



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-2-306-316

УДК 504.062: 004.4

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕАБИЛИТАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

М.К. Абсаметов, Л.В. Шагарова, М.М. Муратова

Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина
ул. Кабанбай батыра уг. ул Ч. Валиханова, 69/94, Алматы, Республика Казахстан, 050010

Республика Казахстан является одной из нефтедобывающих стран мира, на территории которой функционируют многочисленные нефтяные компании и интенсивно эксплуатируются природные запасы углеводородного сырья, при этом антропогенная нагрузка на грунты способствует загрязнению геологической среды. С другой стороны, Казахстан — одна из воддефицитных стран Евразийского континента, где подземные воды представляют важный стратегический ресурс, а прогноз возможностей достижения нефтепродуктами горизонта грунтовых вод и распространения загрязнителя в зонах аэрации и насыщения служит одним из необходимых условий для своевременного реагирования в целях реабилитации геологической среды и обеспечения качества подземных вод. В связи с этим работы по созданию экспертной системы реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, актуальны. Учитывая, что экспертная система выполняется в единой информационной платформе стран СНГ, требуется согласование работ международных участников на всех ее этапах, от определения используемых понятий до выбора модельных участков для тестирования системы. Данная статья посвящена набору входных данных, необходимых для прогнозирования миграции нефти и нефтепродуктов по почвогрунтам, подземным водам и по поверхностному стоку, а также концептуальной модели экспертной системы, определяющей смысловую структуру моделируемой системы, взаимосвязи между ее элементами. Выстраивание четкой иерархии объектов делает модель более понятной для разработчиков и дружественной к пользователям экспертной системы. Методы включают способы исследования нефтяных загрязнений, их систематизацию, корректировку новых и полученных ранее знаний. Структура методов содержит концептуальный, операционный и логический компоненты. Информация по изменению во времени распределения концентрации нефтепродуктов в геологической среде и данные о технологиях восстановления геологической среды учитывают особенности исследуемой территории.

Ключевые слова: экспертная система, геологическая среда, нефть, нефтепродукты, модель

В государственных программах Казахстана по охране окружающей среды и рационального природопользования определены основные направления природоохранной деятельности, поставлены задачи сохранения природных ресурсов и улучшения состояния окружающей среды. Для успешного решения экологических проблем в республике привлечен международный опыт в рамках выполнения совместных программ и проектов. Одним из таких проектов стала совместная работа, начатая в 2014 году учеными России (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образова-

ния «Российский университет дружбы народов»), Белоруссии (Республиканское унитарное предприятие «Научно-производственный центр по геологии») и Казахстана (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина») по разработке экспертной системы реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, на основе принципов самоорганизации для территорий государств-участников СНГ [1; 2] в рамках Межгосударственной программы инновационного сотрудничества государств-участников СНГ на период до 2020 года, принятой Решением Совета глав правительств Содружества Независимых Государств. Одним из постановлений заседания ученых СНГ на рабочей встрече в Минске (ноябрь, 2015) определено, что выполнение проекта требует регулярных согласований сторон участниц. На этой первой рабочей встрече была определена терминология, перечень главных понятий и их атрибутов, используемых при разработке схем экспертной системы реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами для однозначной интерпретации понятий.

Экспертная система — это компьютерная система, предназначенная для решения качественных задач с помощью накапливаемых знаний и получения из них логических выводов. Геоэкологическая экспертная система предназначена для прогнозирования направлений распространения нефтепродуктов в геологической среде при концентрациях, превышающих предельно допустимую концентрацию, и оценки возможности попадания нефтепродуктов в водные системы, водозаборные скважины и другие природоохранные объекты. Разработка экспертной системы по реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, на основе принципов самоорганизации, включает ряд последовательных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ [3].

Этап 1 — идентификация. Формирование баз данных о взаимодействии нефтепродуктов с компонентами геологической среды; ландшафтов; определение нормативов по содержанию углеводородов и нефтепродуктов; выбор модельных участков, описание геологических и гидрогеологических условий на территории модельных объектов.

Этап 2 — концептуализация. Разработка архитектуры экспертной системы, отражающей взаимосвязи между ее основными элементами.

