

Моделирование атмосферного переноса примеси от точечного источника в Южном Прибайкалье

Пьянова¹ Э.А., Фалейчик² Л.М.

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск

²Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита

Представлено описание летнего численного эксперимента по изучению формирования атмосферных циркуляций и процессов переноса пассивной примеси в Южном Прибайкалье. Моделирование проведено для условного среднего 22 июля. Выбор данного сценария обусловлен тем, что в работе [1] представлены некоторые результаты наблюдений за распределением концентраций диоксида серы над рассматриваемой территорией в указанный летний период 2013 года. При моделировании была попытка на качественном уровне воссоздать наблюдаемые метеорологические условия и возможный процесс переноса примеси. О количественном согласовании речи пока не идет, поскольку на момент проведения численного эксперимента реальными данными о выбросах авторы не располагали.

Коротко изложим основные моменты, относящиеся к результатам наблюдений, представленные в работе [1]. При прохождении корабля по маршруту Большие Коты – Иркутская ГЭС – Большие Коты были отмечены два максимума концентрации диоксида серы в первой половине дня и один максимум на обратном пути во второй половине дня. Меньший из двух максимумов был зафиксирован в районе Большие Коты – Листвянка, второй, с большими значениями – в средней части Иркутского водохранилища. В районе ГЭС максимумов не наблюдалось. На обратном пути по тому же маршруту значения концентраций диоксида серы в средней части водохранилища заметно уменьшились, а границы этого максимума сильно размылись. В период наблюдений отмечался слабый северо-западный ветер. Авторы в работе [1] предположили, что наблюдаемые максимумы были получены в результате того, что маршрут корабля пересек шлейф выбросов от предприятий Шелехова. Опираясь на это предположение, в своем исследовании мы особое внимание уделили моделированию переноса примеси от условного источника, расположенного на территории Шелехова.

Для моделирования атмосферных циркуляций и переноса пассивной примеси над рассматриваемой территорией использовалась негидростатическая модель динамики атмосферы и уравнение конвекции-диффузии с начальными и краевыми условиями. Более подробное описание моделей и уравнений можно найти в работах [2, 3]. Модели были адаптированы к орографическим условиям Байкальского региона. Подготовка и обработка исходных данных о моделируемой области, визуализация и анализ результатов сценарных расчетов осуществлялась в геоинформационной среде ArcGIS с использованием авторской технологии и ГИС-инструментария [4 - 6].

В качестве расчетной модельной области выбрана территория размером 666×710 км², охватывающая озеро Байкал и части территорий Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края. Высота расчетной области 6 км. Несмотря на то, что изучение процессов переноса примеси велось в основном только для Иркутско-Черемховской равнины, суточный ход атмосферной динамики моделировался над заметно большей территорией. Это сделано для того, чтобы заведомо избежать недоучета влияния на территорию Южного Прибайкалья атмосферных потоков, формирующихся в результате взаимодействия таких факторов, как протяженное и холодное в летний период озеро Байкал, и высокие горные цепи, склоны которых в летний период нагреваются очень неравномерно.

По модели атмосферной динамики рассчитывался суточный ход метеорологических элементов, соответствующий типичным ситуациям для июля. Были рассмотрены два метеорологических сценария: эксперимент с устойчивой температурной стратификацией для

нижних слоев фоновой атмосферы и эксперимент с нейтральной стратификацией. Данные о средних характеристиках для температуры, влажности и других метеопараметров, на основе которых моделировалось их суточное изменение, были взяты из климатических справочников.

Первые сутки расчетов модель адаптировалась к температурным и орографическим неоднородностям подстилающей поверхности. Опытным путем было установлено, что на вторые сутки модель уже выходит на квазистационарный режим, поэтому условный источник, расположенный в Шелехове, включался в начале вторых модельных суток. Высота точечного источника полагалась 100 м, мощность его в экспериментах была задана как одна условная единица примеси за единицу времени $\Delta t = 60$ с.

Численные расчеты проводились на сетке $667 \times 711 \times 50$ узлов с шагами по горизонтали $\Delta x = \Delta y = 1$ км, по вертикали – $\Delta z = 100-200$ м. Во всех численных экспериментах на верхней границе расчетной области задавался северо-западный внешний фоновый поток 4 м/с.

