

## МАТЕРИАЛЫ КРУГЛОГО СТОЛА «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ОБОСНОВАНИИ РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОИАЭ»

XVI отраслевая молодежная школа-семинар «Промышленная безопасность и экология» посвящена комплексной, многогранной и чрезвычайно важной для безопасности предприятий отрасли теме «Мониторинг безопасности и готовности сил и средств к предупреждению и ликвидации последствий возможных аварий на потенциально опасных объектах ЯОК».

Для раскрытия этой темы в рамках школы были заслушаны и обсуждены пленарные и секционные доклады, в которых представлен ряд существенных по содержанию и интересных для слушателей аспектов комплексной проблемы мониторинга. Однако рамки доклада не позволяют передать «пульс» живой деятельности специалистов, обеспечивающих решение множества возникавших здесь непростых задач. А именно передача уникального и неотъемлемого от жизни ветерана опыта его деятельности – это и есть бесценный результат, на который в первую очередь и нацелена наша школа-семинар молодых специалистов в области безопасности отрасли.

Именно такому живому обсуждению вопросов моделирования в целях радиационной и экологической безопасности отрасли и был посвящен круглый стол специалистов, дополнивший доклады и сообщения.

В круглом столе приняли участие:



**Беловодский Лев Федорович** – главный научный сотрудник ФГУП «ВНИИА», доктор технических наук, профессор. В 1975–1991 гг. возглавлял отдел радиационной безопасности ВНИИЭФ, непосредственно после аварии участвовал в создании дозиметрической службы на ЧАЭС и руководил ею до 1987 года;

**Еремин Александр Дмитриевич** – ведущий инженер-исследователь РФЯЦ-ВНИИЭФ, кандидат философских наук. В 1990 г. организовал и до 1997 г. был председателем Комприроды ЗАТО Арзамас-16 и главным государственным инспектором РФ по охране природы в ЗАТО Минатома РФ;

**Расторгуев Александр Владилинкович** – старший научный сотрудник АНО ЦАБ ИБРАЭ РАН, кандидат технического наук;

**Бутнев Олег Игоревич** – начальник лаборатории ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ, кандидат физико-математических наук;

**Горев Игорь Васильевич** – начальник лаборатории ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ;

**Горев Владимир Васильевич** – ведущий научный сотрудник ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ, кандидат физико-математических наук;

**Хархордин Иван Леонидович** – заместитель гендиректора ООО «Геостройпроект», кандидат геолого-минералогических наук;

**Ведущий круглого стола – Кузавов Андрей Алексеевич** – главный специалист по моделированию – начальник отдела ГИС–технологий и математического моделирования ФГБУ «Гидроспецгеология», доктор геолого-минералогических наук.

## *Ход обсуждения на круглом столе*

### *А. А. Куваев*

– Основная цель этого семинара, как отмечено в его программе, – это популяризация важнейших научно-технических достижений, которые полезны для оценки и обоснования безопасности эксплуатации ЯРОО. Тема моделирования не первый раз поднимается на семинаре, было сделано несколько интересных докладов по моделированию и были представлены 3 основных вида моделей:

1) модели, используемые для оценки радиационной обстановки;

2) модели, разработанные для оценки аварийных ситуаций;

3) модели геофильтрационные и геомиграционные для оценки воздействия и обоснования безопасности ЯРОО.

Слово «модель» имеет латинский корень «modus», что означает «мера». Т.е. модель это некоторая мера, которая позволяет нам количественно оценить интересующие нас свойства объекта. В нашем случае модель позволяет количественно оценить воздействие объекта на окружающую среду, оценить радиационную обстановку (спрогнозировать ее) и оценить аварийную ситуацию.

Философия моделирования сложна и проста одновременно. Мы имеем дело с очень сложными объектами. Это в пространственно – временном отношении сложные объекты, неоднородные по физическим свойствам, которые в сочетании, опять же, со сложными природно-техногенными условиями определяют их поведение. И человек не может заниматься такого рода объектами «в лоб»: он должен обязательно упростить их до оптимального уровня.

Собственно, модельный подход предусматривает упрощение объекта, замену реального физического объекта некоторым материально-виртуальным объектом, модель зарождается в нашей голове, в нашем

уме и воплощается, организуется в каких-то материальных объектах. То есть, мы, уходя от реального объекта, заменяем его выдуманным, но выдуманным так хорошо, что он при определенных условиях отражает интересующие нас свойства реального объекта.

Иногда, вообще говоря, к моделированию относят любую форму мышления. Вот мы о чем-то подумаем – это уже модель. Но мы будем говорить, имея в виду наши интересы, т.е. задачи, решаемые на объектах Росатома, о моделях, которые реализуются в основном численно. Следует заметить, что бывают случаи, когда, рассматриваются и аналитические модели объектов. И мне бы хотелось сегодня наш разговор построить таким образом, чтобы оценить те результаты, которых мы достигли, а также определить основные задачи, основные проблемы, с которыми моделирование, как важнейший метод исследования объектов, в том числе объектов Росатома, необходимо решить в ближайшем будущем.

Говоря о целях и задачах моделирования, я бы хотел отметить следующее. Моделирование имеет триаду задач, которая может быть охарактеризована аббревиатурой ОПП: описание объекта; понимание объекта (понимание его физической сущности); предсказание поведения объекта.

Модели бывают разные по используемым подходам: модели стохастические, детерминистические и смешанные. Практика позволяет заключить, что только полностью детерминистические и смешанные модели, позволяют получить корректное решение задач (ОПП).

По вопросу моделирования радиационной обстановки слово предоставляется Льву Федоровичу Беловодскому.

