

УДК 622.4 : 519.67

В.А. Маслобоев, А.А. Бакланов, С.И. Мазухина, О.Ю. Ригина, П.В. Амосов

## Численное моделирование процессов пыления хвостохранилища АНОФ-2

V.A. Masloboev, A.A. Baklanov, S.I. Mazukhina, O.Yu. Rigina, P.V. Amosov

## Numerical modelling of dusting processes in ANOF-2 tailings impoundment

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы изучения процессов переноса мультidisперсной примеси, вздымаемой ветровым потоком. На базе двухмерной численной CFD-модели оценивается влияние высоты пылящей поверхности на загрязнение приземного слоя атмосферы вниз по потоку при вариации интенсивности пыления. Показано, что с ростом высоты пылящей поверхности прогнозируется существенное увеличение (от 50 % до 150 %) концентрации загрязнения атмосферы. Делается вывод о необходимости выполнения полноценных исследований на трехмерной модели.

**Abstract.** The paper considers issues related to study of multi-dispersed admixture transfer processes raised by wind current. Basing the 2D numerical CFD-model the influence of dusting surface height on the atmosphere surface layer downstream at dusting intensity variation has been evaluated. It has been shown that at dusting surface height growth the significant increase (from 50 % to 150 %) of contaminant concentrations in the atmosphere is predicted. The authors have come to the conclusion that full-scale 3D modelling study is required.

**Ключевые слова:** пыление, хвостохранилище, загрязнение, атмосфера, моделирование

**Key words:** dusting, tailings impoundment, pollution, atmosphere, modelling

### 1. Введение

Проблема пыления от хвостохранилищ является достаточно серьезной. Для моногородов, типа г. Апатиты Мурманской области, вопрос пыления время от времени выходит на первое место по обсуждаемости как среди населения города, так и специалистов градообразующих предприятий (ОАО "Апатит") и представителей научной общественности. Например, Управление Росприроднадзора по Мурманской области проблему пыления хвостохранилища АНОФ-2 считает одной из главных экологических проблем г. Апатиты, а на форуме сайта г. Апатиты открыта страничка по проблеме пыления (*Спасем город...*, 2013). По данным Управления Росприроднадзора по Мурманской области, зафиксированное 1 июля 2011 г. превышение ПДК пыли в воздухе вызвало ряд обращений жителей города в различные властные инстанции. Дополнительным "раздражителем" для населения города выступает Проект реконструкции хвостохранилища АНОФ-2, который предусматривает увеличение высоты пляжа хвостохранилища на 20 м. Есть определенные опасения, что пыление хвостов после реконструкции может увеличиться.

### 2. Исторический экскурс

В 1980-1990-х гг. прошлого столетия сотрудники Кольского научного центра РАН под руководством А.А. Бакланова (*Бакланов*, 1988; *Baklanov, Rigina*, 1998) сделали попытку численно промоделировать процесс рассеяния пыли на ближайшем к г. Апатиты хвостохранилище. При этом расчеты выполнялись по авторским моделям и компьютерным программам, в которых уравнения, описывающие процессы аэротермогазодинамики, решались конечно-разностными методами на неравномерных прямоугольных сетках. Поскольку работа воздушного потока на взвешивание частиц мала и частицы достаточно долго пребывают во взвешенном состоянии, распространение таких частиц исследовалось на основе диффузионной теории.

С точки зрения загрязнения атмосферы в районе хвостохранилища на первоначальной стадии исследований (*Бакланов*, 1988), интерес был к частицам пыли размером 10-100 мкм. Однако на последующих этапах исследовательских работ (*Baklanov, Rigina*, 1998) диапазон размера частиц пыли был расширен – от 5 до 200 мкм. Поскольку диапазон размеров срывааемых и переносимых частиц достаточно широк, авторы работ (*Бакланов*, 1988; *Baklanov, Rigina*, 1998) формализовали и решали уравнения переноса для нескольких интервалов размеров частиц пыли с целью аккуратного учета скорости оседания.

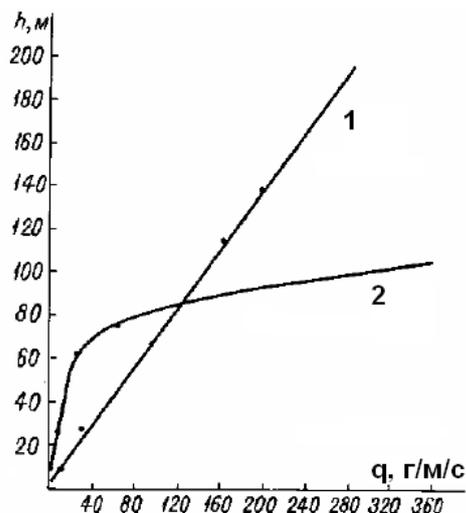


Рис. 1. Функциональные зависимости интенсивности пыления и высоты дамбы (Baklanov, Rigina, 1998):  
1 – по данным Иванова Б.В.;  
2 – по данным Борисова В.Г.

