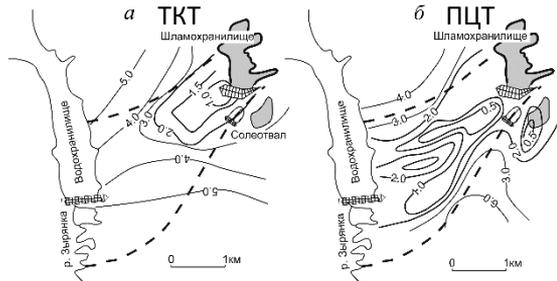
1. Гравитационное заполнение депрессий в основании водоносного горизонта



2. Двойная пористость трещиноватого массива



Картирование солевых ореолов с помощью ВЭЗ

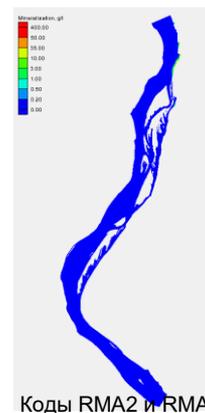


Экологические последствия

1. Локальный уровень: пример – минерализация воды в р. Усолке



2. Региональный уровень: воздействия промышленных сбросов от объектов на качество воды р. Кама (2023 г.)



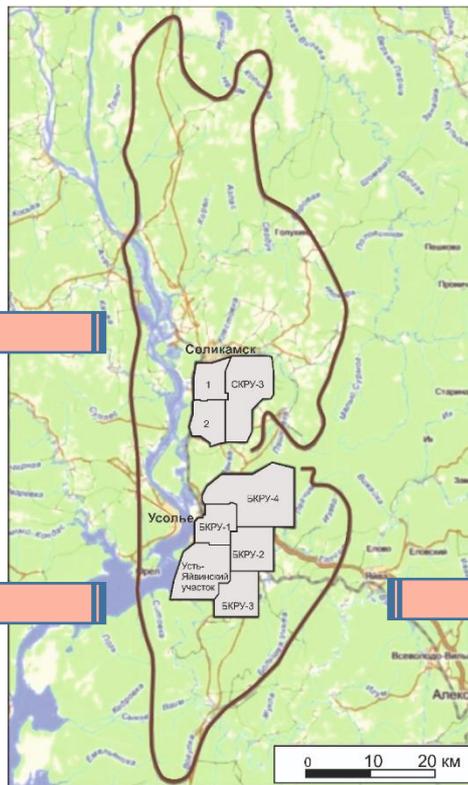
ВЕРХНЕКАМСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

2006–2014 гг.: Гидрогеологические прогнозы при аварийном затоплении соляных рудников

БКРУ-1 (2006 г.)



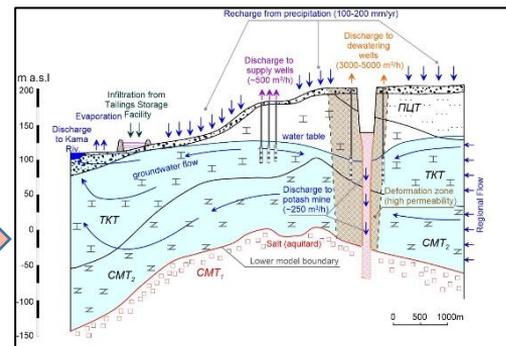
СКРУ-2 (2014 г.)