### *Л. Ф. Беловодский*

– При проведении работ на наших площадках рассматривались различные потенциально возможные аварийные ситуации, привлекались средства моделирования и средства для реального обследования обла-

ка загрязнения, куда оно идет и далеко ли распространяется. Для прогноза мы используем официальный документ по оценке последствий аварии ЯБП, в институте была также разработана и собственная модель Пискунова. Мы понимаем, что моделирование – это чисто номинально, что вся обстановка, образующая в результате аварии определяется радиационной разведкой.

Для чего нужна модель? Для того, чтобы в зависимости от обстановки, реализуемой реально, рассчитать силы и средства для ликвидации аварии. А уточнение идет после радиационной разведки. Вот, что я могу сказать о моделировании.

Точно также мы изучали распространение трития во внешней среде. Использовали шары-зонды, на которые подвешивали ионизационные камеры. Потом смотрели в струе, как распространяется это облако тритиевое на окрестности. Любая модель нуждается в неких опытных данных, цифрах, чтобы оттестировать ее в реальных условиях.

**А. А. Куваев**

– Лев Федорович, вот вы приводили виды аварий и говорили, что есть гипотетические аварии. Когда мы делаем оценку воздействия на окружающую среду (ОВОС) ЯРОО, мы делаем расчет «запроектные аварии». Это одно и то же?

**Л. Ф. Беловодский**

– Да, это одно и то же.

**А. А. Куваев**

– Еще по моделям, которые используются при оценке радиационной обстановки. Физическая суть этих моделей в чем заключается? Вы моделируете процесс или вы просто используете наблюдения и строите цифровую модель, используя интерполяцию результатов наблюдений.

**Л. Ф. Беловодский**

– Мы используем экспериментальные данные по рассеиванию примесей в атмосфере в привязке к определенной модели. И к модели, и к выбросу, например, на какой высоте, с какой мощностью произошел взрыв. Затем эти результаты позволяют нам

строить долгосрочные модели для каждого вида боеприпаса (БП). И эти результаты рассеивания примесей в атмосфере, осадения на землю, т.е. радиационная обстановка после аварии, заносятся на карту по каждому БП. Для того, чтобы специалисты потом могли контролировать эту ситуацию в случае возможной аварии. Т.е. это практическое применение моделей.

**А. Д. Еремин**

– Некоторая библиотека, получается, заготавливается для каждого БП?

**Л. Ф. Беловодский**

– Совершенно верно. Для каждого БП, для каждого предприятия.

**А. Д. Еремин**

– Т.е. локальные условия, локальные БП. И мы заготавливаем эти модели на всякий случай, на потенциально, теоретически возможные ситуации.

**Л. Ф. Беловодский**

– Все это для определения, какие силы и средства потребуются для ликвидации последствий аварий.

**А. Д. Еремин**

– Дай Бог, чтобы они не понадобились, но вдруг...

**Л. Ф. Беловодский**

– Ну, иногда это требуется.

**Вопрос из зала (Машенькин П. А.)**

– Лев Федорович, вы говорите: «проводите измерения в атмосфере с помощью зондов». А сколько зондов в среднем надо запустить, чтобы измерить все это облако?

**Л. Ф. Беловодский**

– Зондов немного требуется запустить по струе выброса, чтобы определить коэффициент разбавления в процессе выброса. А что касается непосредственно контроля в облаке, это используются армейские самолеты радиационной разведки. У них гондолы, они отбирают пробы, в том числе на тритий, и по мере удаления от места выброса, мы знаем, сколько осаждается на грунт. Эти опыты проводились и во ВНИИЭФ на газодинамических площадках и на Новой Земле.

Была такая проблема: американцы выпустили отчет о том, что они по продуктам в облаке взрыва могут определить конструкцию ЯБП. Но мы в своих исследованиях показали, что это миф!

**А. А. Куваев**

– Одна из проблем, которые поднимались на сегодняшней школе-семинаре, – это проблема программного обеспечения. И об этом говорили не только присутствующие здесь гидрогеологи, но и специалисты, которые, например, занимаются оценкой скорости ветра в приземном слое воздуха. В сообщениях прозвучало, что отсутствуют сертифицированные программные продукты, которые позволяют решать такие научно-производственные задачи. И эта ситуация типична для многих геоэкологических задач, которые ставятся на объектах Росатома. Например, в гидрогеологии не существует ни одного программного продукта, который был бы аттестован для решения задач оценки загрязнения участка расположения ЯРОО. Мы сейчас сделали модели (я показывал в своем докладе такую диаграмму) для 37-ми объектов Росатома. В принципе, они являются нелегитимными моделями, т.к. они выполнены на не аттестованных и несертифицированных продуктах! Эта ситуация должна быть, безусловно, изменена в ближайшее время. В настоящее время проходят аттестацию 2 программных продукта: это программный комплекс «НИМФА» (разработчик – ВНИИЭФ, тестирование выполнено Гидроспецгеологией) и программный комплекс «ГЕРА» (разработчик – ИБРАЭ РАН, с участием специалистов других организаций).

На круглом столе присутствует один из разработчиков ПК «ГЕРА» Расторгуев Александр Владилинович.

**А. В. Расторгуев**

– Круг задач, которые сейчас решаются и предполагается решать с помощью ПК «ГЕРА» близок к задачам «НИМФЫ». И может быть «ГЕРА» сегодня менее продвинута по части параллельных вычислений, но является более продвинутой с точ-

ки зрения расчетов напорной-безнапорной фильтрации, и влагопереноса в зоне аэрации.