Известно, что процесс пыления песчаной поверхности достаточно сложен с позиций его описания в формализованном виде. Однако в середине 1990-х гг. Бакланову А.А. и Ригиной О.Ю. удалось сделать в этом вопросе существенный прорыв. Ими было выполнено сравнение результатов наблюдений за интенсивностью пыления различных авторов (Иванов Б.В., Мельник Д.М., Сенкевич Б.Н., Комаров А.А. и Альтшулер З.Е., Бельгибаев М.Б. и Семенов О.Е., Талалаев С.М., Дюнин А.К., Борисов В.Г., Закиров Р.С.). Анализ эмпирических зависимостей указанных авторов показал, что при наличии корреляции общих закономерностей степенного увеличения интенсивности пыления от скорости ветра количественно наблюдается достаточно большой разброс значений. Объяснить данный факт можно несколькими причинами: различные условия и методики натуральных наблюдений; различные характеристики переносимого материала; различные климатические/географические условия; используемые приборы; высота измерения скорости ветра. Наиболее близки зависимости интенсивности пыления и реально отражающие процесс срывания частиц пыли с поверхности соответствовали исследованиям Сенкевича Б.Н., Иванова Б.В., Дюнина А.К. и Борисова В.Г.

На рис. 1 представлены зависимости интенсивности пыления от высоты пляжа, которые получены Баклановым А.А. и Ригиной О.Ю. (Baklanov, Rigina, 1998) на основе анализа и обработки эмпирических зависимостей интенсивности пыления от скорости набегающего потока.

Авторы прекрасно осознают, что интенсивность пыления пляжей хвостохранилищ зависит от типов песков на различных месторождениях добычи полезных ископаемых, поскольку они во многом определяются составом, формой частиц, их плотностью, влажностью и т.д. К большому сожалению, последними серьезными экспериментальными работами на хвостохранилище АНОФ-2 по вопросу интенсивности пыления остаются исследования, выполненные под научным руководством Н.Н. Мельникова и Э.Б. Красносельского (Исследование..., 1982). Экспериментальная формула С.М. Талалаева по интенсивности пыления также подвергались анализу в работе (Baklanov, Rigina, 1998), но не наша своего описания в форме графической зависимости, аналогичного представленным на рис. 1.

По мнению авторов, представленные на рис. 1 графические зависимости интенсивности пыления от высоты пляжа хвостохранилищ позволяют в два этапа выполнить оценку влияния изменения высоты дамбы на загрязнение приземного слоя атмосферы. На первом этапе можно выполнить расчеты в физических единицах измерения, а на втором результаты расчетов проанализировать в относительных единицах.

За прошедшие годы сделан существенный прогресс в разработке моделей и компьютерных кодов, позволяющих выполнять расчеты процессов аэродинамики и распространения загрязнений в разных средах. Примерами таких программ можно указать PORFLOW, AQUA3D, COMSOL, FLUENT и др.

Поскольку задача, посвященная прогнозу рассеяния пыли от ближайшего к г. Апатиты хвостохранилища в связи с предложенным изменением высоты дамбы остается весьма актуальной (Спасем город..., 2013), в 2011-2012 гг. была предпринята попытка промоделировать указанный процесс с помощью современной компьютерной программы COMSOL.

### 3. Двухмерная CFD-модель

Целью исследования являлась оценка влияния высоты пляжа хвостохранилища на потенциальное загрязнение воздушной среды при переносе сдуваемой сильным ветром мультidisперсной примеси. Дополнительный побуждающий фактор – демонстрация факта, когда недоучет основных параметров модели приводит к ошибочным выводам.

Численные эксперименты по расчету аэродинамических параметров обтекания и конвективно-диффузионного переноса примеси выполнены на численной модели в плоской постановке с использованием программы COMSOL. Размер моделируемой области 3 000×300 м. Расчет аэродинамики с заданием необходимых начальных и граничных условий выполнен на базе (k-ε)-модели турбулентности. Значение горизонтальной скорости на входной и верхней границах модели выбрано

равным 20 м/с. Высота пляжа хвостохранилища варьировалась от 20 м от 40 м с шагом 10 м. Поверхность за объектом пыления моделируется плоской.

Интенсивность пыления на поверхности пляжа хвостохранилища промоделирована для двух ситуаций:

1-я ситуация: независимо от высоты пляжа задавалась постоянная интенсивность пыления 27 г/(м·с);

2-я ситуация: принята во внимание линейная зависимость интенсивности пыления от высоты: 27, 42 и 57 г/(м·с) на указанных выше высотах пляжа (рис. 1).