Задачи исследований

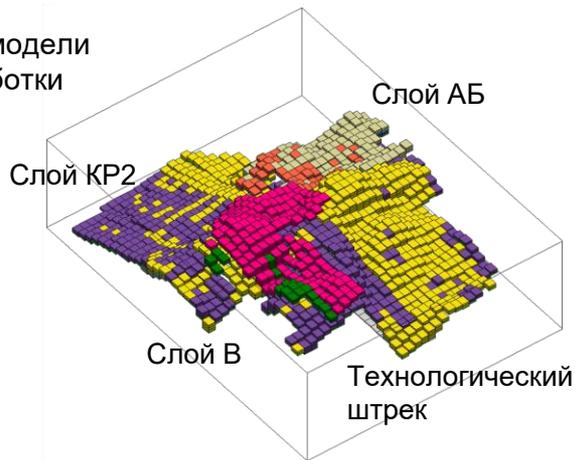
- ❖ Прогноз затопления горных выработок и кинетики растворения целиков
- ❖ Параметрическое (полевые работы) и модельное обоснование водозащитных мероприятий

Концептуальная схема образования зоны обрушения

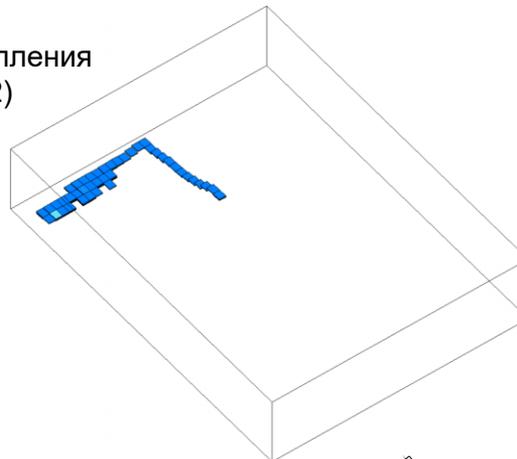


2006 г.: Моделирование затопления рудника и растворения целиков (БКРУ-1)

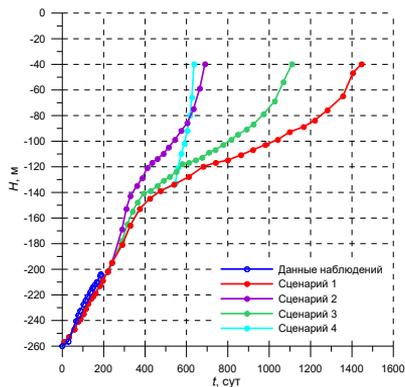
Геометрия 3D модели
и этажи обработки



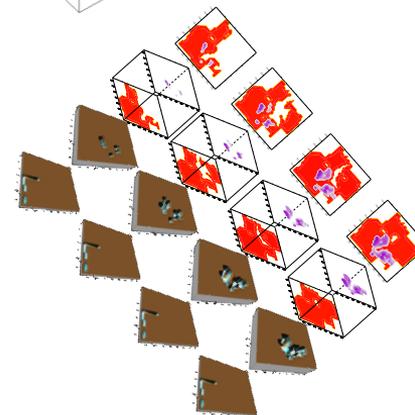
Динамика затопления
(TOUGH2)



