

## ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАЙОНАХ НЕФТЕДОБЫЧИ НА БАЗЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ (ГИС)

А. Ю. Медведев, Э. Б. Авраменко

*Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия*

Рассматривается геоинформационная технология анализа качества приземного слоя атмосферы на основе построения буферных зон влияния вокруг существующей инфраструктуры источников выбросов вредных веществ на месторождении нефти и газа. Технология анализа учитывает интенсивность работы источников загрязнения, а также меняющиеся климатические условия.

*Источник выбросов, ореол загрязнения, среднемесячная концентрация, карта атмосферного загрязнения, геоинформационная система*

### TECHNOLOGY OF ANALYSIS OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY IN PETROLEUM PRODUCTION REGION ON THE BASIS OF GEOINFORMATION SYSTEM (GIS)

A. Yu. Medvedev, E. B. Avramenko

*Earth Cryosphere Institute SB RAS, 625000, Tyumen, 1230, Russia*

The geoinformation technology of the analysis of near-earth atmosphere layer quality is considered on the bases of construction of buffer zones of influence around the existing infrastructure of harmful substances emitter sources at petroleum and gas field. The technology of analysis takes into account the intensity of pollution source work and varying climatic conditions as well.

*The source of emissions, the halo of pollution, monthly average concentration, map of atmospheric pollution, geoinformation system*

---

## ВВЕДЕНИЕ

При разработке нефтегазового месторождения очень важно иметь объективную информацию об экологическом состоянии окружающей среды и, в частности, о качестве атмосферного воздуха. На сегодняшний день экологическими комитетами осуществляется регулирование выбросами вредных веществ через соответствующие разрешения на предельно-допустимые выбросы (ПДВ) и временно-согласованные выбросы (ВСВ). При этом комплексная оценка загрязненности приземного слоя атмосферы в результате фактического действия источников выбросов не проводится.

Предлагаемая геоинформационная технология, использующая электронную карту месторождения, базирующаяся на статистических данных гидрометцентра и характеристиках источников выбросов вредных веществ, позволяет моделировать зоны со среднемесячными концентрациями вредных веществ в приземном слое атмосферы (в дальнейшем ореолы атмосферного

загрязнения) вокруг существующей инфраструктуры источников выбросов на месторождении. На основе построенных ореолов моделируется общая карта загрязнения среды, по которой можно объективно оценивать качество приземного слоя атмосферы.

Технология дает возможность наглядного анализа и прогнозирования состояния окружающей среды с учетом изменения климатических условий рассматриваемой местности и сезонного (помесячного) режима работы источников загрязнения. На основании полученной информации можно решать задачи нормирования нагрузки на природную среду и оценивать уровни наносимого ущерба, а также принимать правильные решения на стадии согласования проектов новых сооружений.

Необходимо отметить, что формируемые ореолы атмосферного загрязнения являются результатом помесячного геометрического осреднения ореолов, создаваемых источниками выбросов

сов ежедневно, а значения концентраций вредных веществ в построенных ореолах рассчитываются на основе среднемесячных режимов работы источников выброса. Поэтому по данной технологии может быть осуществлен анализ качества атмосферного воздуха только для штатных ситуаций на месторождении (технология не учитывает аварийные выбросы в атмосферу).

### ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ОРЕОЛОВ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**Исходные данные.** Для решения поставленной задачи необходимо иметь данные, собранные при технико-экономическом обосновании (ТЭО) проекта месторождения и на этапе оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС): эколого-ландшафтную карту, схему размещения объектов на территории месторождения, характеристику естественного состояния окружающей среды (климатические условия), параметры источников воздействия.

Характеристика естественного состояния окружающей среды должна содержать следующие данные по климатическим условиям на месторождении по каждому месяцу:

- средняя температура атмосферного воздуха:  $T_a$  [°C];
- количество штилевых дней в месяце:  $K$  [%];
- повторяемость ветра по 8 румбам (роза ветров):  $N_i$  [%], где  $i$  — направление по азимуту;
- средняя скорость ветра по каждому  $i$  направлению:  $v_i$  [м/с].