Надо сказать, что при тестирования в «ГЕРА» по части возможности решения задач в зоне неполного насыщения было проведено сопоставление с программным комплексом «FEFLOW», есть такая широко известная на рынке программа.

В настоящее время «ГЕРА» проходит аттестацию. В качестве большого, глобального объекта является ГХК, полигон хранения радиоактивных отходов.

Наличие двух программных продуктов – это не так много для нашей страны. И думаю, что будет очень интересно решать какие-то задачи в сопоставлении, в параллели с «НИМФОЙ», а не только с зарубежными программами.

**А. Д. Еремин**

– Принципиально чем-то отличаются «ГЕРА» и «НИМФА» или нет: с точки зрения построения, возможностей, идеологии? Т.е. это одна и та же идеология или разные?

**А. В. Расторгуев**

– Одна и та же, один и тот же метод конечных объемов в неструктурированной сетке, но сделан на разных предпроцессорах. Есть нюансы в расчетах переноса. В «ГЕРА», как уже было сказано, есть возможность учета безнапорных течений и фильтрации в зоне аэрации.

**А. Д. Еремин**

– Т.е. это в принципе похожие программные продукты, которые делались просто раздельно. Сколько лет вы ее делали в целом? «НИМФА» – лет 20 – 15.

**А. В. Расторгуев**

– С 2011 года.

**А. А. Куваев**

– Это интересная ситуация. Фактически существует неформальное соревнование между 2 группами разработчиков программного обеспечения, необходимого для решения геоэкологических проблем. Я хотел бы вернуться к «НИМФЕ» и предоставить слово начальнику лаборатории мате-

матического отделения ВНИИЭФ Олегу Игоревичу Бутневу.

**О. И. Бутнев**

– 2017 год объявлен Указом Президента годом экологии и вот мы проводим это научно – техническое мероприятие в преддверии нашего всеобщего праздника, с чем я вас всех заранее хочу поздравить. Потому, что это действительно важный вопрос – обеспечение экологической безопасности нашего государства. И я считаю, то чем мы занимаемся, это благодарное дело. Особенность – это то, что мы работаем в системе Росатома, где уделяется всегда огромное внимание безопасности. Это является лицом России. Именно это является фактором для выигрыша тендера при выходе на новые ядерные объекты в других странах. Это – первое.

Второе, что мне нравится вообще в экологической деятельности – это то, что люди здесь все добрые, близки к природе и, соответственно, хорошие человеческие отношения у разработчиков. Мне приходилось сталкиваться с ситуацией, когда параллельное развитие двух кодов приводило просто к войне. И поэтому у нас создалась исключительная ситуация: когда мы создавали в течение 5 лет похожие коды с программой «ГЕРА», не вступили ни в один конфликт с разработчиками. И на всех конференциях пересекаемся и говорим, что мы дополняем друг друга. Здоровая конкуренция ведет к положительным результатам.

Теперь по поводу «НИМФЫ». Да, действительно, в этом году мы проходим аттестацию. Что меня беспокоит – у нас нет надежного источника нашего перспективного развития. Это связано с тем, что у нас слабо развита инфраструктура потребителя этого продукта. Когда вчера и сегодня поднимался вопрос: «А кто же потребитель этих продуктов?», я, например, уверен, что надо развивать ситуацию такую, чтобы потребителей становилось все больше и больше. Чтобы это были экологические службы предприятий, чтобы на наших объектах (их 55) были соответ-

ствующие лаборатории, которые имели бы выход на общую базу данных. Крутились бы постоянно действующие модели, которые бы пополнялись этими специалистами, проводилось моделирование. Тогда мы сможем наш опыт и наши действия множить. Это сразу упирается в воспитание молодежи и обучение ее соответствующим технологиям.

Вот, например, в СПбГУ этому делу посвящена школа, но обучает она чему? Зарубежному пакету программ «Modflow». Но «НИМФА», «ГЕРА» не изучаются. Вот нам надо выстраивать стратегию, чтобы наши наработки не закончились буквально завтра. Нам надо создавать не коды, а систему экологической безопасности для страны, связанной и с захоронением ядерных отходов, чем мы занимаемся, и с неядерными отходами – свалками, химкомбинатами. Усилия упираются в то, что это никому не нужно. Фенолы в реки текут, но это всем не интересно, денег на это нет. Т.е. проблема сводится не только к созданию кода, и не только к развитию этой науки, к построению какого-то храма на горе.

**А. Д. Еремин**

– Я занимаюсь экологией Сарова (Арзамас-16) с 1983 года. И за эти годы убедился: об экологии любят поговорить. Но как только дело доходит до финансирования, до принятия решения – все уходит в кусты. Вот моя позиция с предложением – надо не ждать милостей о природе, а пробивать, пробивать и пробивать эту идею.

Буквально вчера и сегодня ко мне обращались специалисты ВНИИЭФ из службы охраны природы: «Дайте нам инструмент, который бы позволял моделировать и делать достаточно быстро графики контроля, места контроля...». Т.е. предприятия нуждаются в таком инструменте. Давайте тесно работать с предприятиями, создавать рыночную нишу, под которую это продукт делается, а не ждать когда она возникнет, использовать любую возможность. Надо именно создавать потребность и рыночную

нишу, а это требует целенаправленных усилий.

#### **А. А. Куваев**

– Конечно, необходимо разработать оптимальный рабочий план представления материалов по «НИМФЕ», чтобы продвигать ее дальше. У Махатмы Ганди есть такое интересное высказывание: «Найди цель – ресурсы найдутся». Нам необходимо правильно поставить приоритетные задачи, чтобы продвигать «НИМФУ» дальше и превратить ее совместно с «ГЕРОЙ» и другими достойными программными продуктами в стандартные отраслевые продукты Росатома.