Изменение уровня воды
(абсолютные отметки, м)
в горных выработках

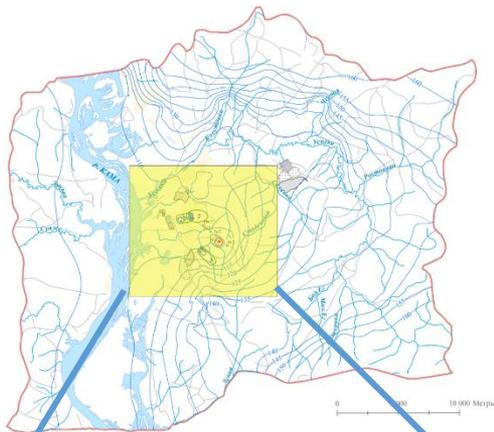


Растворение
целиков

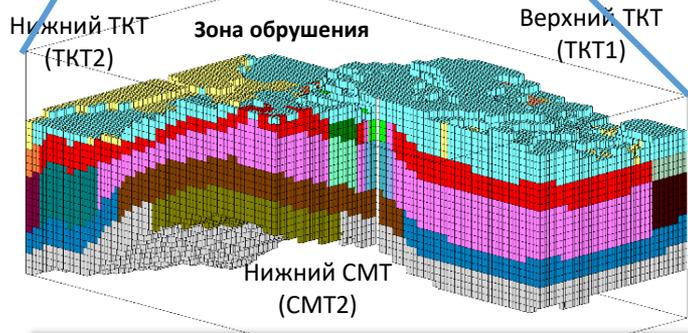


СКРУ-2 Авария 2014 г.: Модель дренажа и тампонажа аварийного участка

Региональная фильтрационная модель



3D область модели
двухфазной фильтрации (TOUGH2)



Моделирование тампонажного эффекта



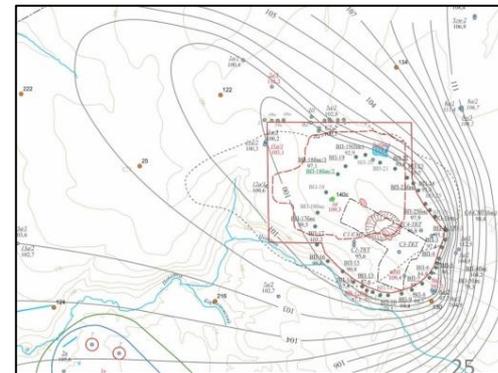
Верхний СМТ
(СМТ1)

Тампонажный р-р:
30% цемент
30% глины
30% рассол
10% полиакриламид
 $Q=5-20$ т. куб.м/сут

Задачи исследований

- ❖ Оценка влияния дебита контура откачивающих скважин на притоком в рудник
- ❖ Влияние закачки тампонажного раствора (жидкости повышенной плотности и вязкости) на притоки в зону разрушения
- ❖ Оценка влияния ненасыщенной зоны между водоносными толщами ТКТ и СМТ на притоки и эффективность тампонажа
- ❖ Влияние кольматации зоны разрушения на рост давления в пласте

Водопонижающие и тампонажные скважины

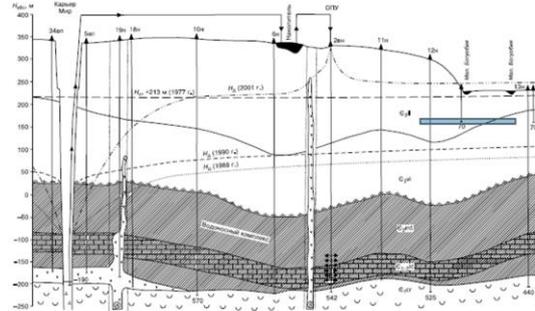


Утилизация дренажных рассолов на месторождениях алмазов Якутии (трубки «Мир», «Удачная», «Айхал»)

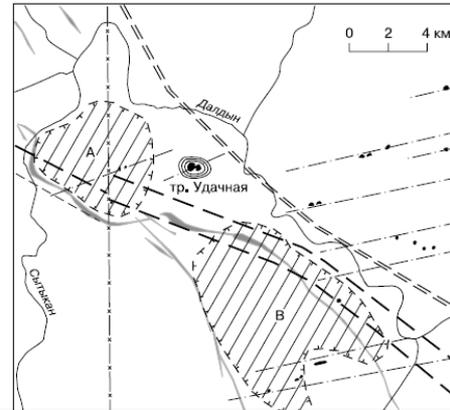
Основные результаты

- ❖ Опытное изучение геологических структур
- ❖ Обоснование концептуальной схемы движения рассолов в трещиноватых ММП с учетом:
 - гравитационной дифференциации рассолов, препятствующей их латеральной миграции в верхней части разреза;
 - плавления трещинного льда на фронте вытеснения;
 - капиллярно-диффузного впитывания рассолов пористой матрицей
- ❖ Модельное обоснование работы системы осушения и обратной закачки дренажных вод (трубка «Мир»)
- ❖ Апробация способа утилизации рассолов (трубка «Удачная») и маломинерализованных вод (трубка «Айхал») в ММП

