В.Г.Прокошев, К.И.Зуев, Т.А.Трифонова,
С.И.Абрахин, С.М.Аракелян
Владимирский университет

УДК 577.4

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ ПРИ АВАРИИ НА НЕФТЕПРОВОДЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Поставлена задача прогнозирования последствий чрезвычайной ситуации по разливу нефти при аварии на нефтепроводе на основе ГИС-технологий и расчета экономического ущерба, нанесенного окружающей природной среде (ОПС). Моделирование поверхностного разлива нефти проводилось в системе Arc View GIS с использованием скорректированного модуля Hydro Spatial Analyst с учетом геофильтрации грунтов и рельефа местности. Математическая модель распространения нефти основывается на уравнении, описывающем распространение фильтрующейся жидкости в пористом материале. Задача расчета финансово-экономического ущерба основывается на методике, утвержденной Минтопэнерго РФ. Отличительной чертой использованного метода является то, что при расчетах применяется аппарат нечеткой логики. В результате проделанной работы последствия чрезвычайной ситуации могут быть представлены на электронной карте, что позволяет рассчитать площадь загрязнения, объемы нефтенасыщенного грунта и впитавшейся нефти, а также экономический ущерб, нанесенный ОПС.

In this work the problem of forecasting of extreme situation consequences on flood of petroleum as a result of failures an oil pipeline and accounting economic damage to an environment is formulated. The work has been carried out on the base of GIS technologies The simulation of surface flood of petroleum was make in Arc View GIS. We used the corrected module Hydro Spatial Analyst with taking into account of grounds geofiltrations and relief of district. The mathematical model of distribution of petroleum is based on the equation circumscribing distribution of a filtered liquid in a porous material. The problem of account financial and economic damage is based to a standard technique Distinctive feature of the used method is application of indistinct numbers. As a result of work the visual form on an electronic map of consequences of an extreme situation is obtained. The square of pollution volumes of a petroleum saturated ground and absorbed petroleum, and also economic damage to an environment are obtained.

Задача прогнозирования последствий чрезвычайной ситуации по разливу нефти при аварии на нефтепроводе на основе ГИС-технологий и расчета экономического ущерба, нанесенного окружающей природной среде (ОПС), весьма актуальна. Необходимо представить в наглядной форме последствия чрезвычайной ситуации (разлива нефти) на электронной карте (в виде характерных областей затопления с учетом рельефа), построить математическую модель распространения нефти внутри грунта и на ее основе вычислить объем нефтенасыщенного грунта и экономический ущерб, нанесенный ОПС.

Экологическому риску углеводородного загрязнения при аварийных или эксплуатационных проливах нефти подвергаются почвогрунты, поверхностные и подземные воды и атмосфера. Все количество вытек-

шей при аварии на нефтепроводе нефти можно условно разделить на три части: нефть, оставшаяся на поверхности грунта; нефть, просочившаяся внутрь грунта; нефть, которая испарилась в атмосферу.

Моделирование поверхностного разлива нефти проводилось в системе Arc View GIS 3.0. Исходными данными стала оцифрованная карта местности с нанесенным на нее нефтепроводом и карта почв этой местности. На карте достаточно подробно показан рельеф местности в виде изолиний абсолютных высот над уровнем Балтийского моря.

Моделирование рассчитываемого объема с соответствующим расходом нефти по этапам проводилось с использованием скорректированного модуля пространственного анализа (Spatial Analyst – Arc View GIS) с учетом геофильтрации грунтов и рельефа местности. При заполнении пространства вокруг места аварии и, соответственно, определении площади разлива учитывался объем нефти, впитавшейся в грунт.

Математическая модель подземного распространения нефти основана на уравнении, описывающем распространение фильтрующейся жидкости в пористом материале:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+$$

$$+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)+W=S_s\frac{\partial h}{\partial t},$$

где K_{xx}, K_{yy} и K_{zz} – коэффициенты фильтрации при совпадении координатных осей x, y и z с главными осями гидравлической проводимости материала; h – высота столба напора жидкости; W поток на единицу объема, представляющий источники или стоки жидкости; S_s – переменная, характеризующая впитываемость пористого материала; t – время.

Это уравнение при объединении с граничными и начальными условиями описывает трехмерное распространение жидкости в среде и решается численно с помощью метода конечных разностей.

Для проведения расчетов по конечно-разностной схеме используются эквиваленты коэффициентов проницаемости, полученные исходя из физико-химических свойств почвогрунтов и закона Дарси.

Точку, находящуюся в центре каждой ячейки, будем называть узловой или узлом; именно для этой точки проводятся расчеты. На каждом временно́м шаге конечно-разностная схема приводит к системе уравнений, решение которых дает концентрацию нефтепродукта в каждой ячейке.

Расчет экономического ущерба проводился по методике «Определение ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах», утвержденной Минтопэнерго РФ 01.11.95 и согласованной с департаментом Государственного экологического контроля Минприроды РФ. Методика предназначена для определения ущерба окружающей природной среде в результате аварийных разливов нефти и нефтепродуктов из–за отказов сооружений, объектов или линейной части магистральных нефтепроводов.

Как правило, расчет ущерба базируется на точно известных значениях параметров, входящих в расчетные формулы, что почти всегда невыполнимо на практике. Поэтому при расчете ущерба встает необходимость применения аппарата нечеткой логики. Проведенное исследование показало возможность оценивать величину ущерба при широком диапазоне изменения исходных параметров, значения которых могут непрерывно уточняться при оперативной работе соответствующих служб.

Под степенью загрязнения понимается масса нефти, вылившейся при аварии из нефтепровода и загрязнившей компоненты окружающей природной среды. Итоговым результатом анализа, который обычно требуется соответствующим службам, является оценка ущерба в денежном выражении. Эти данные могут быть использованы и при судебно-правовом рассмотрении происшедшей аварии.

В зависимости от времени, в течение которого нефть находилась на поверхности земли, изменяется средняя глубина пропитки грунта, а следовательно изменятся объем нефти, впитавшейся в грунт, объем нефтенасыщенного грунта, а также и финансово-экономический ущерб, нанесенный ОПС.