В качестве оседающей примеси рассматривались три возможных типа загрязнения: пассивная примесь с нулевой скоростью оседания; мелкодисперсная пыль с очень малой скоростью оседания на уровне 0,005 м/с; частицы пыли размером (по радиусу) порядка 6 мкм, когда скорость оседания в приближении Стокса составляет 0,01 м/с.

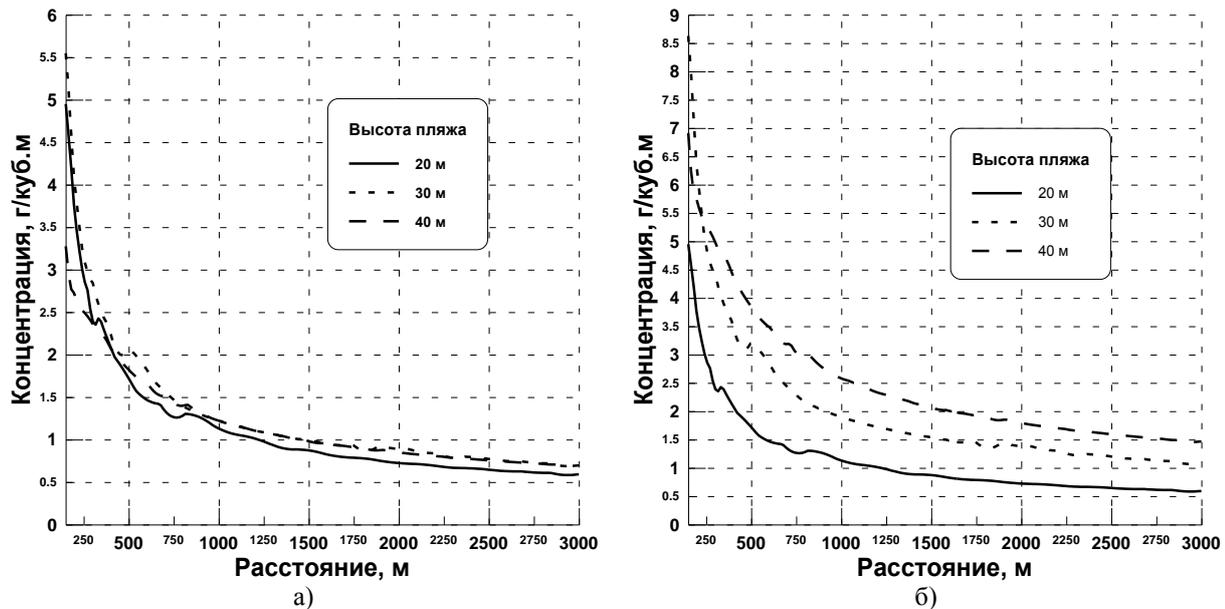


Рис. 2. Зависимость концентрации примеси со скоростью оседания 0,01 м/с на высоте 2 м вдоль горизонтальной оси при вариации высоты пляжа: а) 1-я ситуация и б) 2-я ситуация

Высокая скорость ветрового переноса и турбулентного перемешивания обеспечивает быстрый выход пространственного распределения загрязнений на стационарный режим.

Отметим отчетливые изменения в структуре поля скорости для различных высот хвостохранилищ (20 м, 30 м, 40 м), которые были выявлены в процессе анализа результатов аэродинамических расчетов, особенно в непосредственной близости за пляжем хвостохранилища, где прогнозируется образование вихревых течений. Несомненно, изменение структуры потока воздуха должно привести к определенным видоизменениям пространственного распределения загрязнений.

Вблизи пляжа хвостохранилища (область отрывных течений) имеют место максимальные значения концентрации загрязнений. Например, для скорости оседания 0,01 м/с значения максимальных концентраций пыли с ростом высоты пляжа хвостохранилища (20 м; 30 м; 40 м) равны следующим величинам: 1-я ситуация – 10,06; 11,85; 10,59 г/м³ и 2-я ситуация – 10,06; 18,42; 22,36 г/м³ соответственно.

Указанная особенность более существенного скачка максимальной концентрации пыли при высоте хвостохранилища в 30 м отчетливо повторяется и на кривых (рис. 2а и 2б), демонстрирующих распределение загрязнения вдоль горизонтальной оси на высоте человеческого роста (примерно 2 м).

Как видно на рис. 2а и 2б, на высоте 2 м непосредственно вблизи пляжа хвостохранилища высотой 30 м прогнозируется заметно более высокое значение концентрации пыли (1-я ситуация ~5,6 г/м³ – и 2-я ситуация ~8,6 г/м³), чем при высотах 20 м (1-я ситуация ~4,9 г/м³ и 2-я ситуация ~5,0 г/м³) и 40 м (1-я ситуация ~3,3 г/м³ и 2-я ситуация ~6,9 г/м³) м. Причиной указанного факта являются различия в структуре скоростных потоков непосредственно за пляжем хвостохранилища (о чем указывалось ранее).