Для расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе необходимо иметь данные, характеризующие источники выбросов вредных веществ для каждого месяца, а также данные, описывающие особенности процессов рассеивания примесей и состояние загрязнения атмосферы в рассматриваемой местности:

- мощность выброса:  $M$  [г/с];
- высота устья источника:  $H$  [м];
- диаметр устья источника:  $D$  [м];
- скорость выхода газовой смеси из источника:  $\omega_0$  [м/с];
- температура выбрасываемой газовой смеси:  $T$  [°C];
- коэффициент, учитывающий влияние рельефа на местности:  $\eta$ ;
- фоновая концентрация вредных веществ:  $C_\phi$  [мг/м<sup>3</sup>].

**Принятые допущения.** Для предлагаемой модели примем, что в течение месяца параметры источников выбросов и климатические условия не изменяются, т. е.:

$$v_i = \text{const на всех направлениях, } T_a = \text{const, } T = \text{const, } M = \text{const, } \omega_0 = \text{const, } C_\phi = \text{const.}$$

Основные источники выбросов вредных веществ в атмосферу на месторождении по пространственным характеристикам могут быть классифицированы по следующим типам: точечные (котельные, факелы, кусты скважин), линейные (транспорт на автодорогах), площадные (разливы нефти, вахтовые поселки). Предлагаемая технология позволяет моделировать ореолы атмосферного загрязнения для каждого типа источника, используя соответствующие алгоритмы построения зон.

**Алгоритм построения ореолов загрязнения для точечного источника выброса.** Пусть необходимо сформировать вокруг точечного источника выброса два ореола атмосферного загрязнения (зону сильного и слабого атмосферного загрязнения) по одному выбрасываемому вредному веществу и рассчитать значения среднемесячных концентраций этого вещества в построенных ореолах.

Для расчета концентраций вредных веществ воспользуемся методикой ОНД-86 [Методика..., 1987].

1. Найдем функции-зависимости концентрации выбрасываемого вредного вещества от расстояния в ветреные дни для каждого  $i$ -го направления:

$$C_{vi}(x) = F(M, H, D, \omega_0, T, \eta, T_a, T, v_i).$$

2. Найдем среднемесячные зависимости концентрации выбрасываемого вредного вещества от расстояния для каждого  $i$ -го направления, предполагая, что в дни штиля выброса не происходит:

$$\bar{C}_{vi}(x) = C_{vi}(x) \cdot \frac{N_i}{100\%} \cdot \frac{(100\% - K)}{100\%}.$$

3. Найдем зависимость концентрации выбрасываемого вредного вещества от расстояния в дни штиля:

$$C_0(x) = F(M, H, D, \omega_0, T, \eta, T_a, T).$$

4. Найдем среднемесячную зависимость концентрации выбрасываемого вредного вещества от расстояния, предполагая, что в ветреные дни выброса не происходит:

$$\bar{C}_0(x) = C_0(x) \cdot \frac{K}{100\%}.$$

5. Найдем зависимость действительной среднемесячной концентрации выбрасываемого вредного вещества от расстояния для каждого  $i$ -го направления:

$$\bar{C}_i(x) = \bar{C}_0(x) + \bar{C}_{vi}(x).$$

6. Зададимся граничным значением концентрации выбрасываемого вредного вещества для

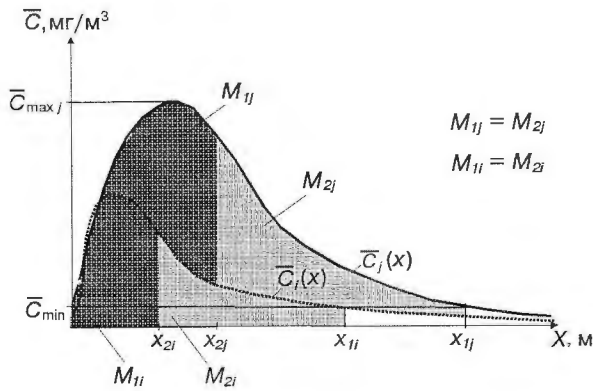


Рис. 1. Графики зависимостей среднемесячных концентраций вредных веществ от расстояния.

внешнего моделируемого ореола атмосферного загрязнения. Для этого может быть применен один из предлагаемых вариантов.

Вариант 1.

$$\bar{C}_{\min} = \alpha \cdot PDK,$$

где  $PDK$  — ПДК выбрасываемого вредного вещества;  $\alpha$  — коэффициент, определяющий значение концентрации вредного вещества как долю от его ПДК (например,  $\alpha = 0,05$ ).

