

УДК 62-501.72:556

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ НАПРЯЖЁННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ РАЗНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ



Р.Н. Усманов

д.т.н., профессор кафедры «Компьютерные системы» Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий



Т.А. Кучкоров

доцент кафедры «Компьютерные системы» Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий



К.К. Сеитназаров

д.т.н., декан факультета «Компьютерные инженеринг» Нукусского филиала ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий

*Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий
E-mail: Seytnazarov82@mail.ru, timanet4u@gmail.com*

Р.Н. Усманов

Доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерные системы» Ташкентский университет информационных технологий. Является автором более 150 научных работ. Область научных интересов: искусственный интеллект, компьютерное зрение, ГИС технологии, математическое моделирование, цифровая обработка изображений.

К.К. Сеитназаров

Доктор технических наук, декан факультета «Компьютерные инженеринг» Нукусского филиала Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий. Является автором более 35 научных работ. Область научных интересов: математическое моделирование, программирования И искусственный интеллект.

Т.А. Кучкоров

Доцент кафедры «Компьютерные системы» Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий. Является автором более 20 научных работ. Область научных интересов: ГИС технологии, математическое моделирование, цифровая обработка изображений, интеллектуальный анализ данных

Аннотация. Обоснования проектов водозаборов подземных вод осуществляются на основе нечетко детерминированного подхода, т.е. на основе нечеткого задания параметров, начальных и граничных условий геофильтрационного процесса. Предлагаемая сенсорная сеть обеспечивается численной информацией о поверхностных и подземных водах, их минерализации, температуре воздуха в определенные моменты времени, а также получаемой с помощью гидрогеологических отчетов информацией о рельефе местности и литологии пород подземной гидросферы. В статье предлагается информационно-аналитическая система реализации экологического мониторинга окружающей среды для обеспечения принятия решения в условиях неопределенности. Предлагаются алгоритмы выбора решения при формировании и эксплуатации запасов подземных вод, принципы формирования информационный модели области фильтрации.

Ключевые слова: Сенсорные сети, водозаборы подземных вод, нечетко детерминированный подход, вычислительный процесс, информационная модель, геофильтрация, функция принадлежности.

В условиях резкого ухудшения состояния территорий, прилегающих к зоне Аральского моря, весьма острой является проблема оперативной оценки крупных территорий с позиции разных проблем: мелиоративной, водоохраной, экологической, социальной. Поскольку естественный режим природообразующих факторов в рассматриваемом регионе (поверхности воды, воздух, подземная гидросфера) является повсеместно науцёнными, то в таких условиях главной проблемой является поиск надёжных источников информации (рисунок 1).

Прежде всего, необходимо исключить человеческий фактор из измерительного процесса. Это достигается путем подключения наблюдательных сенсоров к сети, тем самым обеспечивается оперативная информация числового характера системы оценки и мониторинга состояний экологически напряженных территорий (ЭНТ). Сенсорная сеть обеспечивается информацией в основном об уровнях поверхностных и подземных вод, их минерализации, температуре воздуха на определенной моменты времени, а также получаемой с помощью гидрогеологических отчетов информацией о рельефе местности и литологии пород подземной гидросферы. Полученные данные из сенсоров в режиме реального времени поступают на базу управляющего контроллера аппаратного устройства Raspberry PI. Разработан программный комплекс, позволяющий получить данные о параметрах экологически проблемных территорий на основе сети сенсоров в режиме реального времени, состоящий из следующих модулей: установка сенсоров и их регистрация; извлечение из сенсоров данных в режиме реального времени и их передача на сервер; запись данных в базу данных в режиме реального времени; мониторинг данных в режиме реального времени.

При этом программа позволяет проверить данные, полученные из сенсоров в режиме реального времени в графическом виде, программа передачи сенсорных данных, установленная в управляющих контроллерах (Arduino, Raspberry PI), служит для передачи данных веб серверам и другим базам данных.

Для сбора данных по территориям используются следующие сенсоры (таблица 1):

Таблица 1

Сенсоры измерения параметров территории

Параметр территории	Сенсор	Единица измерения
Температура воздуха	DHT11	°C
Влажность воздуха	DHT11	%
Подъем уровней подземных вод	Water level sensor (SEN_WAT_LEV01)	М (метр)
Качество подземных вод	Water salinity sensor (SEN_WAT_LEV01)	г/л (грамм/литр)
Качество поверхностных вод	Water salinity sensor (SEN_WAT_LEV01)	г/л (грамм/литр)

Использование данных, полученных в режиме реального времени, является основой проведения качественного экологического мониторинга территорий с последующим получением оперативных и актуальных решений.