Этап 3 — формализация. Согласование ключевых понятий и отношений, которые описываются на некотором формальном языке. Определение инструментальных средств по работе с используемыми структурами данных, преобразование формальных знаний в программные процедуры. Наполнение базы знаний системы. Разработка легенд электронных карт и алгоритмов их составления.

Этап 4 — реализация и тестирование. Создание прототипа экспертной системы в виде пилотного проекта для идентификации ошибок в выбранном подходе, выработке рекомендаций по их устранению.

Этап 5 — опытная эксплуатация. После отладки на тестовом объекте проверяется работоспособность экспертной системы для других территорий, выделенных на основе геохимического районирования.

Этап 6 — модернизация. Модификация/усовершенствование модулей экспертной системы, актуализация баз данных.

В результате научно-исследовательских работ по инновационному проекту на основании анализа и обобщения данных о взаимодействии нефтепродуктов с компонентами геологической среды, техногенной нагрузки на территориях Беларуси, Казахстана и России, приводящей к загрязнению объектов окружающей среды при разливах нефти и нефтепродуктов, а также используемых разработок в области прогнозирования миграции и деструкции углеводородов, на очередном рабочем заседании в Алма-Ате (декабрь, 2015) участниками международного проекта согласованы концептуальная модель данных и структура входной информации.

Концептуальная модель — это модель, определяющая смысловую структуру моделируемой системы, взаимосвязи между ее элементами (блоками), а также присущие системе связующие компоненты, необходимые для достижения цели моделирования.

Концептуальная модель экспертной системы (рис. 1) отражает взаимосвязи между ее основными элементами (блоками).

Блок базы знаний предназначен для аккумуляции информации по химическому составу нефти и нефтепродуктов, нормативам качества среды и фоновым концентрациям углеводородов, их ассоциаций в компонентах геологической среды.

Блок геологических условий включает топографическую основу объектов загрязнения и прилегающих территорий, гидрогеологические и другие специализированные цифровые карты.