Трубка «Мир»: обратная закачка рассолов



Закачка рассолов в многолетнемерзлые породы (трубка «Удачная»)

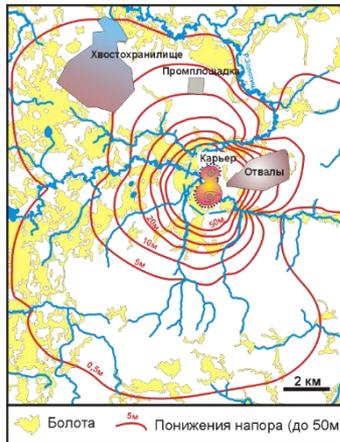


Напорный трубопровод
Нагнетательная скважина
Нагнетательный трубопровод
Мерная емкость

Изучение возможностей утилизации дренажных рассолов на месторождениях алмазов в Архангельской области (трубки Архангельская, им. М.В. Ломоносова, им. В.П. Гриба)

Основные результаты

- ❖ Обоснована система осушения и водоотведения карьеров
- ❖ Апробирован гравитационный способ очистки дренажных вод на поверхностных полях фильтрации
- ❖ Разработаны биологические методы индикации качества водотоков
- ❖ Оценена эффективность закачки минерализованных вод в водоносные горизонты



Модельные понижения напора от работы системы осушения карьера

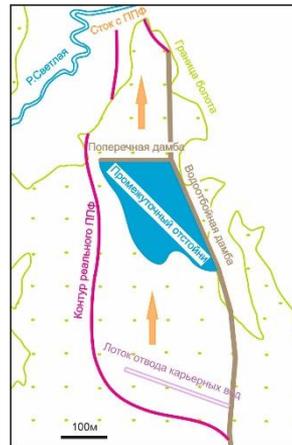
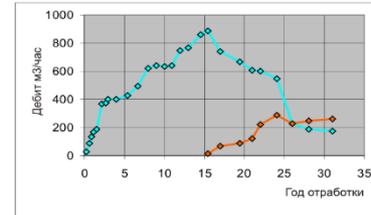
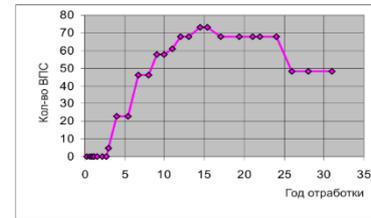


Схема функционирования поверхностных полей фильтрации



Графики ввода внешнего контура водопонижающих скважин и карьерного водоотлива



Отбор проб болотных отложений на ППФ



На месторождении им. М.В. Ломоносова



Подготовка индикаторного эксперимента на опытном участке



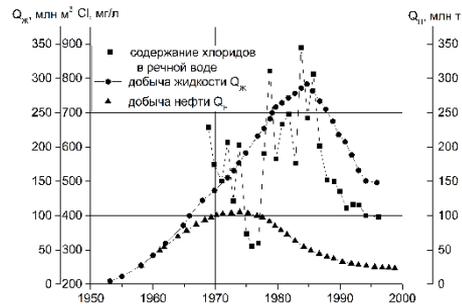
Отбор гидробиологических проб

1994–2007 гг.: Разведка и мониторинг очагов загрязнения подземных вод попутными рассолами в нефтедобывающих районах Республики Татарстан

