



Федеральная служба
по экологическому, технологическому и атомному надзору
(Ростехнадзор)



Федеральное бюджетное учреждение
«Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»
(ФБУ «НТЦ ЯРБ»)

Экспертный совет по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре



АТТЕСТАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

«ГЕОПОЛИС»

регистрационный № 458 от 26 декабря 2018 г.

выдан

Федеральному государственному унитарному
предприятию «Национальный оператор по обращению
с радиоактивными отходами» (ФГУП «НО РАО»)
Юридический адрес: Россия, 119017, Москва,
ул. Пятницкая, д.49А, стр.2

Федеральному государственному бюджетному
учреждению науки «Институт проблем безопасного
развития атомной энергетики Российской академии
наук» (ИБРАЭ РАН).

Юридический адрес: Россия, 115191, г. Москва,
Б. Тульская, 52.

срок действия

до 26 декабря 2028 г.

Заместитель директора ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
Председатель Экспертного совета
по аттестации программ для ЭВМ
при Ростехнадзоре, канд. техн. наук



С.Н. Богдан

ETSON

EUROPEAN
TECHNICAL SAFETY
ORGANISATIONS
NETWORK



Система
менеджмента
ISO 9001:2015



www.tuv.com
ID 9105068067

1. Общие сведения

1.1. Правообладатель программы для ЭВМ

Правообладатель программы для ЭВМ – ФГУП «НО РАО», разработчик – ИБРАЭ РАН.

1.2. Авторы программы для ЭВМ

Капырин Иван Викторович, Расторгуев Александр Владилинович, Сускин Виктор Викторович, Коньшин Игорь Николаевич, Копытов Герман Васильевич, Плёткин Андрей Валерьевич, Савельева-Трофимова Елена Александровна, Иванов Валерий Андрианович, Позизов Антон Владимирович.

1.3. Сведения о регистрации и тестировании программы для ЭВМ и ее компонентов

Программа «ГЕОПОЛИС» прошла тестирование и зарегистрирована в ОФАП-ЯР под № 800 от 18.12.2014.

1.4. Специалисты, проводившие анализ и оценку программы для ЭВМ

Анисимов Н.А., ФГУП «Гидроспецгеология»;
Куваев А.А., д-р геол.-минерал. наук, ФГУП «Гидроспецгеология»;
Поздняков С.П., д-р геол.-минерал. наук, МГУ им. М.В. Ломоносова;
Румынин В.Г., д-р геол.-минерал. наук, чл.-кор. РАН, СПбО ИГЭ РАН;
Рыбальченко А.И., канд. геол.-минерал. наук, АО «ВНИПИпромтехнологии»;
Соболев А.И., д-р техн. наук, ФГУП «РосРАО»;
Талицкая А.В., ФГУП «НО РАО».

2. Назначение и область применения программы для ЭВМ

2.1. Назначение программы для ЭВМ

Программа для ЭВМ «ГЕОПОЛИС» предназначена для геофильтрационного и геомиграционного моделирования территории размещения пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов «Полигон «Северный» (филиал «Железногорский» ФГУП «НО РАО») при прогнозных расчетах для оценки его безопасности.

Параметры, рассчитываемые с помощью программы: (1) напор, приведенный относительно пресной воды; (2) концентрация нитрат-иона; (3) удельная активность ^{90}Sr .

2.2. Область применения программы для ЭВМ по типу объекта использования атомной энергии

Пункт глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов «Полигон «Северный» филиал «Железногорский» ФГУП «НО РАО» (ПГЗ ЖРО).

2.3. Режимы эксплуатации объекта использования атомной энергии

Полученные с помощью программы результаты расчетов используются при прогнозных расчетах, проводимых для оценки безопасности ПГЗ ЖРО в период его эксплуатации (условия нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации, включая проектные и запроектные аварии) и после закрытия.

2.4. Область применения программы для ЭВМ по условиям и параметрам расчета

Программа «ГЕОПОЛИС» не может быть использована для проведения расчетов других пунктов глубинного захоронения ЖРО.

В реализованной в программе расчетной модели ПГЗ ЖРО используются следующие параметры, для которых проведена верификация и валидация ПС:

линейные размеры области моделирования – до 30 км;

коэффициент фильтрации задан в диапазоне от $1,0 \cdot 10^{-6}$ до 1,8 м/сут и распределен на ячейках трехмерной сетки;

продольная дисперсивность – 10 м, поперечная дисперсивность – 1 м;

коэффициент молекулярной диффузии – $1,0 \cdot 10^{-5}$ м²/сут;

активная пористость среды задана в диапазоне от 0,02 до 0,25 и распределена на ячейках трехмерной сетки;

коэффициент упругости среды от $1,0 \cdot 10^{-6}$ до $1,0 \cdot 10^{-4}$ м⁻¹.