По мере удаления от хвостохранилища (около 100 м) устанавливается стабильное превышение концентрации примеси, отвечающей большим высотам пляжа хвостохранилища. Но если в 1-й ситуации

указанное превышение не столь значимо, то во 2-й ситуации (увеличение интенсивности пыления с высотой) кривые, соответствующие высотам 30 и 40 м, располагаются на графике существенно выше. Некоторые количественные показатели концентрации загрязнения воздуха (высота 2 м от поверхности) на различных расстояниях от источника пыления при вариации скорости оседания приведены в табл. 1.

Таблица 1. Концентрация примеси в фиксированных точках расчетной сетки при вариации скорости оседания примеси (высотная отметка 2 м), г/м<sup>3</sup>

Высота пляжа хвостохранилища	Скорость оседания 0,00 м/с			Скорость оседания 0,005 м/с			Скорость оседания 0,010 м/с		
	Координаты точек, м			Координаты точек, м			Координаты точек, м		
	1000	2000	3000	1000	2000	3000	1000	2000	3000
	1-я ситуация								
20 м	1,118	0,711	0,579	1,123	0,716	0,584	1,129	0,722	0,590
30 м	1,204	0,875	0,683	1,212	0,882	0,690	1,219	0,889	0,696
40 м	1,209	0,835	0,682	1,215	0,841	0,688	1,413	0,847	0,694
	2-я ситуация								
20 м	1,118	0,711	0,579	1,123	0,716	0,584	1,129	0,722	0,590
30 м	1,874	1,362	1,063	1,884	1,372	1,073	1,895	1,383	1,083
40 м	2,552	1,763	1,440	2,565	1,775	1,453	2,578	1,787	1,466

Сравнение показателей загрязнения, приведенных в таблице и на рис. 2а и 2б, позволяет для рассмотренных ситуаций утверждать следующее:

1-я ситуация	2-я ситуация
С ростом высота пляжа хвостохранилища прогнозируется увеличение концентрации примеси по направлению воздушного потока на расстояниях более 300 м от источника.	С ростом высота пляжа хвостохранилища прогнозируется увеличение концентрации примеси по направлению воздушного потока на расстояниях более 100 м от источника.
В абсолютных величинах увеличение концентрации пыли на расстояниях более 1 000 м при удвоении высоты хвостохранилища не превышает коэффициент 1,2.	В абсолютных величинах увеличение концентрации пыли на расстояниях более 1 000 м при удвоении высоты хвостохранилища превышает коэффициент 2.
В относительных единицах максимальный прирост концентрации прогнозируется для высоты хвостохранилища в 30 м (почти 23 % на отметке 2 000 м и почти 18 % на расстоянии 3 000 м).	В относительных величинах увеличение концентрации пыли в воздухе на различных расстояниях от хвостохранилища при вариации его высоты составляет от ~50 % до ~150 %.
В "ближней" зоне хвостохранилища отсутствует однозначность утверждения об увеличении опасности загрязнения атмосферы с ростом высоты хвостохранилища.	Заметное увеличение уровня опасности указывает на возможность возникновения пылевых бурь и на необходимость для реальных объектов пыления (например, хвостохранилище вблизи г. Апатиты) аккуратных оценок при принятии ответственных решений по изменению высоты пляжа.

Как видно из представленного анализа, имеется заметное различие в полученных результатах. Причем недоучет физических зависимостей (интенсивность пыления от высоты) приводит к недооценке потенциальной опасности в "дальней" зоне таких объектов для окружающей среды.

Таким образом, можно сделать вывод: для обоснования решения по изменению высоты дамбы хвостохранилища АНОФ-2 от отметки 180 м до 200 м целесообразно осуществить трехмерное численное моделирование переноса загрязнений, что позволит иметь объективные оценки предлагаемого решения по прогнозу потенциального воздействия на атмосферу района г. Апатиты.

Обозначенный авторами вывод нашел свою поддержку в решении Координационного совета по промышленной и экологической безопасности, предложившего выполнить исследование по оценке влияния увеличения проектной высоты пляжа хвостохранилища АНОФ-2 на загрязнение приземного слоя атмосферы в районе г. Апатиты. Некоторые результаты выполняемых научно-исследовательских работ представлены ниже.

#### 4. Состояние исследований по созданию трехмерных численных моделей

Согласно данным отчетных материалов Горного института (*Исследование...*, 1982), которые были использованы в работах (*Бакланов*, 1988; *Baklanov, Rigma*, 1998), гранулометрический состав пыли представлен преимущественно фракцией частиц от 0,1 до 1,0 мм при среднем диаметре 0,34 мм. Следуя

рекомендациям указанных работ, предлагается оставить для последующего анализа загрязнения атмосферы частицы пыли размером до 200 мкм. Например, предлагается разбить указанный диапазон на 5 интервалов (рис. 3) и выполнить исследование процессов турбулентного переноса пыли поинтервально с учетом соответствующей скорости оседания (например, по простому закону Стокса). Количественные показатели параметров переносимой пыли ("вес" и скорости оседания) поинтервально представлены в табл. 2.