Основные результаты

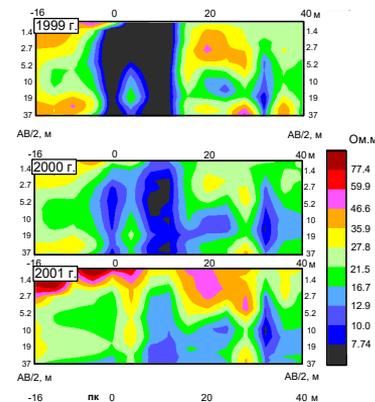
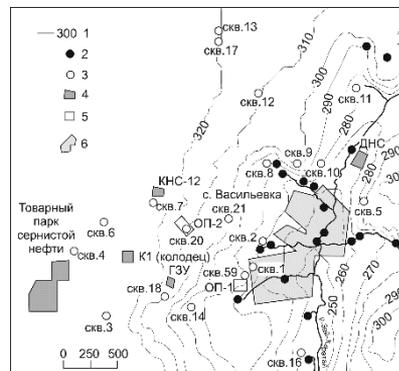
- ❖ Районирование территории по условиям загрязнения подземных вод и выработка критериев оценки защищенности подземных вод
- ❖ Обоснование системы мониторинга загрязнения подземных вод
- ❖ Разработка методов оконтуривания очагов засоления подземных вод, прежде всего методами электроразведки
- ❖ Опытное изучение движения рассолов в зоне аэрации

Совмещенный график добычи нефти, попутных рассолов и загрязнения р. Степной Зай хлоридами



Под ред. А.И. Короткова и В.К. Учаева

Схема опытного полигона «Васильевка»



Мониторинг реабилитации зоны аэрации



Основные исполнители: Учаев В.К., Сапожников Б.Г., Харьковский К.Л., Каплан Е.М., Павленко Л.В. и др.

МОНОГРАФИИ (2000–2025 гг.): СПБО ИГЭ РАН/МНЦ Гидрогеоэкологии СПбГУ

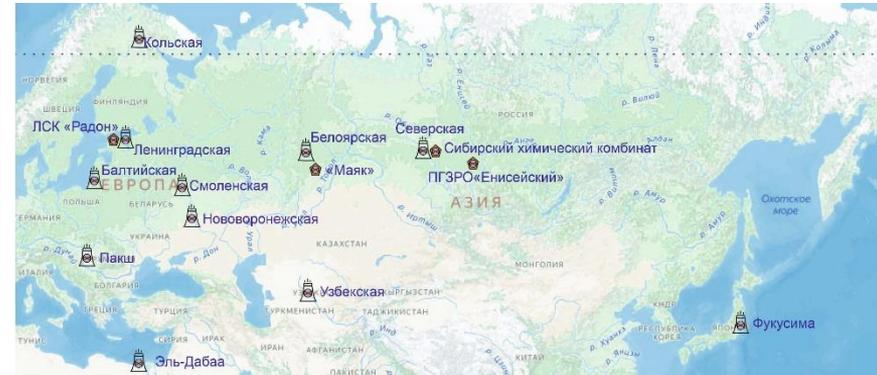


Послесловие

Динамика приоритетов работ СПБО ИГЭ РАН 1996–2025 гг.



Приоритетные направления – атомные станции и объекты захоронения РАО в геологических формациях



Объекты	Виды исследований						
	1	2	3	4	5	6	7
АЭС							
Балтийская	+	+			+	+	
Белоярская	+	+			+	+	
Ленинградская	+	+		+	+		
Нововоронежская	+			+		+	
Смоленская				+			+
Бушер-2 (Иран)	+			+		+	
Пакш-2 (Венгрия)				+	+	+	
Эль-Дабаа (Египет)					+		
АЭС в Узбекистане						+	
Фукусима (Япония)							+
Захоронение РАО							
ПО «Маяк»	+		+	+			
АО «СХК»			+				+
СЗАПК (Сосновый Бор)	+	+	+	+			+
ПГЗРО (Красноярский Край)		+	+	+			+