Далее на рис. 1-3 представлены некоторые результаты сценарных расчетов – изолинии концентрации пассивной примеси в различные моменты времени на высоте 100 м над поверхностью в юго-западной части расчетной области.

Анализ сценарных расчетов показал некоторое различие в поведении полей ветра и шлейфа пассивной примеси от источника выбросов для экспериментов с различной температурной стратификацией нижних слоев фоновой атмосферы. В утренние часы – в это время в расчетах формируется устойчивая стратификация атмосферы в обоих экспериментах – шлейф трассера достигает побережья Байкала в районе между Листвянкой и Большими Котами. Это хорошо видно на рисунке 1б, соответствующем эксперименту с нейтральной стратификацией в начальный момент времени. В расчетах с устойчивой стратификацией побережья Байкала достигают только более низкие концентрации порядка 0.01 условной единицы. Явно это на рисунке 1а не отражено, поскольку для наглядности рисунков ограничили внешней изолинией, соответствующей 0.1 условной единицы. При этом на рисунках хорошо видно, что изолиния со значением 1 пересекает Иркутское водохранилище примерно в его середине. Такое поведение полей концентрации пассивной примеси согласуется с максимумами диоксида серы, зафиксированными наблюдателями при прохождении исследовательского судна по маршруту Большие Коты – Иркутск [1].

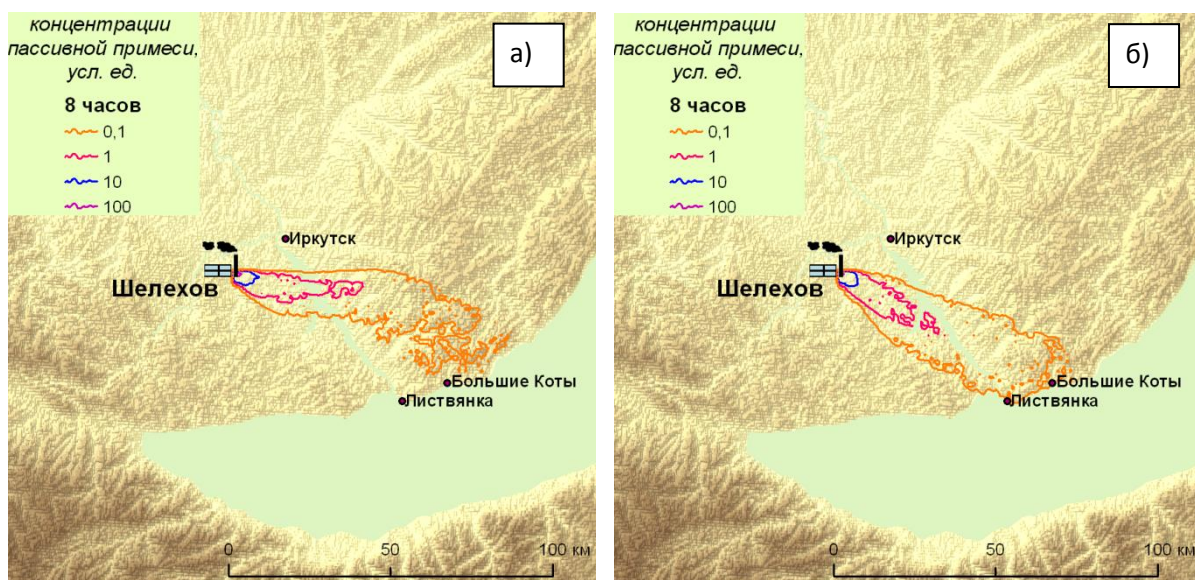


Рис. 1. Результаты расчетов на момент 8 ч утра местного времени, а) – устойчивая стратификация нижних слоев фоновой атмосферы, б) – нейтральная

К полудню и в начале второй половины дня, когда подстилающая поверхность прогревается, и хорошо развивается турбулентное перемешивание, шлейф примеси, по данным численных расчетов, укорачивается (рис. 2а, б). При этом в расчетах с устойчивой фоновой стратификацией во второй половине дня наблюдалось заметное отклонение верхней

части шлейфа к северо-востоку (рис. 2б), в то время как в эксперименте с нейтральной стратификацией сохранялось направление распространения трассера на юго-восток. Таким образом, расчеты с устойчивой фоновой атмосферой показали меньшее соответствие имеющимся наблюдениям, поскольку такое поведение трассера предполагает увеличение концентрации примеси в районе Иркутской ГЭС, которое не было зафиксировано наблюдателями.

