

Разработка экспертной системы по реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, в единой информационной системе государств-участников СНГ через сети KazRENA, RunNet и BasNet

Малис Абсаметов

Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Валиханова 94, Алма-Ата, Казахстан
hydrogeology.kz@mail.ru

Людмила Шагарова

Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Валиханова 94, Алма-Ата, Казахстан
igg_gis-dzz@mail.ru

Айгуль Акылбекова

Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Валиханова 94, Алма-Ата, Казахстан
aigul_igg@mail.ru

Аскар Идрисов

Ассоциация Пользователей Научно-образовательной Компьютерной Сети Казахстана, Сатпаева, 16-18, Алма-Ата, Казахстан
idrisov@kazrena.kz

Received: 06.03.2017; Accepted: 06.07.2017

Аннотация: Подземные воды представляют важный стратегический ресурс Республики Казахстан, а прогноз возможностей достижения нефтепродуктами горизонта грунтовых вод и распространения загрязнителя в зонах аэрации и насыщения, является одним из необходимых условий для своевременного реагирования с целью обеспечения качества подземных вод и реабилитации геологической среды в случае загрязнения ее нефтепродуктами. Потенциальными источниками загрязнения нефтепродуктами, являются площадки скважин, буровые и промысловые амбары, нефтепроводы, нефтехранилища, кроме того, загрязнение геологической среды возможно в процессе транспортировки нефти и др. Для успешного решения совместных экологических проблем стран СНГ по реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, разрабатывается геоэкологическая экспертная система, которая реализуется через сеть KazRENA (Казахстан), RunNet (Россия) и BasNet (Белоруссия).

Ключевые

слова: Экспертная система, нефтяное загрязнение, геологическая среда, KazRENA

Development of Expert System for the Geological Environment Rehabilitation, Contaminated with Oil Products in the Unified Information System of the CIS Member States through Networks of KazRENA, RunNet and BasNet

Abstract: Groundwater represents an important strategic resource of the Republic of Kazakhstan, and forecasting the probability of oil reaching the underground water table and spreading the pollutant in zones of aeration and saturation is one of the necessary conditions for a timely response to ensure the quality of groundwater and rehabilitation of the geological environment in case of contamination with oil. of the Potential sources of oil pollution are well sites, drilling and field barns, oil pipelines, oil storage tanks. In addition, contamination geological environment is possible during the transportation of oil and others. To address successfully common environmental issues of the CIS countries on the rehabilitation of the geological environment polluted with oil products, the geo-ecological expert system is being developed, which is implemented through networks of KazRENA (Kazakhstan), RunNet (Russia) and BasNET (Belarus).

Keywords: Expert system, oil pollution, geological environment, KazRENA

1. ВВЕДЕНИЕ

Интенсивная эксплуатация природных запасов углеводородного сырья – нефти, создает антропогенную нагрузку на почвы и грунты, приводит к загрязнению геологической среды, осложняя экологическую ситуацию в регионах. Поэтому очистка геологической среды от загрязнения нефтепродуктами является актуальной задачей не только для Казахстана, но и России и Белоруссии [1]. С целью выбора модельных объектов на территории республики для прототипа экспертной системы выполнен космический мониторинг нефтедобывающих регионов для идентификации участков нефтяных загрязнений. Космические снимки Landsat-8 и Sentinel-1 загружены из международных архивов спутниковых данных посредством сети KazRENA. Детектирование и картографирование участков загрязнений на нефтяных месторождениях проведено на основе методов классификации космоснимков и анализе дешифровочных признаков с целью отнесения классифицированных объектов к загрязнениям.

На выбранных модельных объектах осуществляется тестирование прототипа экспертной системы по реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, в единой информационной системе государств-участников СНГ через взаимодействие научно-образовательных сетей.

Нефтепродукты в окружающей среде присутствуют в свободной, растворенной, испаренной или адсорбированной формах. В свободной форме нефтепродукты плавают на поверхности воды в открытых водных объектах, при просачивании через грунт образуют линзы на поверхности подземных водоносных горизонтов. Растворенная форма характеризует нефтепродукты, растворенные в поверхностных или подземных водах. При адсорбированной форме нефтепродукты сорбированы взвешенными веществами поверхностных водных объектов или грунтами.