При этом варианте построения границы внешнего ореола распространение вредного вещества учитывается только до определенного уровня вредности, что позволяет уменьшить число рассчитываемых внутренних концентрических ореолов загрязнения для источника выброса.

Вариант 2.

По заданной розе ветров за конкретный месяц определим преобладающее направление ветра. Данное направление азимута обозначим индексом  $j$ .

Для функции  $\bar{C}_j(x)$  найдем ее максимум (рис. 1):  $\bar{C}_{\max_j}$ .

Тогда:

$$\bar{C}_{\min} = \beta \cdot \bar{C}_{\max_j},$$

где  $\beta$  — коэффициент, определяющий значение концентрации вредного вещества как долю от максимума  $\bar{C}_{\max_j}$  (например,  $\beta = 0,05$ ).

Этот вариант учитывает более полное распространение вредного вещества (см. рис. 1), но и требует расчета большего числа внутренних ореолов.

7. Для каждого  $i$ -го направления определим расстояние  $x_{1i}$  (найдем границу внешнего ореола атмосферного загрязнения), на котором будет складываться концентрация  $\bar{C}_{\min}$ . Для этого решим уравнения:

$$\bar{C}_i(x) = \bar{C}_{\min}.$$

8. Границы внутренних ореолов атмосферного загрязнения можно определить подобно п. 7 (вместо  $\bar{C}_{\min}$  необходимо задать значением  $\bar{C}_j(x)$  из диапазона  $[\bar{C}_{\min}, \bar{C}_{\max_j}]$ ), либо из условия одинакового массового содержания выбрасываемого вредного вещества во всех моделируемых ореолах загрязнения, что удобно для последующего анализа осаждения вредных веществ в почву из атмосферы. В последнем случае для нахождения  $x_{2i}$  (граница внутреннего ореола) необходимо выполнить условие:  $M_{1i} = M_{2i}$ , где

$$M_{1i} = \int_0^{x_{2i}} \bar{C}_i(x) dx, M_{2i} = \int_{x_{2i}}^{x_{1i}} \bar{C}_i(x) dx.$$

Таким образом, определим  $x_{2i}$ , решив уравнения:

$$\int_0^{x_{2i}} \bar{C}_i(x) dx = 0,5 \cdot \int_0^{x_{1i}} \bar{C}_i(x) dx.$$

9. Построим контур сильного атмосферного загрязнения, соединив точки, отстоящие на  $x_{2i}$  от источника выброса вредных веществ на  $i$ -м направлении (рис. 2).

10. Превратим полученный контур в полигон и определим для полученной зоны среднемесячное значение концентрации вредного вещества:

$$\begin{aligned} \bar{C}_1 &= \left( \sum_{i=1}^8 (\bar{C}_i \cdot x_{2i}) \right) / \left( \sum_{i=1}^8 x_{2i} \right) + C_\phi = \\ &= \left( \sum_{i=1}^8 M_{1i} \right) / \left( \sum_{i=1}^8 x_{2i} \right) + C_\phi. \end{aligned}$$

11. Построим контур слабого атмосферного загрязнения, соединив точки, отстоящие на  $x_{1i}$  от источника выброса вредных веществ на  $i$ -м направлении, и преобразуем его в полигон. Из полученной области вычтем зону сильного атмосферного загрязнения, получив тем самым кольцеобразную зону слабого атмосферного загрязнения (см. рис. 2), в которой масса вредного вещества в приземном слое атмосферы равна массе вредного вещества зоны сильного атмосферного загрязнения.

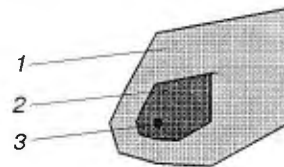


Рис. 2. Ореолы атмосферного загрязнения от точечного источника выбросов.

1 — зона слабого атмосферного загрязнения, 2 — зона сильного атмосферного загрязнения, 3 — источник выбросов вредных веществ.