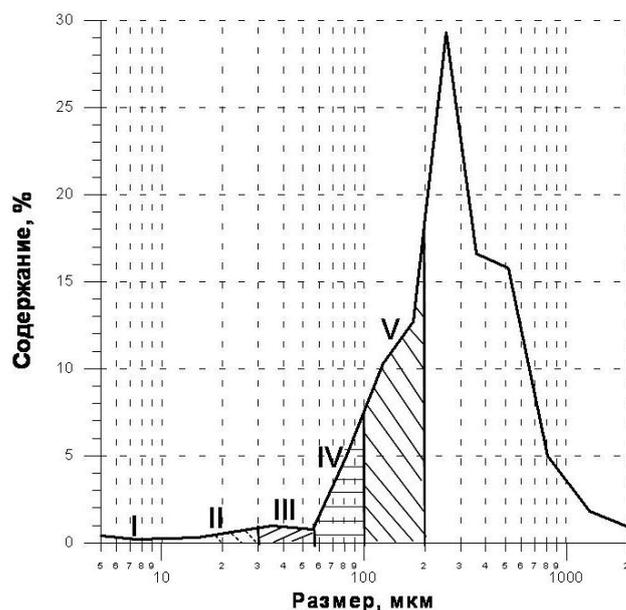


Рис. 3. Предлагаемые для анализа интервалы функции распределения размеров частиц

Таблица 2. "Вес" и скорости оседания пыли по предлагаемым интервалам функции распределения частиц от размера

Параметры	I интервал	II интервал	III интервал	IV интервал	V интервал
"Вес" интервала	0,001	0,004	0,019	0,116	0,861
Скорость оседания, м/с	0,0047	0,0335	0,17	0,537	1,89

Пыление пляжей хвостохранилища АНОФ-2 начинается при скоростях ветра 3 м/с и выше. А при скорости ветра до 7 м/с происходит полное выдувание (переход в аэрозольное состояние) нефелиновых песков (Исследование..., 1982). При дальнейшем увеличении скорости ветра возможно пыление увлажненных до 10 % песков. Для выполнения последующих численных экспериментов предлагается остановиться на скорости ветра порядка 6 м/с.

Достаточно непростой оказалась задача, связанная с построением источника пыления. Потребовалось неоднократное уточнение значений геометрических характеристик хвостохранилища и его формы. Результатом выполненных работ явился обоснованный и согласованный набор базовых геометрических параметров источника пыления с учетом водоема. Приняты во внимание следующие геометрические характеристики хвостохранилища: генеральное заложение низового слоя 1 : 4; длина хвостохранилища по гребню дамбы ~11 000 м; площадь зеркала 325 га; пляжи основного поля хвостохранилища по данным на 2011-2012 гг. составляют ~420-405 га. Таким образом, при отношении продольного и поперечного размеров хвостохранилища как 2 : 1 модель пылящей поверхности хвостохранилища представляет собой эллипс с вырезанным зеркалом водоема, который задан в форме прямоугольника.

На базе электронных карт GOOGLE EARTH района "хвостохранилище АНОФ-2 – г. Апатиты" (рис. 4) с шагом сетки 500-700 м подготовлен файл исходных данных, необходимых для создания геометрии моделируемой области в среде COMSOL. В качестве реперной высотной отметки принимается поверхность озера Имандра (126 м). Очевидно, что помимо самого объекта пыления и г. Апатиты в модели должны быть учтены предгорья Хибин и некоторые возвышенности. Было предпринято несколько попыток создания геометрии моделируемой области. Предполагаемая к использованию геометрия модели (15 000 × 7 000 м) в целом отвечает данным карт GOOGLE EARTH, естественно, без конкретизации деталей рельефа. Отметим, что специалистам по компьютерному моделированию постоянно приходится помнить и выбирать между желаемой точностью выполнения

расчетов и возможностями компьютерной техники. Наибольшие опасения вызывало достижение устойчивого счета в численных экспериментах по расчету поля скорости над сильно неоднородной орографической поверхностью большого масштаба.



Рис. 4. Фрагмент снимка района АНОФ-2 и г. Апатиты

Несмотря на хорошие вычислительные характеристики задействованного компьютера ASUS K95VJ, даже при сетке крупнее, чем нормальная (рекомендуемая разработчиками программного продукта COMSOL), размер требуемой для выполнения расчетов оперативной памяти достигает 5 Гб. Дальнейшее увеличение разрешения модели приведет к операциям записи на диск и существенному возрастанию времени счета, что с учетом неопределенностей по ряду параметров модели представляется нецелесообразным.

