

Предварительная оценка условий миграции загрязнения в зоне аэрации и грунтовых водах на участке размещения ЯРОО с использованием данных ОМСН и численного моделирования на примере АО «ВНИИХТ»

Е.В. Кононченко (вед. специалист отдела ГИС-технологий и математического моделирования Центра ОМСН ФГБУ «Гидроспецгеология»)

АО «ВНИИХТ» расположено в Южном административном округе г. Москвы. Основными направлениями его деятельности являются разработка эффективных технологий извлечения урана из руд, получение металлического урана, его оксидов, фторидов и переработка минерального сырья [1].

На территории института находятся несколько ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО), на которых ведется переработка или хранение радиоактивных материалов, содержащих различные α - и β -излучающие радионуклиды. К основным из них относятся: ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu , ^{241}Am , изотопы урана (^{238}U , ^{235}U , ^{234}U) и тория (^{232}Th , ^{234}Th).

Действующая сеть объектового мониторинга состояния недр на территории АО «ВНИИХТ» состоит из 4-х скважин, оборудованных на первый от поверхности надьюрский водоносный комплекс. Результаты мониторинга, проводимого с 2012 г., показывают отсутствие химического и радиационного загрязнения грунтовых вод.

Целью данной работы является предварительная оценка распространения гипотетического химического и радиоактивного загрязнения в зоне аэрации и грунтовых водах.

Геологическое строение и гидрогеологические условия

Геологическое строение района характеризуется присутствием средне-верхнеюрских водоупорных глинистых отложений, залегающих на глубине до 30 м, а также терригенных верхнеюрско-нижнемеловых и четвертичных отложений.

Гидрогеологические условия изучаемого района характеризуются наличием безнапорного надьюрского водоносного комплекса (рис.1). По данным наблюдательных скважин глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ) составляет от 9,7 до 19 м (абс. отм. 138,7-142,4 м). Уровни грунтовых вод (далее сокращенно УГВ) надьюрского комплекса на данной территории слабо подвержен сезонным

колебаниям, связанным с режимом выпадения осадков в течение года. Амплитуда колебаний уровня составляет 0,5-0,75 м.

Питание водоносного комплекса осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков и утечек из водонесущих коммуникаций. Поток подземных вод направлен на северо-восток в сторону р. Москвы, часть потока идет на юг и юго-восток. Разгрузка происходит на правом берегу р. Москвы путем высачивания вдоль участка выхода на поверхность юрских водоупорных отложений (рис.1).

Для изучаемого района характерно наличие мощной зоны аэрации в связи с относительно глубоким залеганием УГВ. Зона аэрации представлена преимущественно суглинками, которые залегают либо первыми от поверхности, либо под техногенными образованиями (рис. 2).

Геофильтрационное моделирование участка размещения АО «ВНИИХТ»

Геофильтрационное моделирование для данного участка проводилось в два этапа. На первом этапе была построена трехмерная геофильтрационная модель в программном комплексе GMS 10.0 для зоны полного насыщения. На втором этапе разработана двухмерная в разрезе (профильная) модель влагопереноса и геофильтрации совместно для зоны аэрации и зоны полного насыщения с использованием программного комплекса HYDRUS 2.04.

Базой для создания геофильтрационных моделей послужили соответствующие геологические модели (рис.3), разработанные на основе данных о геологическом строении района. Для них принята следующая модельная стратификация гидрогеологического разреза. К первому модельному слою отнесены техногенные и четвертичные отложения, представленные, в основном, суглинками. Ко второму – различные типы четвертичных образований и нижнемеловые отложения, представленные песками и алевритами. К третьему слою отнесены отложения лопатинской свиты (J_3-K_1p), представленные глинами с прослоями песков и алевритами. Нижняя непроницаемая граница модели принята по кровле отложений филевской свиты, представленных глинистыми алевритами и глинами.

Трехмерная геофильтрационная модель ограничена на северо-востоке по зоне разгрузки грунтовых вод (граница III рода), уровень за пределами модели принят равным уровню воды в р. Москве (115 м). Остальные границы проведены вдоль

предполагаемых линий тока геофильтрационного потока (рис.4). Режим геофильтрационного потока на модели принят стационарным.

Инфильтрационное питание задано на основе данных регионального моделирования [4] (0,0002 м/сут). Испарение с поверхности грунтовых вод не учитывалось вследствие наличия мощной зоны аэрации.