Рис. 1. Концептуальная модель экспертной системы

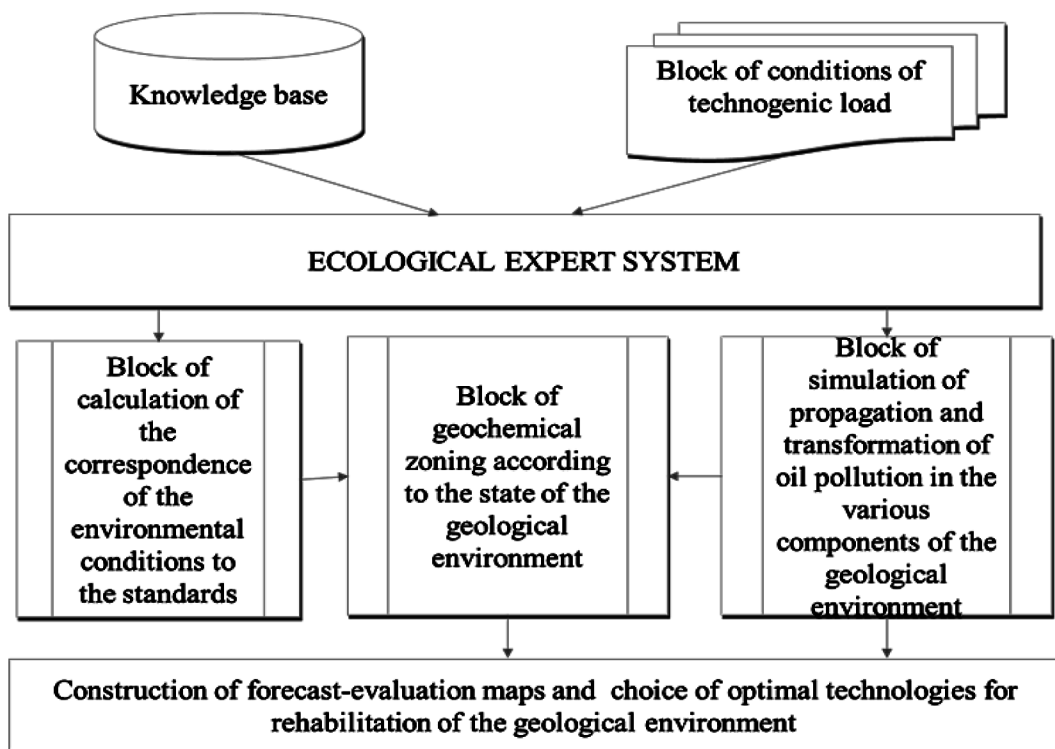


Fig. 1. Conceptual model of the expert system

Блок расчета соответствия качества сред нормативам (фону) представляет собой модуль, который сопоставляет параметры загрязнения нормативным требованиям соответствующей среды из базы знаний. В результате предоставляется информация о соответствии/несоответствии нормативным документам.

Блок геохимического районирования позволяет провести оценку состояния геологической среды и выполнить локализацию на картографической основе участков, несоответствующих нормативным требованиям. Получение геохимических характеристик геологических комплексов необходимо для повышения их прогностических свойств.

Блок моделирования процессов распространения и трансформации загрязнений нефтепродуктами в различных компонентах геологической среды, прогноза самоочищения на основе принципов самоорганизации в природных и природно-техногенных системах представляет собой программный модуль. Работа модуля заключается в моделировании на основании исходных данных о загрязнении (источнике, расположении, составе и объеме загрязнителя): площади разлива, перемещения с поверхностными водами, фильтрации и трансформации загрязнения в компонентах геологической среды через определенные промежутки времени. Для расчетов используются модели миграции трансформации углеводородов с течением времени.

Основопологающим блоком экспертной системы служит *модуль построения прогнозно-оценочных карт* с учетом особенностей территории и выбора оптималь-

ных технологий реабилитации геологической среды. Модуль представляет информацию по изменению во времени распределения концентрации нефтепродуктов в геологической среде и данных о технологиях восстановления геологической среды с учетом особенностей территории республики — пустынной ландшафтной зоны в районе нефтяных месторождений. Эта зона в Казахстане подразделяется на подзоны северных и типичных пустынь с бурыми и серо-бурыми пустынными почвами, которым характерны низкая гумусность, высокая карбонатность, наличие в профиле поверхностного пористого коркового и слоевато-чешуйчатого подкоркового горизонтов. По профилю с глубиной происходит увеличение илистой и тонкопылеватой фракции. Гетерогенность почвенного профиля определяет характер фракционирования нефтяного загрязнителя. Насыщение профиля почвы сырой нефтью вызывает изменение общего содержания органического углерода в верхних горизонтах почв.

Концептуальная модель экспертной системы, помимо базы знаний, базы данных и вычислительных блоков, содержит следующие связующие компоненты:

— диалоговый — для удобства работы с ЭС всех категорий пользователей как в ходе анализа и районирования территорий, так и при приобретении знаний;

— компонент приобретения знаний — для автоматизации процесса наполнения ЭС картографическими знаниями, осуществляемый пользователем-экспертом;

— объяснительный компонент — дополнительная информация, которой сопровождаются выходные данные.

Прогнозирование миграции растворенных нефтепродуктов в зоне аэрации основано на следующих параметрах:

— влажность насыщения грунта (активная пористость);

— плотность скелета грунта;

— коэффициент дисперсии, который характеризует рассеивание нефтепродуктов в грунте за счет неравномерности скоростей течения и молекулярной диффузии. В свою очередь коэффициент дисперсии вычисляется при известных значениях молекулярной диффузии, продольной и поперечной дисперсности грунта;

— коэффициент распределения характеризует какая часть жидкой фазы нефтепродуктов сорбируется скелетом грунта;

— коэффициент распада характеризует скорость распада нефтепродуктов за счет химических и биологических процессов;

— скорость просачивания воды в зоне аэрации оценивается с учетом информации по интенсивности выпадения осадков, влажности грунта и коэффициента фильтрации.

Входная информация включает составные блоки данных по почвогрунтам, подземным водам и по поверхностному стоку, структура которой также согласована исполнителями международного проекта в рамках рабочей встречи в Алма-Ате.