#### **Вопрос из зала**

– По поводу продвижения программного обеспечения. Прозвучали слова о продвижении на внутреннем рынке. А почему нельзя обратить внимание на внешний рынок? И следующее. Говорилось о решении экологических проблем, но, как я понимаю, «НИМФА» является многофункциональной системой. Может быть, заинтересовать тех, кто добывает полезные ресурсы? Все полезные ресурсы когда-то были жидкостями, может быть как-то в эту сторону обратить свой взор?

#### **О. И. Бутнев**

Мы сегодня не касались этой стороны вопроса, но «НИМФА» создавалась как двуликий Янус: на одном движке делается 2 продукта и оба называются «НИМФА».

Один предназначен для решения задач гидрогеологии, гидрогеоэкологии. Второй класс задач – это «нефтегаз». Здесь если задача переноса радионуклидов и однофазная фильтрация, то там – многофазная, многокомпонентная фильтрация, где присутствуют газ, нефть и вода, и различные их смеси. Эту задачу мы тоже считаем. Сейчас у нас стартовал проект «Подводный добычной комплекс» по добыче газа на газоконденсатных месторождениях. В рамках нашего коллектива есть команда, которая занимается экологией, есть команда, которая занимается нефтегазом. Очень активно им занимаемся. Со всеми нефтяными компаниями, с

которыми мы встречаемся, мы говорим: «Давайте делать вместе». Но процесс идет трудно. Сейчас существует большой проект, возглавляемый Игорем Васильевичем Горевым – это геологоразведка. Моделирование подземных течений входит составной частью в этот проект. Это очень большой проект в интересах корпорации Росгеология, где перспективы достаточно хорошие. Пока он не стартовал.

#### **И. В. Горев**

– Проект этот родился примерно 1,5 года назад в результате обращения руководства Росгеологии к руководству Росатома с просьбой.

Ситуация у них такая, как уже была здесь озвучена: используется иностранное программное обеспечение на всех предприятиях. Два слова о Росгеологии. Это созданная в 2013 году организация – государственное акционерное общество, которое вобрало в себя все геологоразведочные предприятия страны. Во время перестройки, когда исчезло министерство геологии, все эти люди, которые работали в геологоразведке, разбрелись по разным конторам. Их довольно много и вот это акционерное общество их сейчас собирает. Уже 68 специалистов привлечено к активному сотрудничеству и объединено.

Так вот, в геологоразведке используется много разного программного обеспечения. У них есть свой, цикл работ, конвейер, для того, чтобы найти нефтяные залежи. Начинают обычно с сейсмического зондирования недр, т.е. используется какой-то источник сейсмических волн (часто взрывной). Когда источник сработал, на приемниках получается множество сейсмограмм. Их нужно обработать, интерпретировать. Далее по ним строятся сейсмические кубы, по которым, в свою очередь, строятся геологические модели. Здесь много неоднозначности, много математики, много искусства геолога. И уже потом по геологической модели можно произвести оценку объема запаса углеводородов. Далее в дело вступает программа гидрогеологического

моделирования – помогает определить способ разработки месторождения и другая программа, которая используется для управления процессом бурения. Это программа геонавигации, которая помогает бурильщикам вести скважину по нужной траектории, подсказывает необходимую в данный момент плотность бурового раствора параметров и т.д. Вот все эти программы, за небольшим исключением, зарубежные. Отечественное программное обеспечение в некоторых организациях есть, но оно на вторых ролях, т.к. иностранные программы берут комплексностью решения: в одной оболочке можно провести всю процедуру, начиная с обработки тех сейсмограмм, что пришли с датчиков, до построения геологической модели.

Нам было предложено помочь Росгеологии создать такой комплекс, единую платформу, в которую вошли бы отечественные продукты. К сожалению, решение затягивается в связи с трудностями финансирования. На сегодняшний момент появилась информация, что достигнута договорённость о финансировании данных работ за счёт госпрограммы возобновления минерально-сырьевой базы страны. И мы надеемся, что со следующего года этот проект стартует. Работа у нас уже такая ведется, мы начинаем строить интегрированную программную систему. Работаем мы совместно с Центральной геофизической экспедицией.

### ***Вопрос из зала***

– А что у нас с зарубежным рынком? Например, в Японии недавно были трагические события. Чтобы заинтересовать их в покупке нашей продукции можно было, в качестве доброй воли, помочь им посчитать не только для этой станции, но и для других. Чтобы они увидели, что это эффективно и быстро.

### ***А. А. Куваев***

– Совершенно верно, вы совершенно правильно ставите проблему. Дело в том, что и Росатом и разработчики ставят проблему коммерциализации. В частности,

проектом «НИМФА» в текущем году предусмотрено создание коммерческой «коробочной версии».

Вот еще один серьезный вопрос, заданный участником семинара по поводу выхода на зарубежный рынок. Дело в том, что годы перестройки и годы, прошедшие после перестройки, позиции были потеряны и рынок был полностью завоеван импортными продуктами. Их не много, пальцев на руке хватит, чтобы все перечислить, но они настолько вошли в практику проведения модельных расчетов, что уйти от них специалистам будет чрезвычайно трудно. Необходимо показать, что наши программные продукты «НИМФА» и «ГЕРА» на порядок лучше по таким-то и таким-то критериям... Т.е. в этом направлении предстоит очень большая работа.

Прежде, чем продолжить наше общение позвольте сделать одно замечание, которое я забыл сделать в своем докладе.