В результате калибровки модели по осреднённым значениям уровней наблюдательных скважин были получены значения коэффициентов фильтрации отложений трех модельных слоев (0,05; 0,5 и 0,001 м/сут, соответственно), а также построена карта модельных УГВ надъюрского водоносного комплекса (рис.4). Модельная структура потока согласуется с имеющимися региональными данными о структуре потока грунтовых вод (рис.1).

Профильная модель влагопереноса и геофильтрации основывалась на трехмерной геофильтрационной модели. Модельный профиль был проведен через один из ЯРОО, вдоль линии тока геофильтрационного потока (рис.4). Влагоперенос в зоне аэрации и связь коэффициента влагопереноса с влажностью пород рассчитывались на основе уравнений Ван Генухтена [7].

Граничные условия, коэффициенты фильтрации слоёв и инфильтрационное питание задавались в соответствии с трехмерной моделью. Плотность и полная объемная влажность отложений приняты по литературным данным [5] и объекту аналогу – участку АО «ВНИИМН», расположенному в г. Москве [6], остальные гидрофизические характеристики определялись с помощью программы Rosetta Lite v.1.1., встроенной в программный комплекс HYDRUS.

На профильной модели были воспроизведены УГВ, полученные при трехмерном моделировании. В ходе предварительного просчета был достигнут стационарный режим геофильтрационного потока, стационарные распределения высоты всасывающего давления и объемной влажности отложений на модельном профиле (рис.5). Полученные результаты использовались при моделировании миграции загрязнения в зоне аэрации и зоне полного насыщения в качестве начальных условий.

Моделирование миграции гипотетического загрязнения в зоне аэрации и зоне полного влагонасыщения района размещения АО «ВНИИХТ»

На территории АО «ВНИИХТ» в ходе наблюдений не было зафиксировано химического и радиоактивного загрязнения грунтовых вод. Принимая это во внимание, далее проводилось геомиграционное моделирование распространения гипотетического загрязнения. В качестве загрязнителя был рассмотрен условный нейтральный стабильный не сорбируемый компонент и ^{238}U , характеризующийся наибольшим периодом полураспада и относительно низкими коэффициентами распределения по сравнению с другими радионуклидами. Поступление загрязнения принималось постоянным вместе с инфильтрационными водами непосредственно под ЯРОО (корпусом №8), через который проходит профильная модель. Значение объемной концентрации (активности) условно задавалось равным 1 кг/м^3 (Бк/м^3). Коэффициент распределения ^{238}U принят в консервативном варианте равным $0,005 \text{ м}^3/\text{кг}$ для модельного слоя 1 и $0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$ для слоев 2 и 3.

Ореол распространения нейтрального компонента рассчитывался сроком на 100 лет (рис. 6А). В ореоле можно выделить основную часть со значениями объемной концентрации свыше $0,07$ д. ед., которая стабилизировалась через 90 лет после активации источника. Периферийная часть ореола с меньшими концентрациями не стабилизировалась и продолжала распространяться.

В зоне аэрации загрязнитель мигрировал вертикально вниз в течение 30 лет, и его объемные концентрации были максимальными. При достижении УГВ фронт загрязнения менял направление движения на латеральное в соответствии с геофильтрационным потоком. За счет процессов разбавления концентрация загрязнителя падала примерно в 5 раз. Распространение загрязнителя происходило преимущественно в верхней части надбюрского водоносного комплекса, которая характеризуется относительно высокими фильтрационными свойствами.

Ореол ^{238}U в течение 100 лет за счет процессов сорбции в отложениях верхней части зоны аэрации распространился по вертикали не более чем на 5 м (рис. 6Б).