12. Определим для зоны слабого атмосферного загрязнения значение среднемесячной концентрации вредного вещества:

$$\bar{C}_2 = \left( \sum_{i=1}^8 M_{2i} \right) / \left( \sum_{i=1}^8 (x_{1i} - x_{2i}) \right) + C_{\phi}.$$

По построенным ореолам атмосферного загрязнения можно ориентировочно оценить в них массу вредного вещества в приземном слое атмосферы для последующего анализа осаждения вредных веществ в почву из атмосферы:

$$M_1 = \bar{C}_1 \cdot S_1 \cdot h; \quad (1)$$

$$M_2 = \bar{C}_2 \cdot S_2 \cdot h, \quad (2)$$

где  $M_1, M_2$  — массы вредного вещества в приземном слое атмосферы в зонах сильного и слабого атмосферного загрязнения соответственно;  $S_1, S_2$  — площади зон сильного и слабого атмосферного загрязнения соответственно;  $h$  — высота приземного слоя атмосферы ( $h = 2$  м).

Технология позволяет проводить анализ загрязнения как от отдельных выбрасываемых вредных веществ (для каждого вещества рассчитываются свои ореолы атмосферного загрязнения и значения среднемесячных концентраций), так и от суммарного вредного воздействия всех выбрасываемых веществ. В последнем случае, выполняя условие стационарности границ буферных зон влияния источников выбросов [Бакланов и др., 1998], необходимо сформировать ореолы для четырех типов вредных веществ, классифицированных по одинаковой скорости оседания в атмосферном воздухе (пыли, мелкодисперсные аэрозоли с разной степенью очистки) [Методика..., 1987]. В построенных ореолах для каждого типа вредных веществ вычисляются две характеристики загрязнения: значение безразмерной обобщенной концентрации вредных веществ и значение концентрации характерной в выбросе примеси [Методика..., 1987], [Гурман, 1982]. Безразмерная обобщенная концентрация вредных веществ для зон сильного и слабого атмосферного загрязнения вычисляется по формулам:

$$q_1 = \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i \cdot \bar{C}_{1i}}{\text{ПДК}_i}, \quad q_2 = \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i \cdot \bar{C}_{2i}}{\text{ПДК}_i},$$

где  $k$  — число анализируемых выбрасываемых вредных веществ для одного типа;  $\lambda_i$  — весовые коэффициенты;  $\sum \lambda_i = 1$ ;  $\lambda_i \geq 0$ ;  $\bar{C}_{1i}, \bar{C}_{2i}$  — значения среднемесячных концентраций  $i$ -го вредного вещества, вычисленных соответственно для зон сильного и слабого атмосферного загрязнения преобладающего в выбросе вредного вещества; ПДК<sub>*i*</sub> — значение предельно допустимой концентрации  $i$ -го вредного вещества.

Алгоритм построения ореолов загрязнения для линейного источника выброса. Рассмотрим построение ореолов атмосферного загрязнения для линейного источника (например, автодороги).

1. По информации о транспортной нагрузке рассматриваемого участка автодороги (количество и вид транспорта в сутки) для каждого месяца определяется мощность выброса вредных веществ ( $M$  [г/с]).

2. Оцифрованный линейный источник (автодорога) аппроксимируется кусочно-линейными участками (рис. 3). Для этого выполняется процедура проверки изменения угла ломаной к вертикали в каждом топологическом узле (например, при изменении больше чем на 2 градуса будем считать, что с этого узла начинается новый прямолинейный участок).

3. Для каждого  $i$ -го линейного участка автодороги определим мощность выброса вредных веществ. Для этого поделим общую мощность выброса  $M$  на доли  $M_i$ , пропорциональные длинам кусочно-линейных участков.

4. На концах прямолинейных участков, с помощью алгоритма, описанного для точечного источника, построим ореолы атмосферного загрязнения (см. рис. 3). Согласно (1), (2) вычислим в них массы вредных веществ  $M_{1i}$  и  $M_{2i}$ .

5. Построим зоны сильного и слабого атмосферного загрязнения для каждого  $i$ -го участка автодороги, образуя следы от построенных в п. 4 ореолов, проведенных по заданным кусочно-линейным траекториям (см. рис. 3).