Данные по компонентам закачанных ЖРО определяются имеющимися фактическими измерениями и заданы для двух компонентов: радионуклид ⁹⁰Sr и нитрат-ион.

Параметры реализованной в программе геофильтрационной-геомиграционной расчетной модели соответствуют геоморфологическим, геологическим и гидрогеологическим условиям площадки и района размещения ПГЗ ЖРО, в том числе в расчетной модели учтены особенности геологического строения осадочного чехла территории его размещения и пространственные неоднородности фильтрационных и миграционных параметров.

Реализованная в программе геофильтрационная расчетная модель с заданными фильтрационно-ёмкостными параметрами верифицирована на основе реалистического подхода.

Реализованная в программе геомиграционная расчетная модель с заданными миграционными параметрами верифицирована на основе консервативного подхода (в указанной расчетной модели используются значения параметров, заведомо приводящие к более неблагоприятным результатам, а именно – более высоким расчетным максимальным значениям концентрации вышеуказанных двух компонент ЖРО при достижении ими биосферы и меньшему расчетному времени их миграции до биосферы).

2.5. Погрешность, обеспечиваемая программой для ЭВМ в области ее применения

Погрешность расчётов напора для ПГЗ ЖРО оценивалась с помощью масштабированного среднего квадратического ошибки (МСКО). Для стационарной задачи по всем скважинам и измерениям напоров в них значение МСКО составляет 3,1 %. Для нестационарной задачи среднее значение МСКО по всем скважинам и измерениям в период с 1967 по 2010 год составляет 5,4 %.

Для оценки погрешности расчёта концентраций в скважинах использовалась дискретная l_∞ -норма, вычисляемая для последовательности значений в скважинах:

$$\varepsilon_{C, \text{скв}} = \frac{\|C^{\text{mod}} - C^{\text{obs}}\|_\infty}{\|C^{\text{obs}}\|_\infty} \cdot 100\% = \frac{\max_i |C_i^{\text{mod}} - C_i^{\text{obs}}|}{\max_i |C_i^{\text{obs}}|} \cdot 100\%,$$

где C_i^{obs} – величина средней измеренной концентрации в i -ой скважине в 2010 году, C_i^{mod} – величина средней модельной концентрации в i -ой скважине в 2010 году (взяты те скважины, в которых присутствуют значения измеренных концентраций нитрат-иона выше ПДК – 45 мг/л).

Таблица 1 – Отклонения, определенные при валидации программы с использованием «натурных» данных

Рассчитываемый параметр	Значение отклонения, %
Напор, м	Стационарная задача: 3
	Нестационарная задача: 5
Концентрация нитрат-иона, г/л	90

В верифицированной области применения программа обеспечивает консервативный расчет удельной активности ^{90}Sr .

3. Сведения о методиках расчета, реализованных в программе для ЭВМ

Расчетная методика

Геофильтрационное и геомиграционное расчетное моделирование осуществляется в программе на базе численного решения системы дифференциальных уравнений в частных производных, состоящей из уравнений фильтрации и массопереноса. Дискретизация производится на многогранных сетках (призмы, пирамиды, гексаэдры, тетраэдры) с помощью метода конечных объемов (МКО). Используется линейная изотерма сорбции. Температурные эффекты при моделировании не учитываются.

Граничные условия

Для глобальной расчетной модели границы области проведены по рекам Енисей и Кан, определяющим разгрузку подземных вод, и участкам выхода кристаллических пород на дневную поверхность. Реки Кан и Енисей в модели задаются граничными условиями третьего рода, для реализации которого

используются абсолютные отметки уровня в этих реках и коэффициент проводимости. Участки выхода кристаллических пород в модели рассматриваются как непроницаемые и реализуются нулевым условием второго рода.

Верхняя граница модели определяется рельефом местности. Через нее реализуется связь модели с атмосферой (испарение и инфильтрационное питание) и внутренними водотоками и водоемами (реками, болотами и др.). Инфильтрационное питание задается при моделировании граничным условием второго рода с постоянным во времени и переменным по пространству расходом на отметке рельефа моделируемой области.

Нижней границей модели является уровень скальных кристаллических пород. В модели эта граница предполагается непроницаемой и задается нулевым условием второго рода.