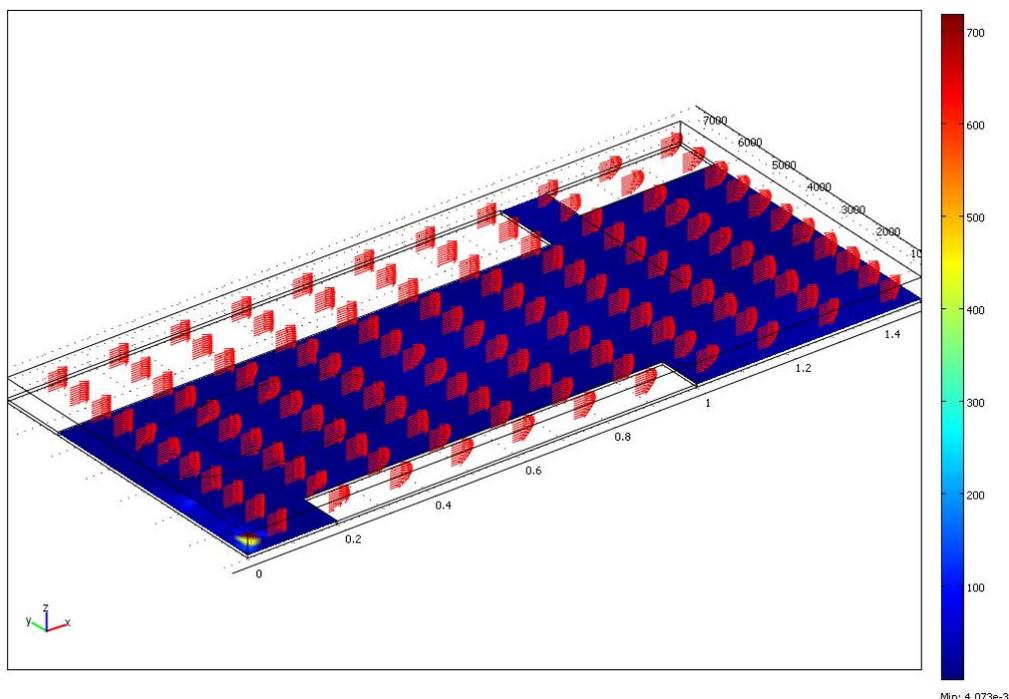


Рис. 5. Структура поля скорости и распределение коэффициента турбулентной динамической вязкости района площадки "хвостохранилище АНОФ-2 – г. Апатиты" в сечении +1 м от поверхности пыления (высота пляжа 180 м)

В качестве примера на рис. 5 представлены первые результаты расчетов по тестированию созданных аэродинамических моделей. В частности, на рис. 5 при северо-западном ветре для высоты пляжа хвостохранилища 180 м приведены структура поля скорости воздушных потоков, а также распределение в одном из сечений модели (+1 м от поверхности пыления) коэффициентов турбулентной динамической вязкости. Детальный анализ распределений компонентов вектора скорости в различных областях модели, обтекание природных и техногенных препятствий воздушным потоком, изменений в значениях по пространству модели коэффициентов турбулентной динамической вязкости свидетельствует о достаточно объективной картине расчетных аэродинамических параметров модели.

Самые предварительные примеры тестовых результатов численных экспериментов по переносу примеси (зависимость Иванова) с учетом осаждения представлены на рис. 6 и 7.