При изучении воздействия нефтяного загрязнения на наземные экосистемы принимается во внимание способ попадания нефти в геологическую среду и темпы ее миграции. К основным способам распространения загрязнения для территорий, расположенных в непосредственной близости от источника загрязнения, относятся: растекание нефти по поверхности почвы при аварийном разливе нефти, фонтанирование из устья скважин. Преимущественное распространение имеет первый способ попадания нефти в почву. Поэтому количественные характеристики области загрязнения, такие как площадь и радиус разлива нефтепродукта, рассмотрены при ситуационном моделировании для случая разгерметизации резервуара её хранения и нарушения герметичности автоцистерны [2].

Площадь поверхностного разлива оценивается исходя из объема потерянного нефтепродукта и месторасположения объекта на местности [3]. Месторасположение связано с коэффициентом разлива (k), который определяется равным 5 при расположении на ровной поверхности с уклоном менее 1%; 12 – в других случаях. Таким образом, основными входными параметрами при моделировании площади разлива ($S_{P\text{рез}}$) и радиуса разлива ($R_{P\text{рез}}$) является объем резервуара ($V_{\text{рез}}$) и степень его заполнения ($V_{\text{зап}}$), как показано в формулах (1) и (2).

$$S_{P\text{рез}} = k \cdot \left(V_{\text{рез}} \cdot \frac{V_{\text{зап}}}{100} \right) \quad (1)$$

$$R_{P\text{рез}} = \sqrt{S_{P\text{рез}}/3,14} \quad (2)$$

При нарушении герметичности автоцистерны площадь разлива объема жидкости $S_{P_{\text{цист}}}$ (м²) и радиус аварийного разлива нефтезагрязнителя $R_{P_{\text{цист}}}$ (м) рассчитываются по формулам (3) и (4), аналогичным (1) и (2).

$$S_{P_{\text{цист}}} = k \cdot \left(V_{\text{цист}} \cdot \frac{V_{\text{зап}}}{100} \right) \quad (3)$$

$$R_{P_{\text{цист}}} = \sqrt{S_{P_{\text{цист}}}/3,14} \quad (4)$$

где $V_{\text{цист}}$ – объем автоцистерны, м³;

$V_{\text{зап}}$ – степень заполнения топливозаправщика, %.

В случае, когда аварийная ситуация происходит на наклонной поверхности, форма разлива представляется не в виде круга, а в виде эллипса, оси которого учитывают коэффициент, зависящий от рельефа местности. Для территорий с уклоном от 1% до 3% коэффициент принимает значение 8, для территорий с крутизной более 3% - 16. Значения большой оси b_p (м) и малой оси эллипса a_p (м) вычисляются по формулам (5) и (6) соответственно.

$$b_p = \sqrt{S_p \cdot K_{\text{ук}}/3,14} \quad (5)$$

$$a_p = 4 \cdot S_p / 3,14 \cdot b_p \quad (6)$$

где S_p – площадь загрязнения при разливе, м²;

$K_{\text{ук}}$ – коэффициент, характеризующий рельеф.

При создании прототипа экспертной системы учтены не только наработки ситуационного моделирования по поверхностному растеканию загрязнителя, но и его вертикальная миграция. Для расчета параметров распространения нефтепродуктового загрязнения в геологической среде учитываются физико-химические свойства нефти и нефтепродуктов [4].

Плотность нефти ρ_n , как правило, составляет 650-1,05 кг/м³; при этом нижняя граница (плотность ниже 83 кг/м³) соответствует легким углеводородам, верхняя (выше 86 кг/м³) - тяжелой нефти, обогащенной асфальто-смолистыми фракциями.

Скорость распространения нефтепродуктового загрязнителя в i слое породы (почвы, грунта) v_i (м/с) рассчитывается по формуле (7):

$$v_i = \frac{\rho_n \mu_v}{\rho_v \mu_n} C_i \quad (7)$$

где $i = 1 \dots N$ – слои пород (почвенного слоя и/или грунтов, 1 – первый от поверхности слой, N – слой на границе грунтовых вод);

ρ_n, ρ_v – плотность нефтепродукта и воды, кг/м³;

μ_n, μ_v – вязкость нефтепродукта и воды, кг/(м·с);

C_i – водопроницаемость почвенного покрова и грунтовых пород, м/с.