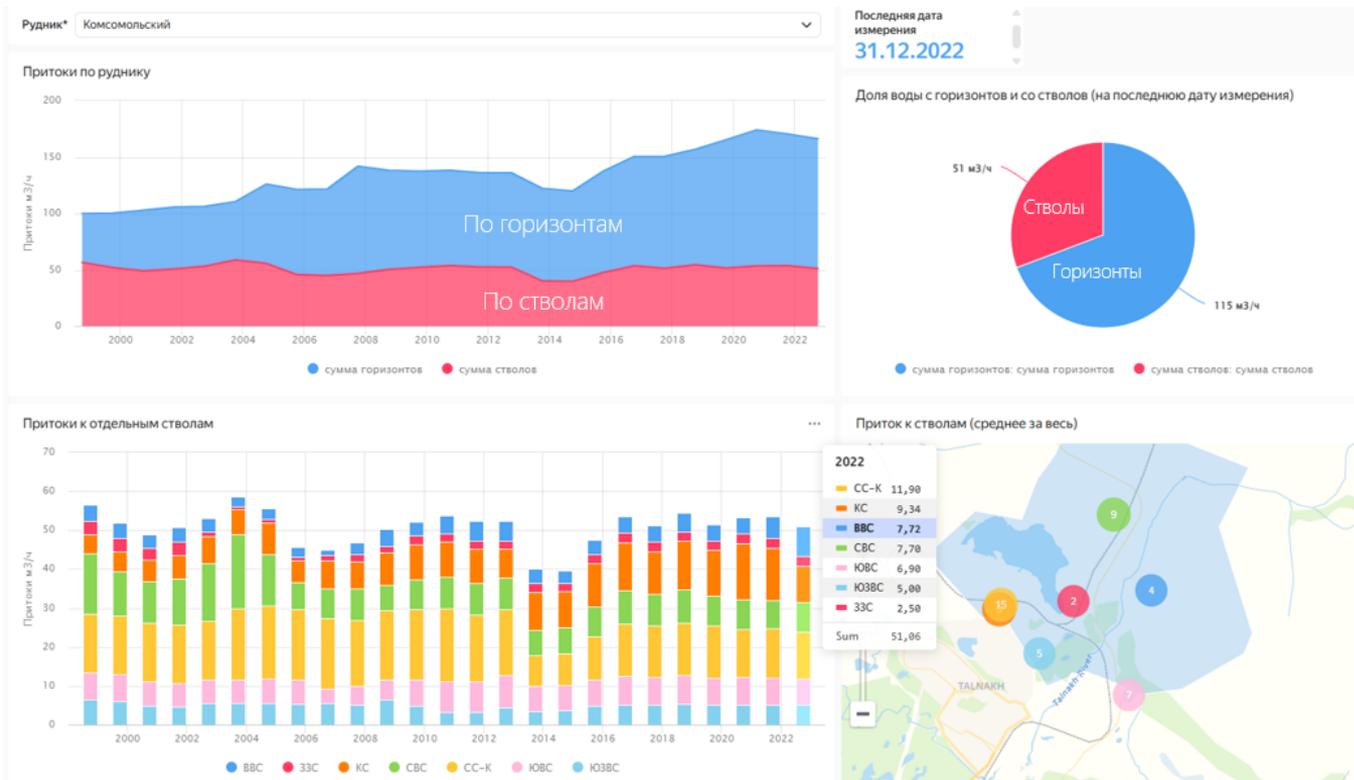
Виды исследований

- 1 – оценка состояния поверхностных и подземных вод по радиологическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям;
- 2 – изыскания (полевые опытные опробования и мониторинг);
- 3 – лабораторное изучение физико-механических и сорбционных свойств геологической среды);
- 4 – прогноз гидродинамического, радиологического и гидрохимического воздействия на подземные воды;
- 5 – анализ и прогноз воздействия АЭС на водоемы-охладители и оценка ущерба водным биоресурсам;
- 6 – анализ воздействия на природные среды при эксплуатации и авариях,
- 7 – термодинамическое моделирование сорбционных процессов и устойчивости кориума (АЭС Фукусима)

Создание БД и эпигнозной гидрогеохимической модели Талнахского рудного узла ГМК «Норильский никель» (2025 г.)