Моделирование важно для нас еще и потому, что оно позволяет визуализировать процессы подземной миграции радионуклидов, которые другим способом невозможно увидеть. С помощью моделирования мы начинаем видеть под землей, что там происходит. И вот как показывает практика, в 99 % случаев – для 99 объектов из 100 воздействие объекта Росатома ничтожно по сравнению, например, с расположенной около объекта городской свалкой. Ну, мы не берем такие объекты, как, например, водоем № 9 – это одно из самых загрязненных мест на земном шаре. Это исключение. Но, как правило, воздействие объектов Росатома на окружающую среду сравнительно мало по сравнению с воздействием других промышленных объектов (водоемов-накопителей, отстойников, полигонов ТБО и т.д.).

### ***А. Д. Еремин***

– У нас в Сарове абсолютно так же. Мы смоделировали этой же программой «НИМФА» ряд наиболее значимых промышленных объектов и свалку. Городская свалка ТБО давит все.

### **А. А. Куваев**

– Мы участвовали в общественных слушаниях по ряду объектов, например, по Кирово-Чепецкому химкомбинату. Так вот, с помощью математического моделирования, основанного на данных объектового мониторинга состояния недр, мы доказали: не хранилища радиоактивных отходов влияет на экологию, а хранилище завода минеральных удобрений, которое отравило там все вокруг. Поэтому моделирование – это стратегический вопрос, который коренным образом позволяет изменить отношение к объектам Росатома и определить первоочередные геоэкологические проблемы.

Программный продукт «НИМФА» разрабатывался с начала 90-ых годов и вот очень интересно послушать Владимира Васильевича Горева, который стоял у истоков этого продукта, просьба сказать несколько слов, как возникла эта идея реализации пакета «НИМФА», история его создания.

### **В. В. Горев**

– Главная причина разработки пакета «НИМФА» – стремление выжить. В конце 90-ых положение было очень плохое – детей кормить было нечем. Тогда начальник математического отделения познакомил меня с профессором Казанского Университета А. В. Костериным. Он сказал: «Можно написать проект, послать его на конкурс в организацию под названием МНТЦ (международный научно-технический центр) и, если пройдет – сможем получить деньги». Мы собрали профессоров Казанского, Московского, Санкт-Петербургского университетов, института Гидрогеоэкологии РАН. Команда эта признавалась самой сильной командой гидрогеологов России. Пятой же организацией выступил ВНИИЭФ.

Всего было 7 проектов МНТЦ. В первом из них мы сделали базовую модель, во втором – постоянно действующую модель Сарова, в третьем – модель развития карста. Саров стоит на молодом карстовом образовании. Стоит выйти в здешний лес, и вы увидите множество глубоких воронок. От-

нюдь они не являются следами разорвавшихся снарядов – это карстовые провалы.

В этом проекте рассматривалось два механизма образования карстов. Первый – механизм суффозия. Город стоит на доломитах, они все в трещинах. В эти трещины попадает вода, и она может механически размывать эту породу (суффозия) или растворять стенки трещин, увеличивая их. За счет чего идет растворение? Когда капли дождя проходят атмосферу, они насыщаются кислородом и углекислым газом. А углекислый газ, растворенный в воде – это кислота. Вот она и разъедает эти трещины. И, в конце концов, образуются полости, которые называются карстами.

Затем был проект, который назывался «Повышение нефтеотдачи из заглинизированных нефтяных пластов». Это большая проблема во всем мире. В нефтяных месторождениях, в новых нефтяных коллекторах, кроме нефти содержится от 3 до 5 % глины. Что такое глина? Это 0,1–3 мкм пластинки слюды. Когда выталкивают нефть из отбирающей скважины, в пласт закачивают пресную воду, насыщенную кислородом, которую берут из поверхностных водоемов. В процессе закачки происходит дисперсия глины на отдельные пластинки, и они приобретают сильный электрический заряд. В результате образуется, так называемый, «электроосмотический поток», который прижимает нефть к стенке пор, при этом пропуская воду. Отбирающие скважины начинают качать воду, а вся нефть остается вдоль стенок. Дабы устранить данную серьезную проблему, сначала нужно было в ней разобраться, понять: какие присадки необходимо загонять в воду, чтобы заряд на пластинках не образовывался. В итоге нам удалось найти способ решения данной задачи.

Следующий проект – образование и разрушение тромбов в кровеносной системе человека. Образование тромбов на медицинском жаргоне – тромбоз, а разрушение – лизис. Когда стенки сосудов человека становятся хрупкими (при травмах, ударах), на них могут образовываться трещины.



Трещины этот организм начинает лечить. В кровь выбрасываются специальные гормоны, которые образуют в крови вещество, называемое фибрин. Он затыкает щель и начинает процесс лечения. Этот процесс варьируется по длительности от нескольких лет, до пары минут. Одновременно организм вырабатывает ферменты, которые должны разрушить этот тромб и заклеить трещину. Но если трещина большая – процесс растягивается и тромб продолжает расти, со временем перекрывая ток крови в сосуде. Скорость течения крови в сосудах человека очень большая – прохождение крови буквально от пятки до мозга занимает несколько секунд. Поэтому перепад давления около этого тромба очень большой, и он в любой момент может оторваться от стенки, устремившись по течению с кровью. Частично растворяясь, расщепляясь в процессе переноса, он может достигнуть сосудов сердца, вызвать инфаркт или инсульт. Необходимо было понять: сколько времени есть у врачей на введение лекарства и растворение тромба с того момента, когда человек почувствовал себя плохо. Был создан блок в программе «НИМФА», с помощью которого удалось рассчитать это время. Основываясь на полученных данных, кардиологи подобрали лекарство.