Основные выводы и заключение

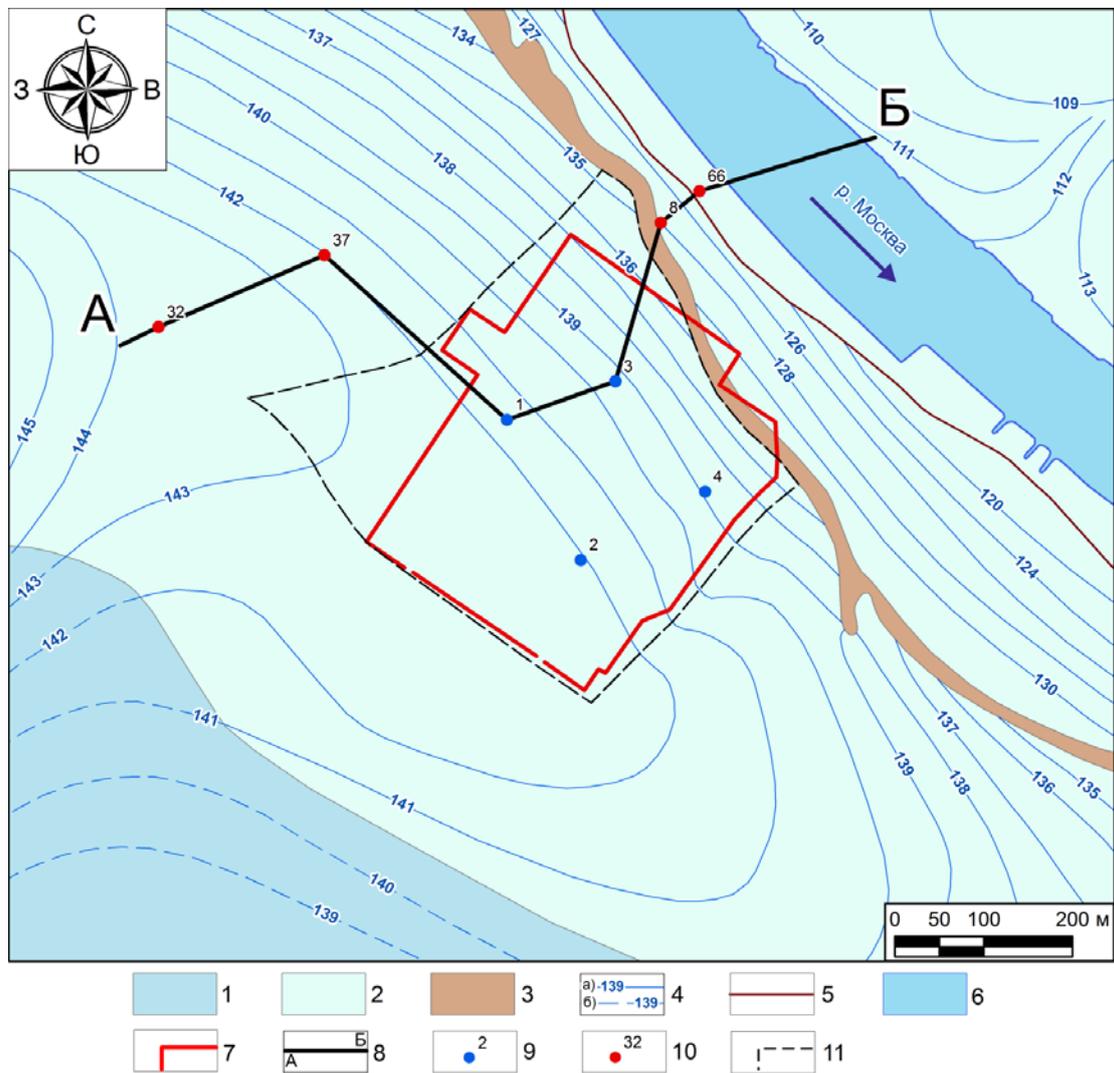
Особенности формирования ореола гипотетического загрязнения подземных вод на участке АО «ВНИИХТ» определяются наличием мощной (около 20 м) зоны аэрации, представленной суглинками и песками с прослоями алевритов и являющейся природным барьером для радионуклидов. Потенциальными источниками загрязнения грунтов и грунтовых вод на территории АО «ВНИИХТ» являются корпуса №8, №26 и

радиохимический отсек корпуса №2. Результаты геомиграционного моделирования, выполненного в консервативной постановке, свидетельствуют о том, что минимальное время миграции потенциального загрязнения до надюрского грунтового водоносного комплекса составляет около 30 лет. В настоящее время химическое и радиоактивное загрязнение грунтовых вод от указанных потенциальных источников не фиксируется. Размещение скважин сети ОМСН представляется оптимальным для своевременного выявления возможного поступления загрязнения от ЯРОО, расположенных на территории АО «ВНИИХТ».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