Геометрия расчетных моделей

Программа обеспечивает проведение расчетов в трехмерной геометрии. Геометрия расчетной области определяется геологической структурой объекта, рельефом области, положением кристаллического непроницаемого фундамента, границами выхода кристаллических пород на дневную поверхность, а также реками Енисей и Кан, в которые происходит разгрузка подземных вод. При этом расчетная сетка состоит из тетраэдральных, пирамидальных или призматических ячеек разных размеров.

Методы решения

В программе использована модель фильтрации в напорно-безнапорном режиме с учетом водообмена между грунтовыми водами и поверхностными водными объектами.

Для моделирования переноса радионуклидов в растворе используется модель адвекции-диффузии-дисперсии с учетом сорбции и радиоактивного распада в среде с двойной пористостью. Сорбция считается равновесной, моделируется по линейной изотерме (изотерме Генри). В модели возможен учет эффекта плотностной конвекции.

Параметризация геофильтрационной-геомиграционной модели выполнена с учетом геологических условий площадки размещения ПГЗ ЖРО на основе данных, полученных при бурении скважин, проведении опытно-фильтрационных работ, геохимического моделирования, многолетних данных мониторинга.

4. Дополнительная информация

С помощью программы возможно выполнение расчётов миграции иных радионуклидов и химических компонент ЖРО помимо ^{90}Sr и нитрат-иона. В этом случае при ее использовании необходимо обосновать выбор миграционных параметров для этих компонент, дополнительно оценивать погрешности и/или доказывать консерватизм модели.

Для запуска программы на персональном компьютере (ПК) должна быть установлена операционная система Windows. Работа программы протестирована

на ПК с операционными системами Windows 7, Windows 8 и Windows 10, работа с другими операционными системами не гарантирована.

Минимальная конфигурация ПК для запуска программы:

Процессор Intel Core i3; 2 Гб оперативной памяти; 5 Гб свободного места на жестком диске (для сохранения результатов моделирования).

Оптимальная конфигурация ПК для запуска программы:

Процессор Intel Core i7 3.4GHz; 8 и более Гб оперативной памяти; 10 и более Гб свободного места на жестком диске.

Программа может быть запущена на компьютерах с 64-разрядной операционной системой.

Программа обладает интерфейсом, реализованным посредством набора меню и диалоговых окон, а также снабжена рядом средств визуализации.

5. Организации, специалисты которых прошли обучение по применению программы для ЭВМ

ИБРАЭ РАН;

ФБУ «НТЦ ЯРБ»;

ФГУП «НО РАО»;

ФГУП ФЯО «ГХК».

6. Перечень документов, сопровождавших экспертизу программы для ЭВМ

Обращение ИБРАЭ РАН (письмо от 26.12.2014 № 11407/01-1386) и ФГУП «НО РАО» (письмо от 10.07.2015 № 319-415/1720).

«Верификационный отчет «Программной реализации геофильтрационной геомиграционной модели полигона «Северный» (ГЕОПОЛИС)» – М: Отчет ИБРАЭ РАН, инв. № 4071-25-11/404-6/3, Москва, 2014 (письмо ФГУП «НО РАО» от 10.07.15 № 319-415/1720).


«Анализ и оценка материалов, обосновывающих применение программного средства «ГЕОПОЛИС» – М.: Отчет ФБУ «НТЦ ЯРБ», инв. № АО-91/2015, 2015 – 71 л.

«Верификационный отчет «Программная реализация геофильтрационной-геомиграционной модели полигона «Северный» (ГЕОПОЛИС)» – М: Отчет ИБРАЭ РАН, инв. № 4071-25-11/404-6/3 (редакция от 25.12.2018), Москва, 2018.

Рекомендация секции № 7 Экспертного совета по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре о составе группы экспертов (протокол заседания от 27.02.2015 № 2015-7/1) и решение секции № 7 об утверждении результатов экспертизы (протокол заседания от 17.12.2018 № 8/с7-2018).

Решение президиума Экспертного совета по аттестации программ для ЭВМ (протокол заседания от 26 декабря 2018 года № 74).


Ученый секретарь Экспертного совета
по аттестации программ для ЭВМ
при Ростехнадзоре,
канд. техн. наук



(подпись)

С.А. Шевченко

Председатель секции № 7
«Физическая химия, геохимия
и гидрогеология» Экспертного совета
по аттестации программ для ЭВМ
при Ростехнадзоре,
канд. техн. наук



(подпись)

Н.Л. Харитоновна