Следующий проект – по Токтогульскому водохранилищу в Киргизии. В Киргизии на реке Нарым при советской власти построили Токтогульское водохранилище глубиной – 700 м. У Киргизии нет своих углеводородов, лесов тоже нет. Зимой топить, кроме как электричеством, нечем. На плотине Токтогульского водохранилища стоит электростанция. Зимой они сбрасывают воду из этого водохранилища на электростанцию для выработки электроэнергии. А летом спускают воду в реку Нарым для узбеков, чтобы те поливали Ферганскую долину. Однако летом они сбрасывают не ту же воду, что и зимой. Дело в том, что верхние слои этого водохранилища заполнены чистой водой, но, начиная с 400 м. и глубже, в воде содержится уран. Дело в том, что пи-

тание этого водоема речное, а поверхностный сток – это чистая вода. А часть, которая ушла в трещины, скальные породы, это как бы – подземное питание водохранилища, уже насыщенное солями урана, т.к. вокруг водохранилища порода россыпью – уран. Узбеки были страшно недовольны тем, что им сбрасывают урановую воду. Дело было на грани войны, уже были выставлены друг другу ультиматумы. Тогда они обратились к нам: «Сделайте модель этого водохранилища и покажите, что в происходящем нет нашей вины, что мы вынуждены так делать».

Район этот – водохранилище, в котором сезонные колебания воды составляют 400 м. Во-первых, это очень сложные граничные условия. Во-вторых, водохранилище окружено горами, высота которых достигает 4000 м. Однако удалось покрыть всю эту территорию сеткой, причем объемной, а не поверхностной, и посчитать полученную модель. Мы выдали отчет киргизам, инцидент был улажен, напряжение спало.

Потом был очень интересный проект, скорее относящийся к будущей 2-ой версии «НИМФЫ», о которой здесь идет речь, это – тритий-гелиевый метод датирования молодых подземных вод. Предложил его, ныне покойный, академик Толстихин. У сына Толстихина, живущего в Лондоне, в Питере есть друг – И. Токарев, который этот метод и продвигает. Что это за метод? В начале 60-ых в Россия и Америка проводили испытания термоядерных бомб в атмосфере, где, в результате, содержание трития повысилось в 10 000 раз. Потом испытания запретили. Время полураспада трития – 12 лет. Дождями его вымыло из атмосферы, и он весь оказался или в океане, или на суше. Из суши он попал в подземные воды и стал проникать в более глубокие слои земли, потихоньку разлагаясь. Дочерние элементы такого распада трития – это изотопы гелия, а вот они уже абсолютно устойчивы и могут жить сотни тысяч лет. Гелий существует в природных подземных водах, но содержание его очень низкое, однако в загрязнен-

ных подземных водах его содержание увеличивается. И часто встает вопрос, можно ли в таком месте построить, скажем, хранилище радиоактивных отходов или других вредных отходов, а может быть АЭС? Будет все отлично, если водоупор, место идеальное.

Но есть ли окна в этом водоупоре? Часто так и бывает. Так вот, через эти окна изотоп гелия пройдет глубже в водоносные слои и будет переноситься потоками. Однако по содержанию трития можно вычислить, где находятся эти окна, где строить нельзя. Т. е. это очень интересный метод.

Вот такие модели были сделаны по Токтогулу. Там интересные граничные условия, плавающие переменные, поверхностный сток. Была своеобразная модель течения, развития карста. Тритий-гелий модель. Я предлагаю Куваеву подумать, может быть что-то из этого можно использовать в новой «НИМФЕ».

**А. А. Куваев**

– Интересно, я впервые об этом слышу. Я занимался тестированием «НИМФЫ» уже 2-го поколения. И получается, что это уникальный проект. Это платформа, с помощью которой можно изучать разнообразные физические и физико-химические процессы: от поведения сосудов, тромбов, до миграции изотопов.

Может быть, мы перейдем к современной, к «НИМФЕ» 2-го поколения?

**А. Д. Еремин**

– Если позволите, я немного расскажу по истории «НИМФЫ». Чисто человеческий момент. Как я попал в эту программу «НИМФА»: в свое время Владимир Васильевич меня привел. Я был экологом, председателем комитета по экологии города и он мне задает вопрос: «Что можно делать полезного для экологии при помощи этого программного продукта?» Надо сформулировать экологические задачи, а если привязывать к нашей территории, то нужны и различные исходные данные ... Так я и появился в этом замечательном коллективе, как смог – тем и помог. Но главное для меня

воспоминание такое – это уникальный коллектив, состоящий, в первую очередь из людей, а уже во вторую очередь – из ученых, пусть даже и крупнейших специалистов из нескольких научных центров России: Казанский государственный университет (Институт механики и математики), Санкт – Петербургский институт геоэкологии РАН, наш Саровский ИТМФ, МГУ (геологический факультет). Всех я перечислил?

**И. В. Горев**

– Санкт-Петербургский Университет.

**А. Д. Еремин**

– Да, и Санкт-Петербургский Университет. Это не просто производственники, это коллектив друзей. Периодически проводились производственные семинары с выездом не только в разные города (Питер, Казань, Саров), но также и на базы отдыха: грибы собирали, рыбу ловили, целого барана зажарили, шашлыки... Еще раз повторю: мне в жизни так повезло быть в таком коллективе, это коллектив духовный, а все остальное уже потом. А Владимир Васильевич Горев всегда был душой этого душевного коллектива.

**А. А. Куваев**

– «НИМФА» безусловно способствует объединению людей, сообщество которых можно в шутку, конечно, назвать «нимфоманами».