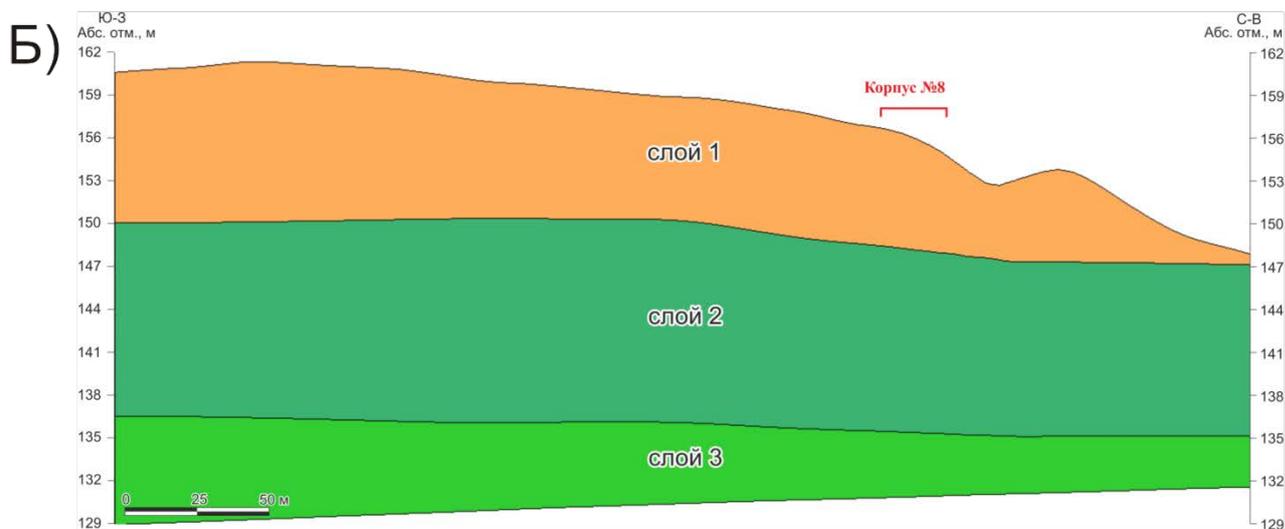
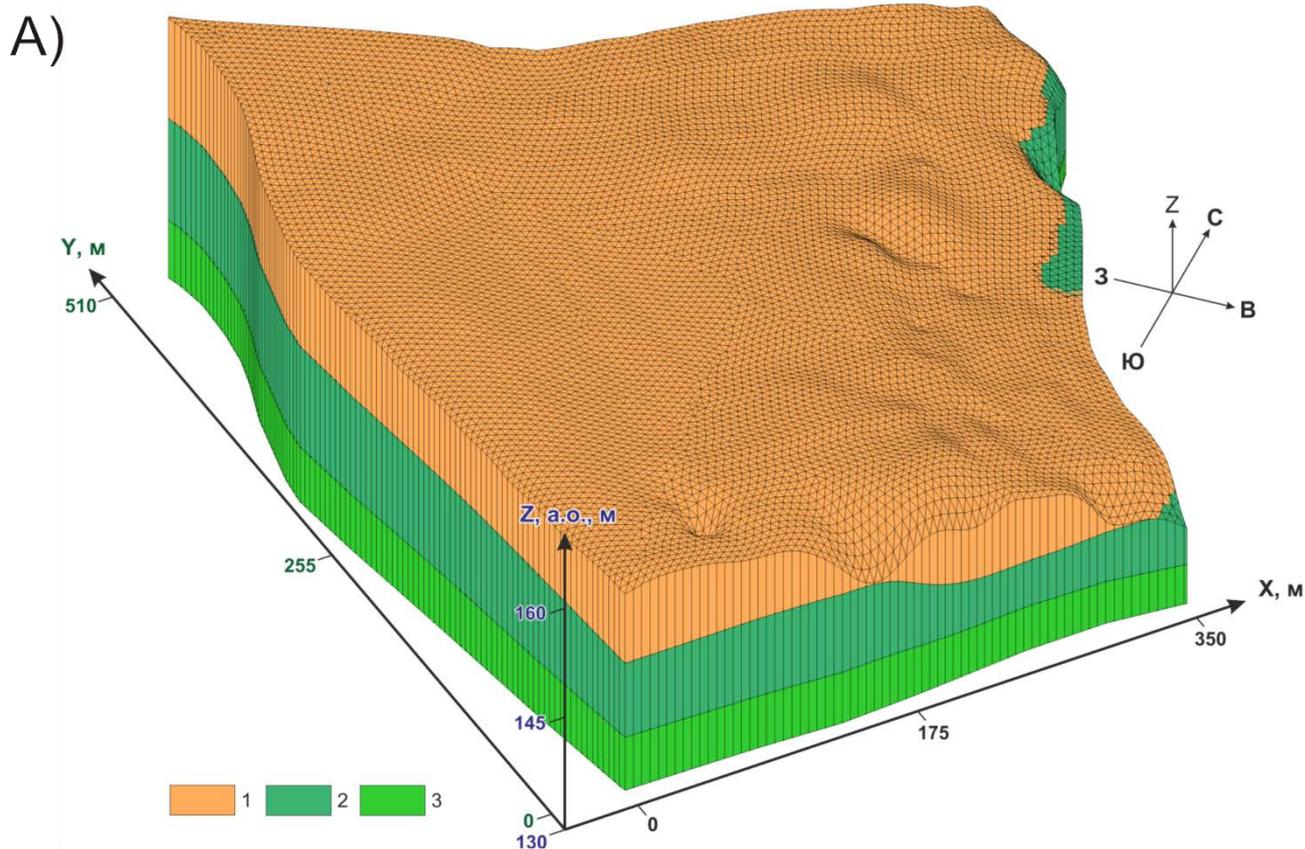
1. Отчет по экологической безопасности за 2012 год. – М., Госкорпорация «Росатом», ОАО «ВНИИХТ», 2012.
2. Комплект тематических геологических крупномасштабных карт территории города Москвы / ИГЭ РАН им. Е.М. Сергеева. – М., 2009.
3. Геологический атлас Москвы в 10-ти томах. Масштаб 1:10 000. Том 4. Северный административный округ, Том 8. Южный административный округ – М., 2010.
4. Куваев А.А., Семенов М.Е. и др. Отчет по результатам моделирования «Первоочередные инженерно-экологические и гидрогеологические изыскания в рамках обоснования СЗЗ и зон ограничений полигона ТПБО «Щербинка». Московская область, городской округ Домодедово» / ЗАО Группа компаний ШАНЭКО – М., 2009
5. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1995
6. Куваев А.А., Кононченко Е.В. Аннотационный отчет «Обследование загрязненных территорий, находящихся в пределах зон наблюдений, и создание геоинформационной системы». Этап 57 в 5-ти книгах. Книга 4. Разработка концептуальной гидрогеологической модели природно-техногенных условий формирования загрязнения грунтов, грунтовых и поверхностных вод для района расположения 3-х предприятий. Часть 2 АО «ВНИИИМ» / ФГУГП «Гидроспецгеология» – М., 2015
7. Šimůnek J., M. Th. van Genuchten and M. Šejna The HYDRUS Software Package for Simulating the Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple

Solutes in Variably-Saturated Porous Media. Technical manual. Version 3.0. Preprint
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCES UNIVERSITY OF CALIFORNIA
RIVERSIDE RIVERSIDE, CALIFORNIA. 2012, 260p.



1 – участки напорных вод; 2 – участки безнапорных вод; 3 – участки выхода на поверхность юрских водоупорных отложений; 4 – гидроизогипсы (а) и гидроизопьезы (б), м; 5 – подпорные стенки; 6 – р. Москва; 7 – границы промплощадки АО «ВНИИХТ»; 8 – линия разреза; 9 – наблюдательные скважины и их номера; 10 – инженерно-геологические скважины и их номера; 11 – границы области моделирования

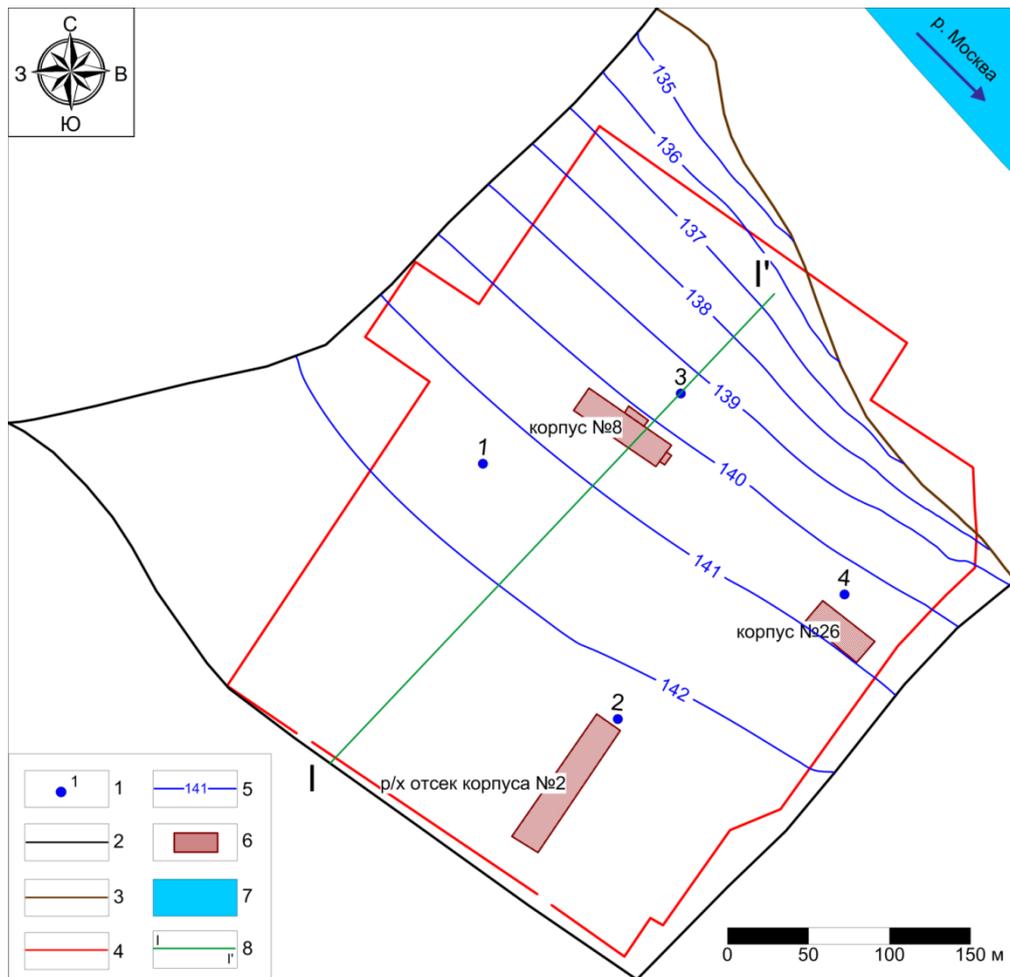
Рисунок 1 – Карта абсолютных отметок уровней подземных вод надъюрского водоносного комплекса в районе АО «ВНИИХТ» [2, 3]