6. В построенных в п. 5 зонах определим значения среднемесячных концентраций вредных веществ по формулам:

$$\bar{C}_{1i} = M_{1i} / (S_{1i} \cdot h);$$

$$\bar{C}_{2i} = M_{2i} / (S_{2i} \cdot h),$$

где  $M_{1i}, M_{2i}$  — массы вредных веществ в зонах сильного и слабого атмосферного загрязнения соответственно, вычисленные в п. 4;  $S_{1i}, S_{2i}$  — площади зон сильного и слабого атмосферного

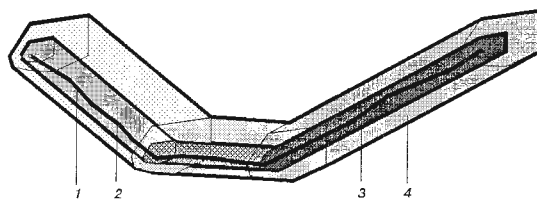


Рис. 3. Ореолы атмосферного загрязнения от линейного источника выбросов.

1 — линейный источник выбросов (автодорога), 2 — топологический узел, 3 — зона сильного атмосферного загрязнения, 4 — зона слабого атмосферного загрязнения.

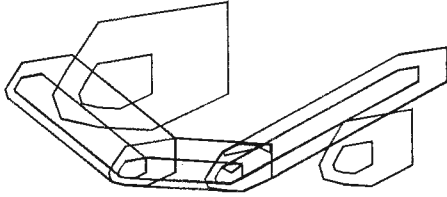


Рис. 4. Покрытие конечных элементов.

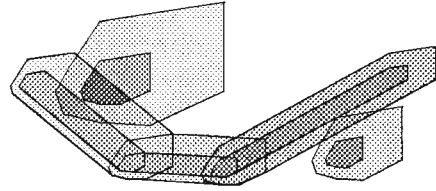


Рис. 5. Карта атмосферного загрязнения.

загрязнения соответственно;  $h$  — высота приземного слоя атмосферы ( $h = 2$  м).

Алгоритм создания помесячных карт атмосферного загрязнения на месторождении.

1. Для каждого источника выброса вредных веществ, согласно вышеописанным алгоритмам, строятся ореолы атмосферного загрязнения.

2. Средствами ГИС из построенных зон загрязнения формируется покрытие конечных элементов (рис. 4).

3. Для каждого элементарного участка покрытия конечных элементов определяется результирующая концентрация вредных веществ от всех источников выбросов. Для этого выполняется следующая процедура: каждый элементарный участок, пересекаясь со всеми ореолами загрязнения, образуемыми этот участок, считает их значения концентраций вредных веществ. Далее все значения суммируются, получая в итоге интегральную величину концентрации вредных веществ на этом участке (рис. 5).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе предложенной геоинформационной технологии анализа качества приземного слоя атмосферы может быть автоматизировано решение следующих задач:

1. Определение массы осаждаемых из атмосферы вредных веществ в почву (создание карты загрязнения почво-грунтов из атмосферы).

2. Исследование качества атмосферного воздуха по гистограммам распределения концентрации вредных веществ в атмосфере по площадям для каждого месяца (как для всего месторождения, участка месторождения, так и для любого выбранного ландшафта).

3. Определение помесячных статистических данных (как для всего месторождения, участка

месторождения, так и для любого выбранного ландшафта): средняя концентрация вредных веществ, площадь загрязнения.

4. Определение меры экологического (экономического) ущерба от атмосферного загрязнения для каждого месяца, например:

$$J = \sum_{i=1}^m (\mu_i \cdot C_i \cdot S_i) / S,$$

где  $C_i$  — значение концентрации вредных веществ в атмосфере над  $i$ -м участком;  $S_i$  — площадь  $i$ -го участка;  $\mu_i$  — весовой коэффициент экологической (экономической) значимости  $i$ -го участка;  $S$  — площадь месторождения.

5. Создание инструмента оперативного прогнозирования состояния атмосферы при различных режимах эксплуатации территории.

6. Выявление зон месторождения с повышенным загрязнением атмосферы и определение источников загрязнения, нагружающие эти зоны. Создание инструмента планирования и регулирования нагрузки на окружающую среду в указанных зонах для каждого месяца.

### Литература

- Бакланов А. В., Медведев А. Ю., Исмагилов Т. Р. Геоинформационное моделирование экологического состояния территорий нефтяных месторождений // Криосфера Земли, 1998, т. II, № 3, с. 61—69.
- Гурман В. И. Моделирование процессов в природно-экономических системах. Новосибирск, Наука, 1982, 176 с.
- Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросе предприятий. ОНД 86 / Отв. ред. М. Я. Берлянд. Л., Гидрометиздат, 1987, 93 с.

Поступила в редакцию  
6 февраля 1998 г.