**И. В. Горев**

– В дополнение к проектам МНТЦ, о которых рассказывал Владимир Васильевич, хочу вспомнить ещё одну интересную работу.

Как-то, мы, в связи с задачей создания экрана, защищающего подземные воды Сарова в случае гипотетической утечки загрязнений из пруда-отстойника, занимались созданием экспертной системы, которая помогала нам выбрать оптимальную конфигурацию и свойства защитного экрана. Речь идет о том, что если через борта или дно отстойника происходит какая-то утечка – нужно принять меры для нераспространения загрязнения в потоке под-

земных вод потому, что этот поток идет в речку, а она здесь недалеко. Обычно в таких случаях делаются противofильтрационные барьеры. Как правило, из глины, которая плохопроницаема для подземных вод, в нужном месте делается глубокая узкая траншея и заполняется глиной. Получается стена в грунте. А еще бывают барьеры сорбирующие. Такую технологию предложил, например, профессор МГУ Сергеев В. И. Создание сорбирующего экрана происходит следующим образом: бурятся параллельно 2 линии неглубоких скважин так, чтобы они расположились в шахматном порядке на расстоянии 0.5 метра друг от друга. И в каждую скважину затем под давлением закачивается сорбирующий гель. Этот гель распространяется в грунте в окрестности скважины, области, заполненные гелем, стыкуются друг с другом, получается сплошная завеса. В связи с тем, что скважины пробурены близко друг к другу, их нужно довольно много. При этом, сорбирующий гель – вещь не очень дешёвая. В результате получается, что такой барьер требует значительных финансовых вложений. Поэтому, важно чтобы объёмы бурения и необходимого геля были минимизированы. Но не в ущерб качеству барьера. И вот наши казанские коллеги, участники этого проекта сделали специальную программу, основанную на нейронных сетях, которая помогала определить оптимальное решение. Мы по «НИМФЕ» проводили серию расчетов по моделированию распространения загрязнения, меняя форму барьера с сорбентом, его положение, свойства сорбента. Соответственно, получалась разная стоимость барьера и разная прогнозируемая концентрация загрязнения в интересующей нас точке. После этих расчётов казанская программа обрабатывала результаты и выдавала нам оптимальные параметры экрана и сорбента. Таким образом у нас появились все компоненты экспертной системы для принятия управленческих решений по подобным инженерным сооружениям.

### ***Л. Ф. Беловодский***

– Немного о Чернобыле, строительстве саркофага и восстановлении 3-го энергоблока – что там получилось. Решили защитить воду речки, которая рядом расположена, от водоносного горизонта, чтобы после аварии загрязненные подземные воды не попали в водоем. И делали стену в грунте 30 м (глубина до водоносного). Этот красивый комплекс, работала итальянская компания, они щель бетоном заливали. Ну, вот 1986 год, они упорно трудились и стену изготовили. В 1987 году приезжаем – стена сделана, грунтовым водам деваться некуда. Асфальт рвет, вода фонтанирует. Не было «НИМФЫ», вот поэтому так получилось.

### ***А. А. Куваев.***

– Я совершенно согласен с Львом Федоровичем, потому что для обоснования такого рода проектов должны быть выполнены предварительные расчеты, которые должны дать обоснованный ответ на вопрос к чему приведет создание противofильтационной завесы? Это очень дорогое инженерное сооружение. Роется траншея длиной сотни и глубиной иногда десятки метров и заполняется гидроизоляционным материалом (глиной) или чем-то еще. Строители, как правило, с большим энтузиазмом принимают за сооружение таких объектов, потому что это очень дорогое сооружение и его выгодно возводить. Я вспоминаю слова моего учителя, профессора МГУ, автора широко известных в России и за рубежом трудов по гидрогеодинамике Всеволода Михайловича Шестакова, о том, что противofильтационная завеса – это лучший способ зарывания народных денег в землю. Такие сооружения обязательно надо просчитывать перед тем, как создавать. Я приводил вам в качестве примера одного из объектов участка хвостового хозяйства НЗХК - Новосибирского завода химических концентратов. Так вот там рассматривался вопрос о сооружении колоссальной подземной противofильтационной завесы, чтобы оградить хранилище РАО от грунтового водоносного

горизонта. А это, условно говоря, Кремлевская стена длиной почти 2 километра, заглубленная под землю. Выполненные нами на математической модели расчеты, показали, что эффективность такого сооружения с точки зрения защиты подземных вод от загрязнения практически нулевая, но стена создаст эффект заболачивания, в результате чего проходящая рядом Восточно-Сибирская магистраль будет подтоплена.

Вопрос к О. И. Бутневу. А вот «НИМФА» 2-го поколения, проект которой реализуется с 2015 года, в каком она сейчас состоянии?

**О. И. Бутнев**

– Большое развитие «НИМФА» получила в 2010–2013 годах, где были выделены достаточно существенные средства, что позволило, конечно, собрать уникальную команду разработчиков, профессоров, некоторые из которых до сих пор с нами.