1-3 – модельные слои 1, 2 и 3

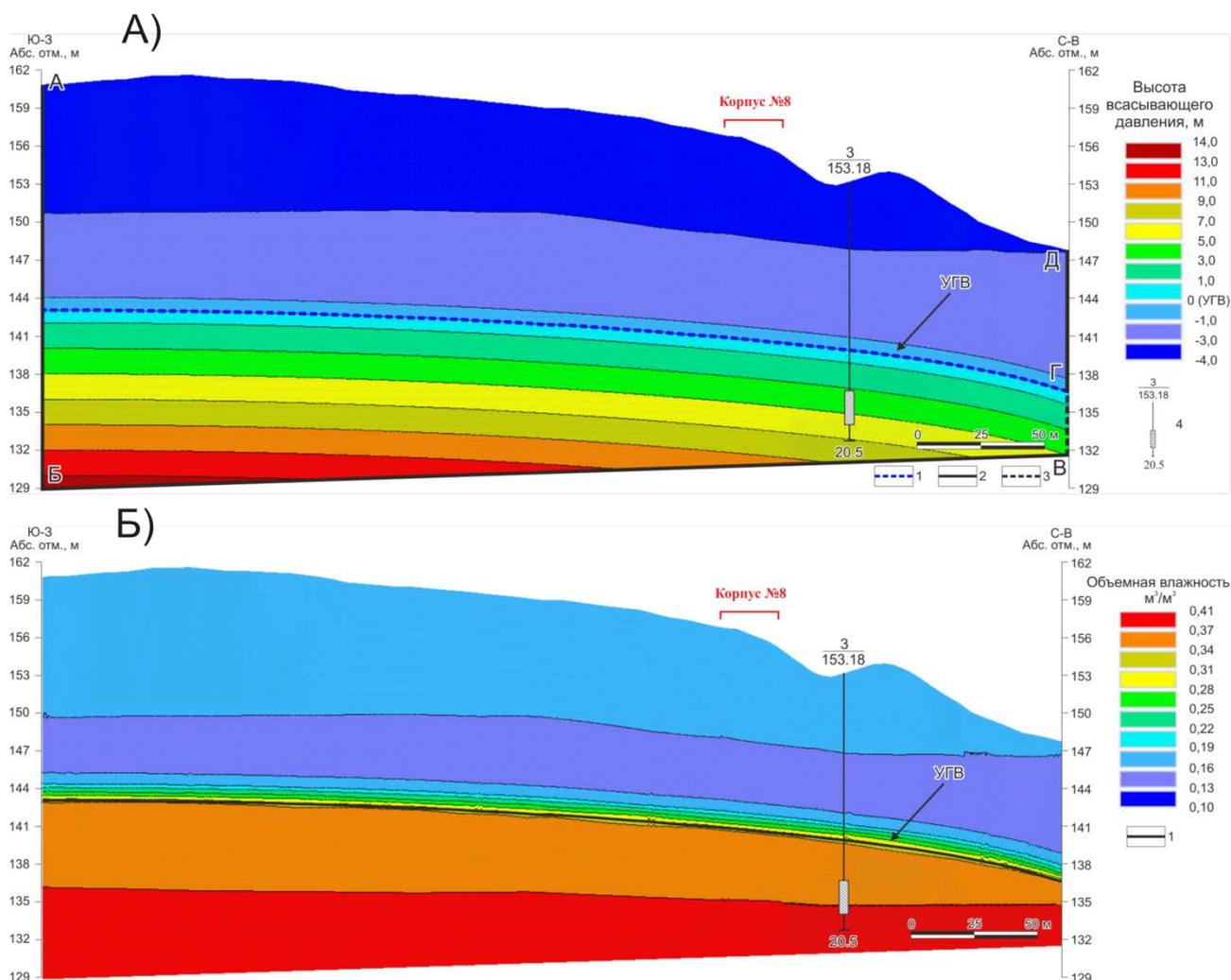
Примечание: на рисунке А – по оси Z значения даны в абсолютных отметках; для рисунка Б – расположение линии разреза I-I' показано на рисунке 4

Рисунок 3 – Цифровая трёхмерная геологическая модель участка АО «ВНИИХТ» (А) и профильная геологическая модель по линии I-I' (Б)