Структура блока экспертной системы по почвогрунтам зоны аэрации представлена на рисунке 2.

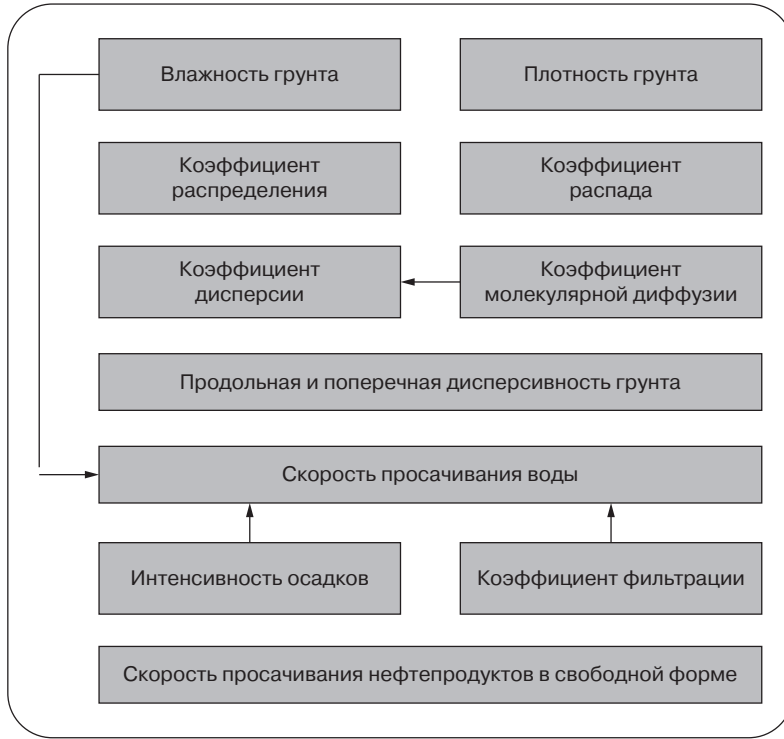


Рис. 2. Блок экспертной системы по почвогрунтам

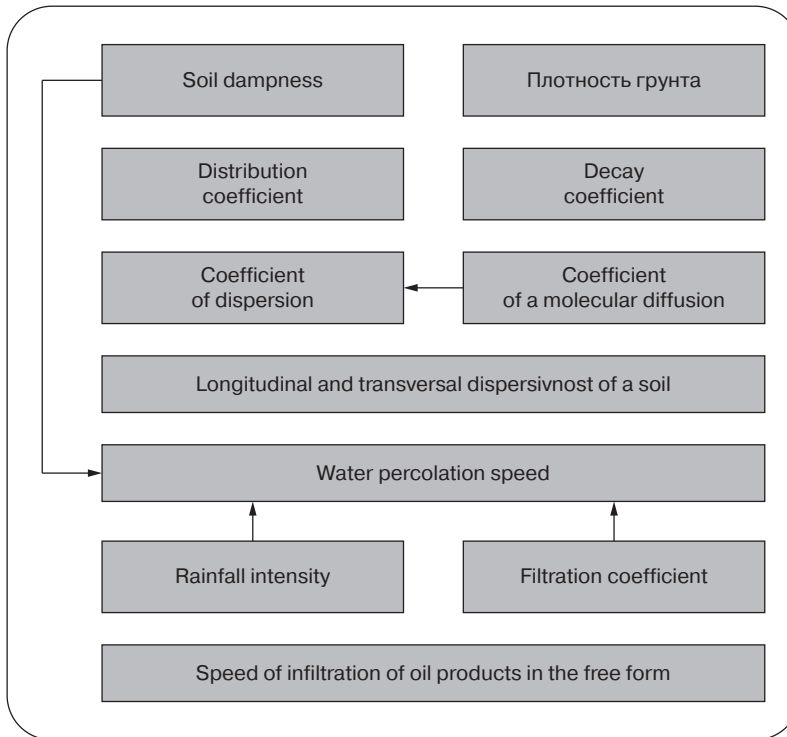


Fig. 2. Block of the expert system for soil

При прогнозировании распространения нефтепродуктов в водоносных пластах грунтовых вод определяющее значение имеет конвективный перенос нефтепродуктов с фильтрационным потоком. Прогноз переноса нефтепродуктов в грунтовых водах строится на основе сведений о поле скоростей фильтрации грунтовых вод и их направлении. Учитывая медленность процессов переноса, допустимо рассматривать геофильтрационный поток как стационарный (квазистационарный), при котором траектории будут совпадать с линиями тока. Следовательно, прогноз распространения нефтепродуктов в грунтовых водах (подземных водах), основан на следующих исходных данных:

- значения коэффициентов фильтрации в продольном и поперечном направлении;
- эффективная пористость для сорбируемых нефтепродуктов и активная пористость для нейтральных нефтепродуктов;
- распределение градиента напора.

Блок по грунтам водоносных горизонтов представлен на рисунке 3.

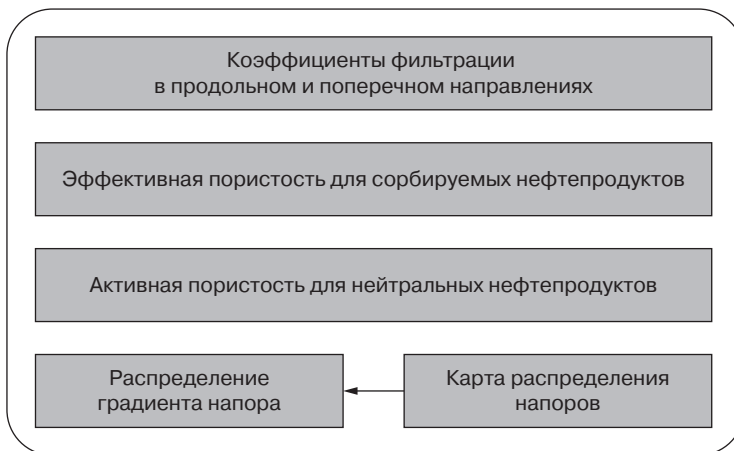


Рис. 3. Блок по грунтам водоносных горизонтов

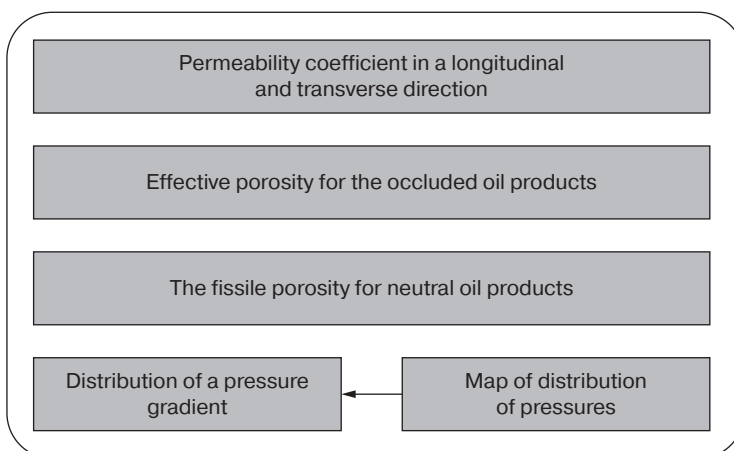


Fig. 3. Block for aquifer horizons

Для прогнозирования переноса нефтепродуктов за счет поверхностного стока используется информация о рельефе территории (цифровая модель рельефа). Для анализа переноса нефтепродуктов в растворенном виде — значения коэффициентов диффузии в поперечном и продольном направлении стока. Структура входного блока информации по поверхностному стоку представлена на рисунке 4.