И тогда возник вопрос, что нам надо больше ориентироваться, сильнее развиваться в сторону нефте-газа. И оказалось, что старая платформа, а к тому времени ей исполнилось уже более 10 лет, требует пересмотра в сторону большей гибкости, и применимости ее для развития в других направлениях, например, нефте-газа, многокомпонентной, многофазной фильтрации. До этого была в текущей версии только двухфазная фильтрация нефть-вода. Газ – были проблемы. И вот тогда стартовал новый проект, особенно нам помогли сотрудники Гидроспецгеологии, которые приехали, очень хорошо пообщались с нашим руководством, показали, что можно действительно убедить Росатом опираться на новую программу. Нас поддержало руководство Росатома и потихоньку дело пошло. В 2013 году мы начали писать новый код на новых основах, и как я сказал, эта программа, как двуликий Янус, и совмещение работ позволяет нам экономить ресурсы очень сильно. В этом году у нас должна быть разработана, прежде всего, сотрудниками Гидроспецгеологии, программа внедрения пакета «НИМФА» в Ро-

сатом в качестве отраслевого стандартного продукта.

Надо двигаться дальше: расширять и классы задач и вообще-то если это отраслевой стандартный продукт, то те 55 объектов, которые будут храниться к 2030 году в базе, банке данных Гидроспецгеологии, они должны быть все сделаны на «НИМФЕ» и может быть еще и на «ГЕРЕ».

**А. А. Куваев**

– Позвольте высказать некоторые соображения по поводу перспектив развития «НИМФЫ». О. И. Бутнев сказал, что мы в этом году должны представить долгосрочную программу внедрения «НИМФЫ» в практику работы Росатома в связи с оценкой воздействия ЯРОО на подземные воды, грунты и поверхностные воды. В процессе обсуждения на нашем семинаре А. Д. Еремин высказывал предложение предусмотреть в перспективе разработку рабочего инструмента по управлению гидрогеологической ситуацией на территории ЗАТО г. Саров на базе программного комплекса «НИМФА».

**А. Д. Еремин**

И записать это в проект резолюции нашей школы-семинара.

**А. А. Куваев**

– Я полностью поддерживаю эту идею. Мы должны подумать на этот счет и предложить формулировку этого предложения. Это будет и хорошее, актуальное, научно-техническое внедрение «НИМФЫ» и отличный PR –ход. Принимая во внимание сложность природно-техногенных условий территории, прогноз качества подземных вод, отбираемых подземными водозаборами ЗАТО г. Саров и, что особенно важно, прогноз воздействия ЯРОО ВНИИЭФ на качество подземных вод возможен только с использованием математического моделирования на основе суперкомпьютерных технологий.

**А. В. Рассторгуев**

– О зарубежных примерах совместных усилий в проектах. В случае, например, скальных пород (Швеция), представляет ин-

терес, сама концептуальная модель трещин связанных с менее проницаемой матрицей. Учитывая крайнюю сложность таких моделей, в их разработке на альтернативной основе принимают участие десятки коллективов. Это позволяет на основе сравнения с полевыми опытами выбрать из многих вариантов оптимальную модель. В общем, это все имеет право на существование. К сожалению, моделей на современном уровне описывающих фильтрацию и перенос в трещиноватых средах сегодня нет ни в «НИМФЕ», ни в «ГЕРЕ». И нужно объединение усилий для решения этой задачи.

**И. В. Горев**

– Хотелось упомянуть ещё об одной работе по экологической безопасности, о моделировании распространения загрязнений в атмосфере. Два последних года разработчики «НИМФЫ» занимались созданием соответствующего программного кода. К нам обратились сотрудники службы радиационной безопасности ВНИИЭФ, с просьбой облегчить их работу. У них есть методика, представленная Ростехнадзором для вычисления активности, которая попадает на землю при выбросах из стационарных источников.

**А. Д. Еремин**

– Это официальная методика, на основании которой выдают государством разрешение на выброс в атмосферу.

**И. В. Горев**

– До недавнего времени все вычисления по этой методике, они довольно громоздкие, проводились вручную, что занимало недели и месяцы. Теперь компьютерная программа позволяет это сделать за минуты. И на следующий год сотрудники службы РВ обратились к нам с просьбой сделать программу уже для нестационарных источников ВНИИЭФ. Такой методики не было, и мы её разработали сами на основе методики Пискунова. Создали и расчетную программу. Теперь такие 2 программы у нас в отделении имеются и могут быть использованы для обоснования предполагаемых выбросов в атмосферу.

**И. Л. Хархордин**

– Об актуальности исследования концептуальных моделей. Прежде чем моделировать все на реальной геометрии, реальной задаче, часто полезно сделать простую модель с простой геометрией и исследовать качество моделирования отдельных процессов. Т.е. если это перенос химически активных веществ – выяснить какие реакции, какие компоненты важно учитывать, какие реакции могут привести к изменениям миграции, как сделано еще на старой версии «НИМФЫ».

**А. А. Куваев**

– С одной стороны вы говорите - упростить, а сейчас вы ставите весьма сложные задачи. Думаю, нам следует идти от простого к сложному и рассматривать задачи, о которых вы говорите в перспективе.

**А. А. Куваев**

– К сожалению, время, отведенное нам для обсуждения на круглом столе, подходит к концу. Хочу предоставить слово О. И. Бутневу.

**О. И. Бутнев**

– Мы очень благодарны, что приехали наши коллеги из Москвы, Питера. Мы рассчитываем увидеть их на следующей конференции, которая начнется на следующей неделе.

**А. А. Куваев**

– Спасибо. В заключение хотелось бы отметить, что инженерно-научные задачи, которые ставит перед нами Росатом, инспирируют формирование в РФ современной программной базы, на основе которой могут быть получены решения актуальных геоэкологических задач и создается почва для роста творческих коллективов. Еще раз напоминаю, что завтра будет презентация проекта «НИМФА», на которую я вас, уважаемые участники, от имени разработчиков программного продукта еще раз приглашаю.

На этом позвольте закрыть наш круглый стол.

Материал к публикации подготовили  
*А. Д. Еремин и Л. А. Шустина*