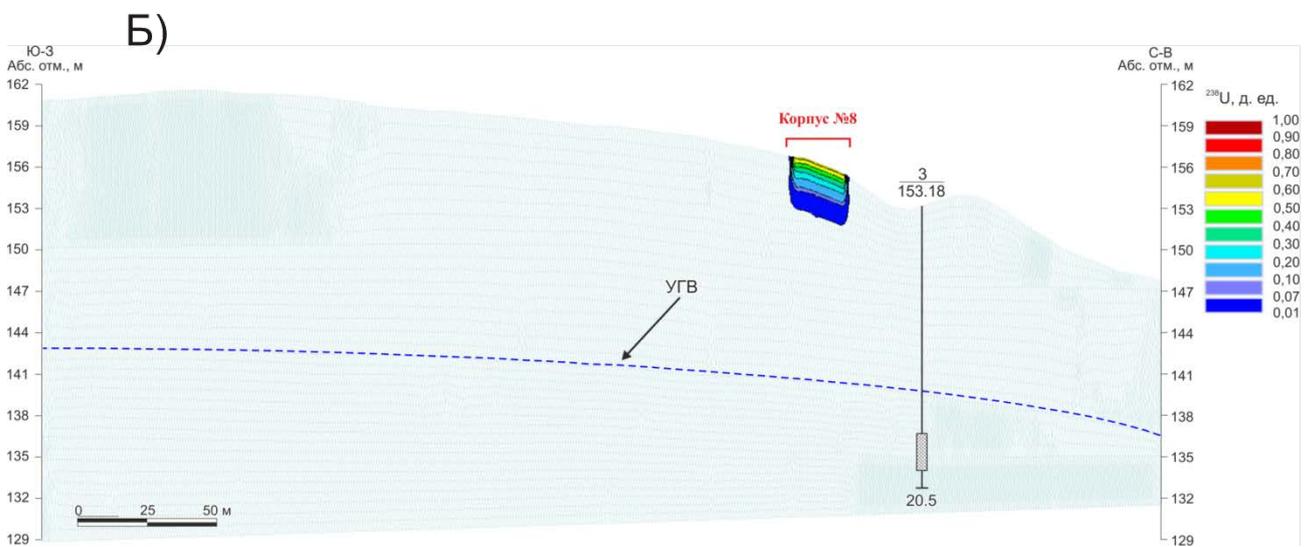
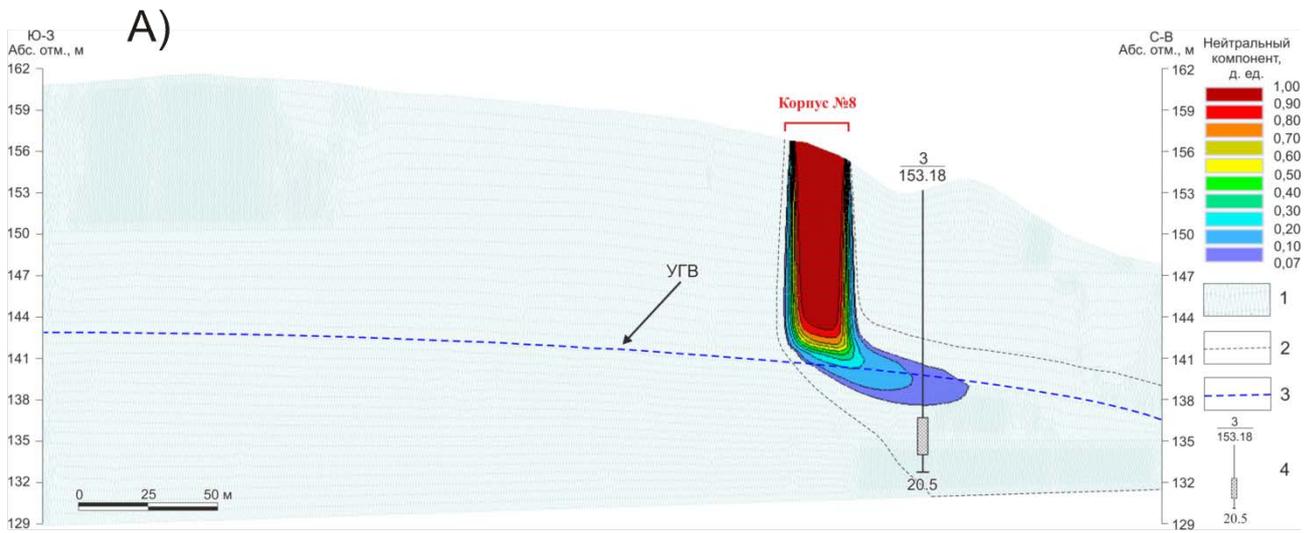
1 – наблюдательные скважины, использованные при калибровке модели, и их номера; 2 – граничные условия II рода (непроницаемые границы); 3 – граничное условие III рода ($Q=f(H)$); 4 – границы промплощадки АО «ВНИИХТ»; 5 – модельные гидроизогипсы надъюрского водоносного комплекса, м; 6 – корпуса и части зданий, в которых размещаются ЯРОО; 7 – р. Москва; 8 – линия разреза для создания профильной модели

Рисунок 4 – Граничные условия модели и схематическая карта модельных уровней поверхности грунтовых вод надъюрского водоносного комплекса участка АО «ВНИИХТ»



1 – УГВ; 2 – внешние граничные условия II рода по контурам АБ, БВ и ГД (непроницаемые границы); 3 – внешнее граничное условие I рода по контуру ВГ ($H=\text{const}$); 4 – скважина, дробь сверху: в числителе – номер скважины, в знаменателе – абсолютная отметка скважины, м, числа внизу – глубина скважины, м; посередине – положение фильтра

Рисунок 5 – Схема граничных условий, стационарное распределение высоты всасывающего давления (А) и стационарное распределение объемной влажности отложений (Б) в профильной модели



1 – модельная сетка; 2 – область распространения ореола с концентрацией выше 0,01 д. ед.; 3 – УГВ; 4 – скважина, дробь вверху: в числителе – номер скважины, в знаменателе – абсолютная отметка скважины, м, числа внизу – глубина скважины, м; посередине – положение фильтра

Рисунок 6 – Прогнозные модельные ореолы распространения нейтрального загрязнителя (А) и ^{238}U (Б) на 100 лет в разрезе