Основные задачи

- ❖ анализ ретроспективных данных по результатам гидрогеологического мониторинга
- ❖ разработка эпигнозной гидрогеохимической модели
- ❖ создание инструментов для выполнения оценки изменения химического состава вод (подземных, поверхностных и рудничных) и притоков в выработки Талнахского рудного узла

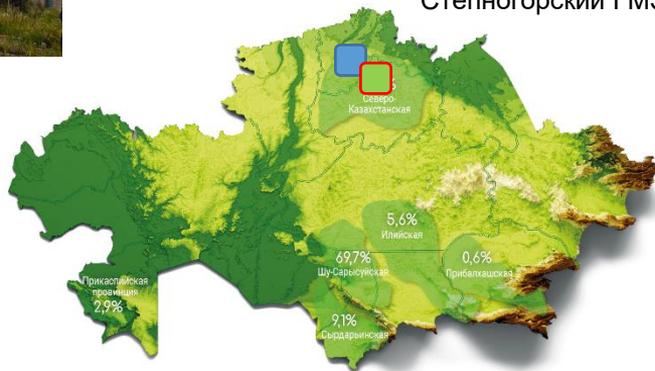


Загрязнение подземных вод при добыче и переработке урановой руды в Казахстане



Рудник «Шантобе»

Степногорский ГМЗ



Рудник «Шантобе» находится в Сандыктауском районе Акмолинской области в 56 км западнее села Балкашино.

Добыча урановой руды, ее сортировка и производство товарных растворов кучного выщелачивания бедной урановой руды.

Начало отработки: 1966 г.
Затоплен: 2014 г.



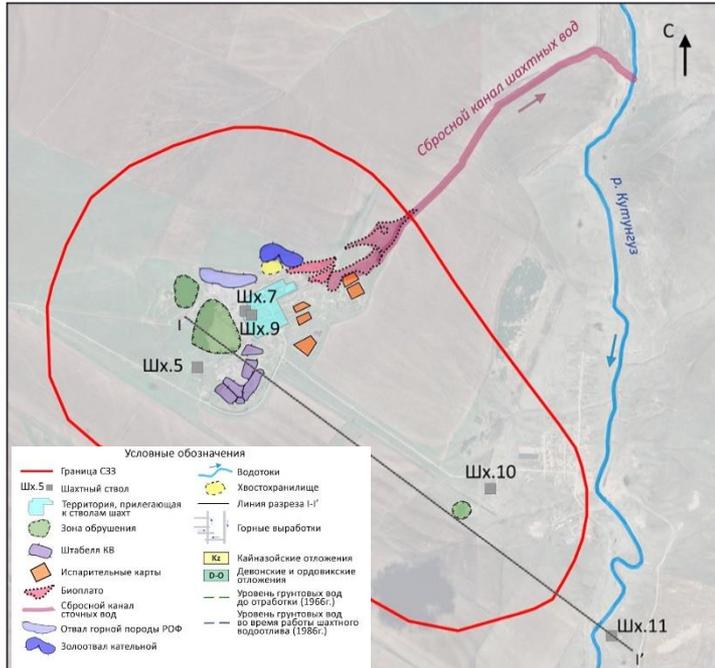
Хвостохранилище ГМЗ находится в 17 км от г. Степногорска Акмолинской обл.

Предназначено для складирования отходов обогащения урановой руды
Проектный объем 19,5 млн. м³,
Общая масса хвостов 12,3 тыс. т
Свободный объем 7,9 млн. м³

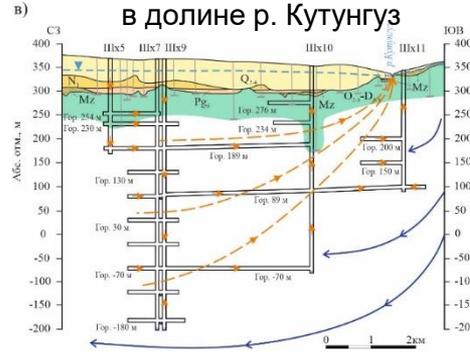
Начало заполнения: 1976 г.
Карта заполнена в 1990 г.