Водопроницаемость почвогрунтов численно выражается коэффициентом фильтрации, значения коэффициента различны для разных грунтов и указаны в таблице 1.

Таблица 1. Водно-физические свойства загрязняемых грунтов

Грунт	Коэффициент фильтрации, м/сут	Полная влагоемкость, доли ед.
Гравий	120	0,3
Песчаный грунт	30	0,4
Кварцевый песок	15	0,4
Супесь	1	0,3
Легкий суглинок	0,35	0,3
Глинистый грунт	0,05	0,25

Площадь растекания загрязнителя S_i (m^2) по поверхности i -го слоя породы определяются по формуле (8):

$$S_i = \frac{v_1 \cdot S}{v_i} \quad (8)$$

где v_1 – скорость растекания по поверхностному слою;

v_i – скорость распространения загрязнения в грунтовом слое i .

Масса адсорбированного загрязнителя M_i (кг) в i -ом слое почвы и грунтов рассчитывается по формуле (9):

$$M_i = l_i \cdot S_i \cdot \rho_B \cdot n_i \cdot k_i \frac{\mu_H^2 \cdot \sigma_B}{\sigma_H \cdot \mu_B^2 \cdot 10^4} \quad (9)$$

где l_i – мощность i -го слоя породы, м;

n_i – пористость грунтовых слоев, %;

k_i – капиллярная влагоемкость грунтовых слоев, %;

σ_H, σ_B – коэффициент поверхностного натяжения загрязнителя и воды, кг/с².

Рассчитанные значения массы адсорбированного загрязнителя для каждого слоя почвогрунта (M_i) используются для определения максимальной глубины его проникновения и опасности загрязнения подземных (грунтовых) вод. Масса загрязнителя M_3 , попавшего в грунтовые воды, определяется по формуле (10):

$$M_3 = M - \sum_{i=1}^N M_i \quad (10)$$

где M – масса потерянного загрязнителя, кг;

M_i – масса адсорбированного загрязнителя, кг.

В случае, когда масса потерянного загрязнителя (M) больше его возможной адсорбированной массы в слоях почвы и грунтов $1 \dots N$, прогнозируется попадание нефтепродуктов в горизонт грунтовых вод. Время достижения уровня грунтовых вод нефтепродуктовым загрязнением $t_{2в}$ через почвенный слой и грунты зоны аэрации $1 \dots N$ вычисляется по формуле (11):

$$t_{2в} = \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{v_i}, \quad (11)$$

где l_i – мощность слоев почвы и грунта,

v_i – скорость распространения загрязнения в слое i .

В дальнейшем все расчеты планируется также перевести в аналитическую систему ТОФИ.

Это позволит перейти к построению полноценного Ситуационного центра по мониторингу и прогнозированию различных загрязнений, включая загрязнение нефтепродуктами.

Необходима организация гидро-экологического мониторинга, постоянное и комплексное наблюдение за основными элементами системы. В ТОФИ будут применяться различные типы модели прогнозирования динамики развития угроз загрязнения: балансовые модели анализа и прогнозирования – как дополнение к расчетным и статистическим моделям. Все эти модели будут положены в основу имитационной модели различных сценариев развития негативной ситуации и мер отражения (блокирования) загрязнений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хаустов А.П., Оношко М.П., Мамчик С.О., Черепанский М.М., Томина Н.М., Шагарава Л.В. Экспертная система реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, на основе принципов самоорганизации/ Научный журнал «Литасфера» №1 (44), (2016), 92-98.
- [2] Абсаметов М. К., Шагарава Л. В. Разработка ситуационной модели формирования загрязнений геологической среды на примере Первомайской нефтебазы // Доклады XIII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле», 5–7 апреля 2017 г. Т. 2. – М.: МГРИ-РГГРУ, (2017), 93-94.
- [3] Методика расчета минимальной оснащенности аварийно-спасательных служб (формирований) предназначенных для локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, на континентальном шельфе и в исключительной экономической зоне Российской Федерации. – 39.
- [4] Вагнер А. В., Бухарин С. К., Кочемасов С. Г. и др. Методика прогнозирования объема экологического загрязнения грунтов и грунтовых вод при проливе экологически вредных веществ // ИСБ: Экологический вестник России, 5, (2004), 45-51.