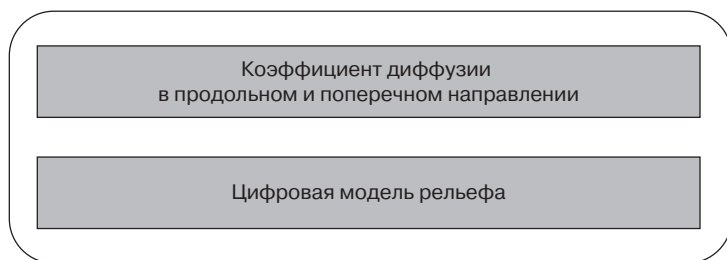


Рис. 4. Блок информации по поверхностному стоку

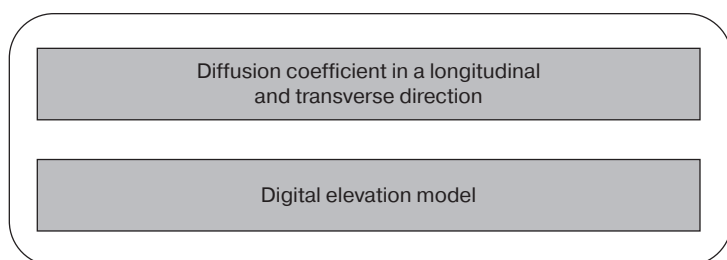


Fig. 4. Block of surface runoff information

В зависимости от опасности ситуаций определяется стратегия действий по реабилитации компонентов геологической среды. При выборе методов реабилитации геологической среды используется информация о потенциале самоочищения ее компонентов, как основном процессе в самоорганизующихся системах. Оценку фактора самоорганизации геологической среды рекомендуется производить на основе геофильтрации углеводородов, приводящей к сорбции углеводородных загрязнителей в естественном грунте, геомиграции углеводородов в системе вода-порода, геохимической и биогеохимической трансформации углеводородов.

Исследования проводились в рамках грантового проекта 1179/ГФ4 «Разработка экспертной системы реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, на основе принципов самоорганизации для территорий государств-участников СНГ» в соответствии с бюджетной программой 217 «Развитие науки».

Заключение. В связи с тем, что экспертная система реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, создается в единой информационной среде СНГ, все этапы работ согласованы участниками проекта, что имеет следующие преимущества:

1) создание словаря перечня главных понятий и их атрибутов способствует целостности в терминологии, которая применяется в интерфейсе, в документации и справке;

2) разработка структуры информации экспертной системы в части подземных вод, почвогрунтов и поверхностного стока позволяет унифицировать интерфейс при реализации программного кода;

3) концептуальная модель экспертной системы позволяет отразить взаимосвязи между ее основными элементами (блоками), сфокусироваться на важных задачах, определить приоритеты, предусмотреть базовые сценарии процессов. Использование базовых контекстных сценариев необходимо не только для проектирования интерфейса экспертной системы, но и в подготовке функционального и юзабилити тестирования. При этом модернизация программного кода системы по результатам тестирования будет выполняться с учетом соответствия концептуальной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хаустов А.П., Оношко М.П., Мамчик С.О., Черепанский М.М., Томина Н.М., Шагарова Л.В. Экспертная система реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, на основе принципов самоорганизации // Научный журнал «Литасфера». 2016. № 1 (44). Минск. С. 92—98.
- [2] Khaustov A., Redina M., Mamchik S., Onoshko M., Gishkelyuk I., Absametov M., Shagarova L. IT for the Remediation of the Geological Environment Poluted with the Petroleum Products: Experience of the Kazakh-Belarus Russian Joint Project // SPE Annual Caspian Technical Conference & Exhibition. 46 November 2015. Baku. 12 p. DOI: 10.2118/177355-MS
- [3] Shagarova L., Akylbekova A., Muratova M. On some aspects of development of an expert system for rehabilitation of hydrocarbon-contaminated geological environment // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015 June 18—24, SGEM 2015. Conference Proceedings. 2015. Book 5. Vol. 1. 609—616 pp.

© Абсаметов М.К., Шагарова Л.В., Муратова М.М., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 10.03.2017

Дата принятия к печати: 30.03.2017

Для цитирования:

Абсаметов М.К., Шагарова Л.В., Муратова М.М. Концептуальная модель экспертной системы реабилитации загрязненной нефтепродуктами геологической среды // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 2. С. 306—316.