Обоснование системы мониторинга на этапе консервации и рекультивации рудника «Шантобе»

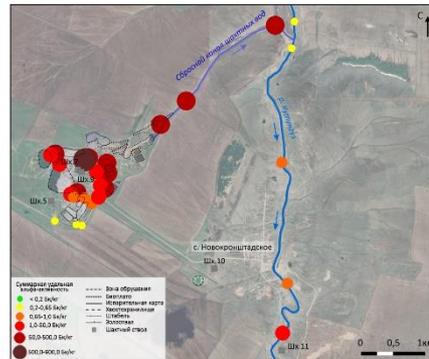
Потенциальные источники загрязнения в пределах рудника «Шантобе»



Разгрузка шахтных вод в долине р. Кутунгуз



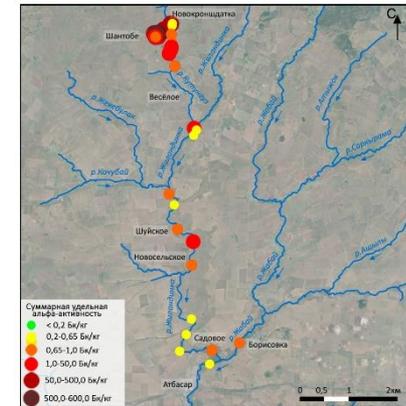
Промплощадка рудника, тальвег



Результаты I этапа работы

- ❖ Дана характеристика основных источников загрязнения
- ❖ Определены масштабы выноса загрязнения за пределы промплощадки рудника по данным «Gravity Construction KZ»
- ❖ Даны рекомендации по развитию сити мониторинга подземных вод района

Речная сеть

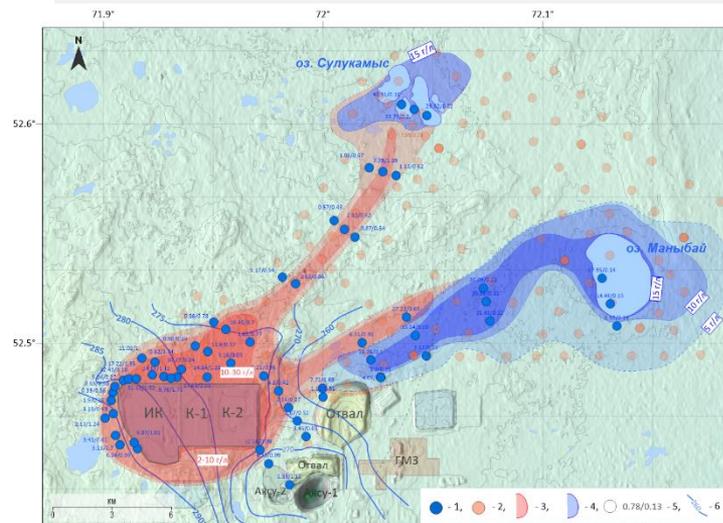


Анализ условий солевого и радиоактивного загрязнения на участке хвостохранилища Степногорского ГМЗ



Результаты I этапа работы позволили установить

- ❖ Плановую гидрохимическую зональность (присутствие в водоносном горизонте линз рассолов Cl-Na типа)
- ❖ Контуры ореола радиоактивного загрязнения
- ❖ Характер гидродинамической взаимосвязи техногенного бассейна с водоносным горизонтом
- ❖ Различия в подвижности радиоактивных (U, Ra) и стабильных (Mo, As) элементов-загрязнителей



Основные исполнители: Владимиров К.В., Никуленков А.М., Светлова Ж.В. и др.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



office@hgepro.ru
www.hgepro.ru