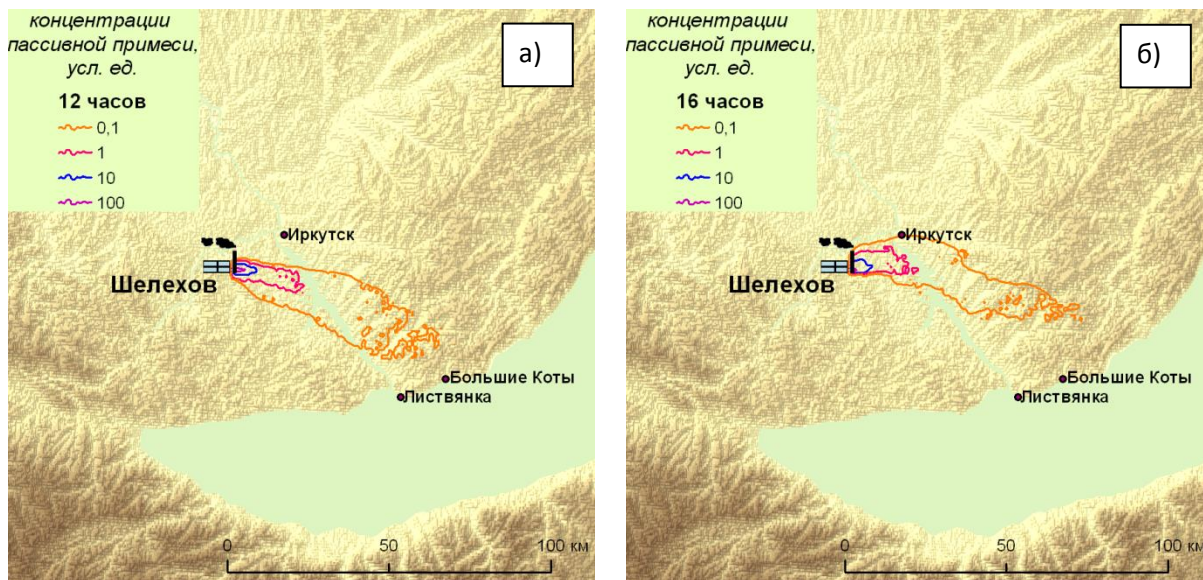


Рис. 2. Результаты расчетов для сценария с устойчивой стратификацией фоновой атмосферы, а) в 12 часов местного времени, б) – в 16 часов

Расчеты для сценария с нейтральной стратификацией нижних слоев фоновой атмосферы показали, что во второй половине дня поведение шлейфа примеси не противоречит тому факту, что в средней части Иркутского водохранилища максимум все еще наблюдался, но значительно уменьшился (рис. 3а). В ночное время, когда в обоих экспериментах опять сформировалась устойчивая стратификация, и турбулентное перемешивание ослабло, в численных расчетах наблюдался перенос пассивной примеси в направлении Байкала (рис. 3б), что способствует образованию утреннего максимума в районе между Большими Котами и Листвянкой.