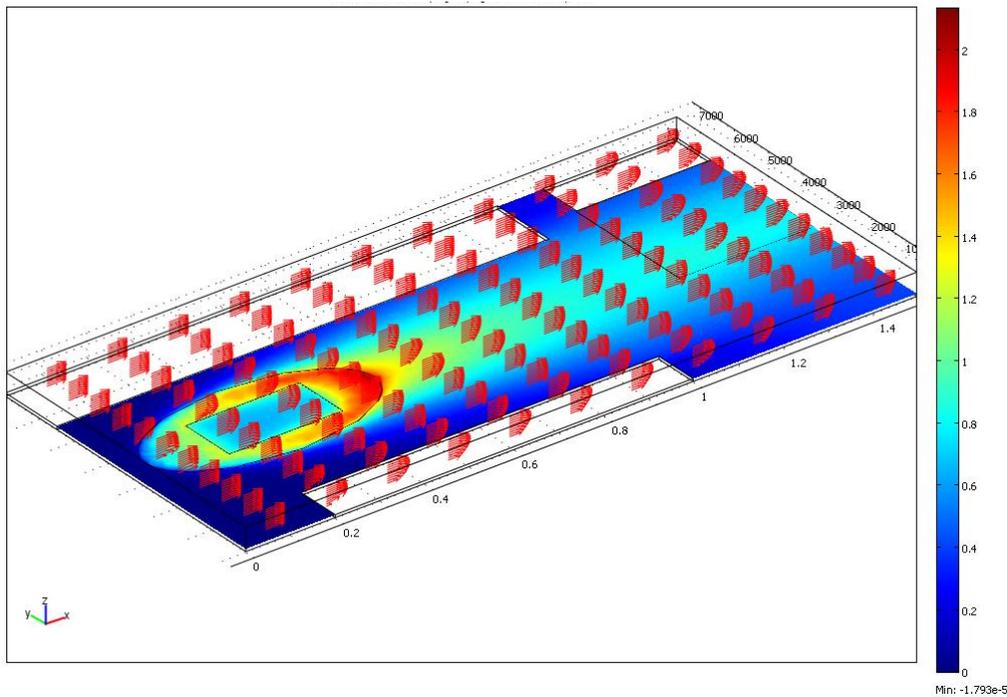


Рис. 6. Структура поля скорости и распределение примеси, характеризующейся скоростью осаждения 0,17 м/с, в горизонтальном сечении для района модели "хвостохранилище АНОФ-2 – г. Апатиты"

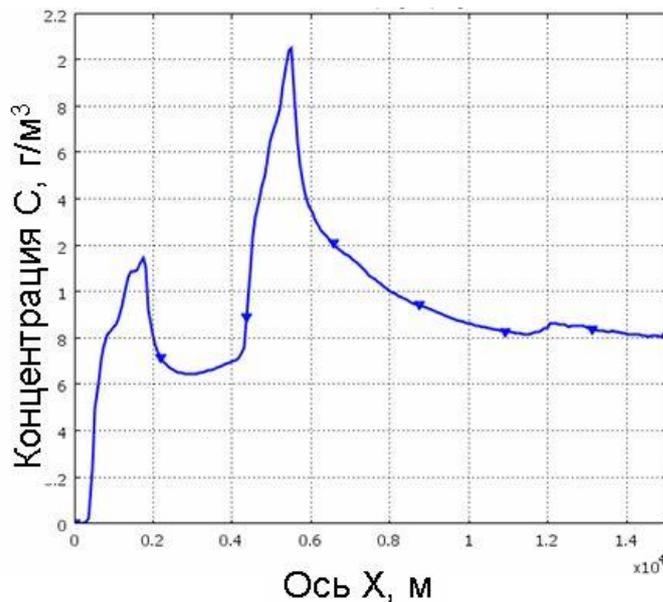


Рис. 7. Распределение примеси, характеризующейся скоростью осаждения 0,17 м/с, в центральном вертикальном сечении модели для района модели "хвостохранилище АНОФ-2 – г. Апатиты"

В обсуждаемой ситуации моделировался конвективно-диффузионный перенос примеси размером в диапазоне 30-60 мкм (III интервал). На рис. 6 представлено распределение загрязнения при высоте пляжа 180 м в горизонтальном сечении, которое на 1 м выше пылящей поверхности.

Рис. 7 позволяет получить качественное представление и количественные характеристики потенциального загрязнения атмосферы в центральном вертикальном сечении модели для указанного выше вида примеси на высоте 1 м выше пылящей поверхности вдоль оси X.

Отчетливо видно наличие двух максимумов загрязнения, обусловленных в данном сечении двумя областями пыления, а также уровни загрязнения на различном расстоянии от источника пыления.

Предполагается, что более объективным показателем влияния высоты пылящей поверхности на уровень загрязнения атмосферы в районе г. Апатиты являются относительные единицы. Поэтому количественные показатели загрязнения, приведенные на рис. 6 и 7, нельзя рассматривать как окончательные и единственно верные. Далее предстоит этап тщательного анализа и обобщения результатов численных экспериментов.

## 5. Выводы

Отмечая актуальность проблемы, связанной с пылением хвостохранилищ и загрязнением атмосферы при определенных метеорологических ситуациях, авторы методами численного моделирования предприняли исследование влияния высоты пляжа хвостохранилища на уровень концентрации пыли по направлению ветрового потока. На базе двухмерной CFD-модели рассмотрено два условия по интенсивности пыления: постоянное значение мощности источника и учет линейной зависимости мощности источника загрязнения от высоты и соответственно скорости ветра у пылящей поверхности. Проанализированы пространственные распределения разнодисперсной примеси при вариации высоты пляжа хвостохранилища от 20 м до 40 м (с шагом 10 м).

Для условия линейной зависимости интенсивности пыления отмечено, что действительно с ростом высоты хвостохранилища уровень концентрации загрязнения вниз по потоку (более 100 м от источника) на высоте человеческого роста возрастает. Причем этот рост на разных расстояниях неравномерен и в относительных единицах меняется от 50 до 150 % по отношению к "эталонному" загрязнению от хвостохранилища высотой 20 м. А значит, при принятии решения по изменению высоты пляжа на объектах пыления должны быть выполнены строгие оценки по прогнозу воздействия на приземный слой атмосферы.