Сведения об авторах:

Абсаметов Малис Кудысович — доктор геолого-минералогических наук, директор ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина». E-mail: igg_gis-dzz@mail.ru

Шагарова Людмила Валентиновна — кандидат технических наук, заведующая лабораторией ГИС-технологий и ДЗЗ ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина». E-mail: igg_gis-dzz@mail.ru

Муратова Мира Муратовна — ведущий инженер лаборатории ГИС-технологий и ДЗЗ ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина». E-mail: igg_gis-dzz@mail.ru

CONCEPTUAL MODEL OF THE EXPERT SYSTEM FOR REHABILITATION OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT CONTAMINATED BY OIL PRODUCTS

M.K. Absametov, L.V. Shagarova, M.M. Muratova

Ahmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience

The Republic of Kazakhstan is one of the oil-producing countries in the world. It is the area where oil is extracted by numerous oil companies, natural reserves of hydrocarbon raw materials are intensively exploited, and anthropogenic load on soils causes additional contamination of the geological environment.

On the other hand, Kazakhstan is one of the water-deficient countries on the Eurasian continent, where groundwater is an important strategic resource. Therefore, prediction of the possibility that oil products can reach the groundwater level and pollutants can spread in the aeration and saturation zones is one of the prerequisites for timely response for rehabilitation of the geological environment and ensuring of good quality of groundwaters.

Therefore, the development of an expert system for rehabilitation of the geological environment contaminated by oil products is really actual. As the expert system is implemented on a single information platform of the CIS countries, it is necessary to coordinate the work of international participants at all its stages, from defining the concepts to selecting the model sites for system testing.

The subject of this article is to determine the set of input data required for predicting migration of oil and oil products through soil, groundwater and surface runoff, and to develop a conceptual model of the expert system determining the structure of the modeled system and interrelations between its elements. Building of a clear hierarchy of objects makes the model more understandable for the developers and more friendly for the users of the expert system. The system uses the methods of studying oil pollution, their systematization, updating of new and previously acquired knowledge. The structure of the methods contains conceptual, operational and logical components. Information on the time variation in the distribution of the concentration of petroleum products in the geological environment and the data on technologies used to restore the geological environment take into account specific features of the studied area.

Key words: Expert system, geological environment, oil, oil products, model

REFERENCES

- [1] Khaustov A.P., Onoshko M.P., Mamchik S.O., Cherepanskiy M.M., Tomina N.M., Shagarova L.V. *Expertnaya sistema reabilitatsii geologicheskoy sredy, zagryaznennoy nefteproduktami, naosnove printcipov samoorganizatsii* // Lithosphere. 2016. № 1 (44). Minsk. 92–98 pp.
- [2] Khaustov A., Redina M., Mamchik S., Onoshko M., Gishkelyuk I., Absametov M., Shagarova L. *IT for the Remediation of the Geological Environment Poluted with the Petroleum Products: Experience of the Kazakh-Belarus Russian Joint Project* // SPE Annual Caspian Technical Conference & Exhibition. 46 November 2015. Baku. 12 p. DOI: 10.2118/177355-MS
- [3] Shagarova L., Akyzbekova A., Muratova M. *On some aspects of development of an expert system for rehabilitation of hydrocarbon-contaminated geological environment* // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015 June 18–24, SGEM 2015. Conference Proceedings. Book 5. Vol. 1. 609–616 pp.

Article history:

Received: 10.03.2017

Revised: 30.03.2017

For citation:

Absametov M.K., Shagarova L.V., Muratova M.M. (2017) Conceptual model of the expert system for rehabilitation of the geological environment contaminated by oil products. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (2), 306—316.

Bio Note:

Absametov Malis Kudysovich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Director of LLP “Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Ahmedsafin”. E-mail: igg_gis-dzz@mail.ru

Shagarova Lyudmila Valentinovna — Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of GIS-technologies and remote sensing of of LLP “Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Ahmedsafin”. E-mail: igg_gis-dzz@mail.ru

Muratova Mira Muratovna — Leading Engineer of the Laboratory of GIS-technologies and remote sensing of of LLP “Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Ahmedsafin”. E-mail: igg_gis-dzz@mail.ru