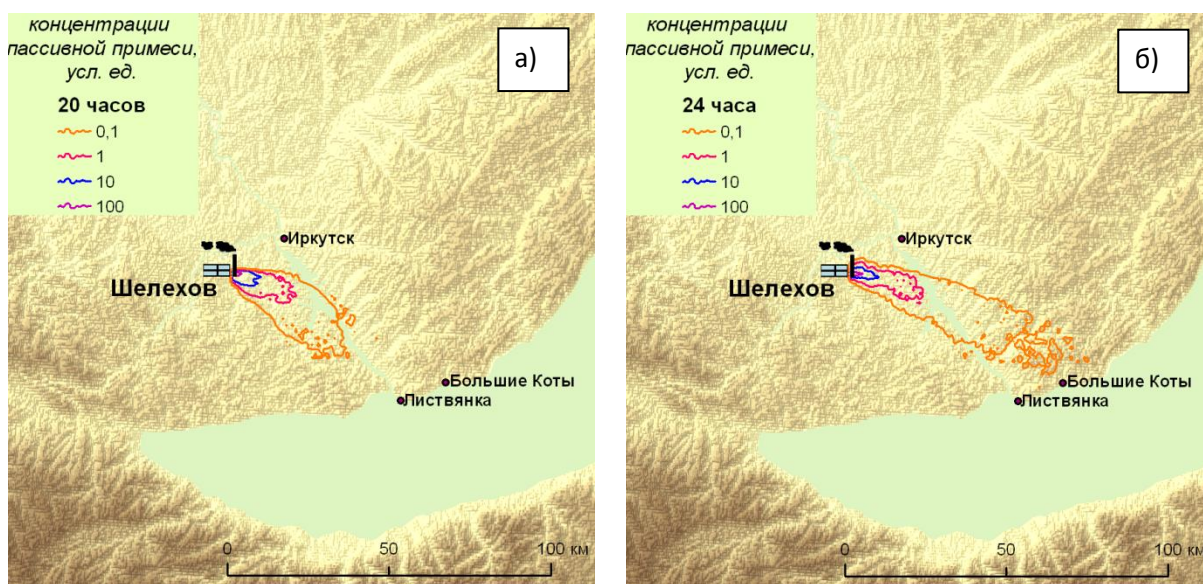


Рис. 3. Результаты расчетов для сценария с нейтральной стратификацией нижних слоев фоновой атмосферы, а) в 20 часов местного времени, б) – в 24 часа

Таким образом, полагаем, что результаты численного эксперимента с нейтральной стратификацией нижних слоев фоновой атмосферы качественно согласуются с результатами наблюдений, представленными в [1]. Различия в поведении шлейфа пассивной примеси в экспериментах с различной стратификацией требуют более подробного рассмотрения.

Ранее авторами настоящей работы были проведены сценарные численные эксперименты, в которых на более грубой сетке по горизонтали (5 км × 5 км) исследовались процессы формирования атмосферных циркуляций и трансформации фонового набегающего потока над неоднородной орографией Байкальского региона, а также влияние формирующихся ветровых потоков на перенос примеси от источников Иркутско-Черемховского промышленного комплекса [7]. Эти исследования согласуются с теми результатами, которые получены при расчетах на более подробной сетке и часть которых представлена в данной работе. Считаем, что результаты настоящей работы можно рассматривать как уточняющие и дополняющие в цикле работ и исследований мезоклимата Байкальского региона.

Авторы выражают глубокую признательность и благодарность Е.А. Цветовой и В.В. Пененко за внимание к работе.

Работа выполняется при поддержке Программы фундаментальных исследований № 43 Президиума РАН, проекта РФФИ № 14-01-00125-а, проекта IX.88.1.6 Фундаментальных исследований Сибирского отделения РАН. Расчеты выполнены на ССКЦ СО РАН.

1. Особенности пространственного распространения диоксида серы в Прибайкалье по данным маршрутных измерений и численных экспериментов / В. А. Оболкин, В. Л. Потемкин, В. Л. Макухин, Е. В. Чипанина, И. И. Маринайте // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 12. – С. 35–41.
2. Пьянова Э. А., Фалейчик Л. М. Информационно-вычислительная технология для сценарных оценок динамики и качества атмосферы // Вычислительные технологии. – 2012. – Т. 17. – № 1. – С. 109–119.
3. Пьянова Э. А. Исследование трансформации воздушного потока над термически и орографически неоднородной подстилающей поверхностью // Вычислительные технологии. – 2005. – Т. 10. – № 3. – С. 106–111.
4. Фалейчик Л.М. Геоинформационное обеспечение численного моделирования локальных атмосферных процессов // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2012. – Т. 10. – № 2. – С. 14-24.
5. Фалейчик Л.М., Пьянова Э.А. Использование ГИС-технологий и математического моделирования для оценки изменений состояния природной среды под влиянием хозяйственной деятельности человека // Вестник Забайкальского государственного университета, 2008. – № 5. – С. 117-127.
6. Фалейчик Л.М., Пьянова Э.А. Технология геоинформационного анализа результатов численного моделирования для оценки состояния окружающей среды // IV конф. «Геоинформационные технологии и космический мониторинг». – Ростов н/Д: «ЦВВР», 2011. – С. 233-238.
7. Ryanova E. A., Penenko V. V., Faleychik L. M. Simulation of atmospheric dynamics and air quality in the Baikal region // Proc. SPIE 9292, 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 929247 (November 25, 2014) [Electronic resource]. – Англ. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2074998>.