Авторы выражают надежду, что выполняемые в настоящее время исследования по созданию трехмерных численных моделей аэрогазодинамики района "хвостохранилище АНОФ-2 – г. Апатиты" позволят оценить потенциальное изменение загрязнения приземного слоя атмосферы в районе г. Апатиты при увеличении проектной высоты пылящей поверхности хвостохранилища АНОФ-2 с отметки 180 м до 200 м.

## Литература

**Baklanov A., Rigina O.** Environmental modeling of dusting from the mining and concentration sites in the Kola Peninsula, Northwest Russia. *The XI World Clear Air and Environment Congress, 14-18 September 1998, Durban, South Africa, IUAPPA-NACA. Durban, v. 1, 4F-3, p. 1-18, 1998.*

**Бакланов А.А.** Численное моделирование в рудничной аэрологии. *Апатиты, КФАН СССР, 200 с., 1988.* Исследование условий и разработка способов подавления пылеобразования на нефелиновых хвостохранилищах П.О. "Апатит". *Отчет о НИР "Изыскание методов техногенного и биологического закрепления нефелиновых хвостохранилищ". Горный институт КФ АН СССР, Апатиты, 80 с., 1982.*

Спасем город Апатиты от пыли хвостохранилища АНОФ-2. 2013. URL: <http://www.hibiny.com/forum/viewtopic.php?p=258254>.

## References

**Baklanov A., Rigina O.** Environmental modeling of dusting from the mining and concentration sites in the Kola Peninsula, Northwest Russia. *The XI World Clear Air and Environment Congress, 14-18 September 1998, Durban, South Africa, IUAPPA-NACA. Durban, v. 1, 4F-3, p. 1-18, 1998.*

**Baklanov A.A.** Chislennoe modelirovanie v rudnichnoy aerologii [Numerical modeling in mining aerology]. *Apatityi, KFAN SSSR, 200 p., 1988.*

Issledovanie usloviy i razrabotka sposobov podavleniya pyileobrazovaniya na nefelinovyih hvostohranilishchah P.O. "Apatit" [Study of conditions and development of dust formation control techniques in nepheline tailings impoundments of "Apatit"]. *Отчет о НИР "Изыскание методов техногенного и биологического закрепления нефелиновых хвостохранилищ". Горный институт КФ АН СССР, Апатиты, 80 p., 1982.*

Spasem gorod Apatityi ot pyili hvostohranilishcha ANOF-2 [Let us save the Apatity town from dust of ANOF-2 tailings impoundment]. URL: <http://www.hibiny.com/forum/viewtopic.php?p=258254>.

#### **Информация об авторах**

**Маслобоев Владимир Алексеевич** – Институт проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) КНЦ РАН, директор, д-р техн. наук, профессор, e-mail: [masloboev@ksc.ru](mailto:masloboev@ksc.ru)

**Masloboev V.A.** – Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Director, Dr of Tech. Sci., Professor, e-mail: [masloboev@ksc.ru](mailto:masloboev@ksc.ru)

**Бакланов Александр Анатольевич** – Институт проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) КНЦ РАН, гл. науч. сотрудник, д-р физ.-мат. наук, профессор; Датский Метеорологический Институт, e-mail: [aabaklanov@yahoo.com](mailto:aabaklanov@yahoo.com)

**Baklanov A.A.** – Institute of North Industrial Ecology Problems (INEP) KSC RAS, Head Researcher, Dr of Phys.-Math. Sci., Professor; Danish Meteorological Institute, e-mail: [aabaklanov@yahoo.com](mailto:aabaklanov@yahoo.com)

**Мазухина Светлана Ивановна** – Институт проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) КНЦ РАН, канд. хим. наук, зав. лабораторией, ст. науч. сотрудник, e-mail: [mazukhina@inep.ksc.ru](mailto:mazukhina@inep.ksc.ru)

**Mazukhina S.I.** – Institute of North Industrial Ecology Problems (INEP) KSC RAS, Cand. of Chem. Sci., Head of Laboratory, Senior Researcher, e-mail: [mazukhina@inep.ksc.ru](mailto:mazukhina@inep.ksc.ru)

**Ригина Ольга Юрьевна** – Институт проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) КНЦ РАН, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, e-mail: [o\\_rigina@hotmail.com](mailto:o_rigina@hotmail.com)

**Rigina O.Yu.** – Institute of North Industrial Ecology Problems (INEP) KSC RAS, Cand. of Tech. Sci., Senior Researcher, e-mail: [o\\_rigina@hotmail.com](mailto:o_rigina@hotmail.com)

**Амосов Павел Васильевич** – Горный институт (Гои) КНЦ РАН, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, доцент, e-mail: [vosoma@goi.kolasc.net.ru](mailto:vosoma@goi.kolasc.net.ru)

**Amosov P.V.** – Mining Institute KSC RAS, Cand. of Tech. Sci., Senior Researcher, Associate Professor, e-mail: [vosoma@goi.kolasc.net.ru](mailto:vosoma@goi.kolasc.net.ru)