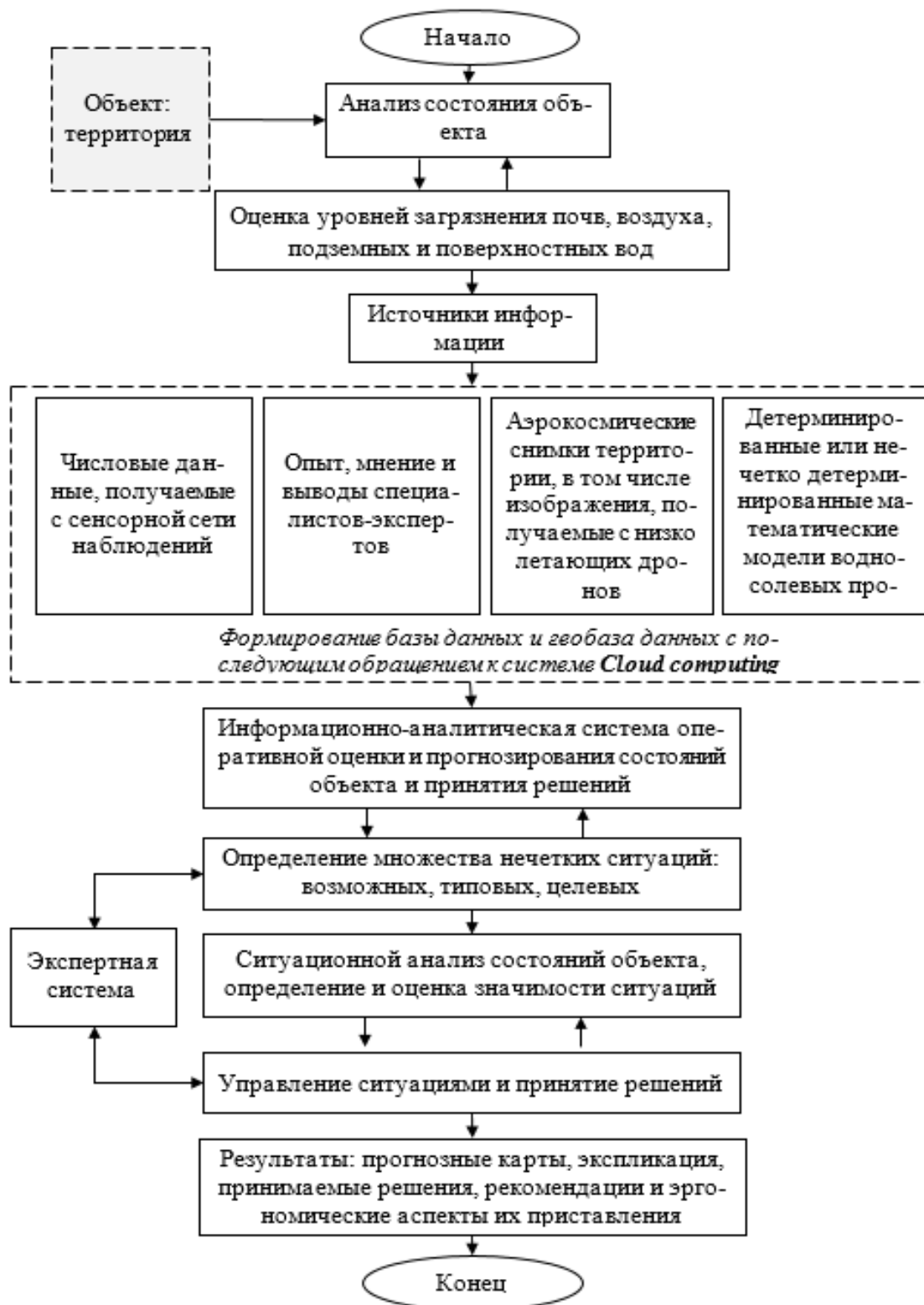


Рисунок 1. Схема системы комплексного исследования состояния экологически напряженных территорий в условиях разнородной информации

Следующим источником информации, особенно в условиях разнородности и нехватки исходной информации, являются данные, получаемые от специалистов-экспертов, имеющих опыт работы с исследуемым объектом. Алгоритмы формирования группы экспертов, ранжирование степени их важности с учетом их умения работать автономно и принимать групповые решения, представлены в работах [1,2].

Следующим важным источником получения информации о водно-солевых режимах территорий является математическое моделирование гидродинамических и геофильтрационных процессов с учетом физико-химических процессов массопереносов в потоках поверхностных и подземных вод [2]. Названные модели основаны на детерминистическом подходе, что означает определенность и ненарушенность исходной информации, определенность цели моделирования и принимаемых решений.

Однако в условиях нехватки, нечеткости, неясности, неопределённости исходной информации на ЭНТ возможность традиционного детерминированного подхода для моделирования водно-солевых процессов на таких территориях является ограниченной. В работах Р.Н.Усманова[3,6] предлагается рассмотреть нечеткое начальное распределение уровней и степеней минерализации подземных вод, границы области геофильтрации в плане и в разрезе, геофильтрационные параметры. В этих работах взаимосвязь области фильтрации, представленной в сеточном виде, и нечетко детерминированной модели процесса геофильтрации осуществляется через информационную модель, позволяющую управлять вычислительным процессом. Ниже приводится нечетко детерминированная модель процесса формирования и эксплуатации запасов пресных подземных вод Кегейлийского водозабора подземных вод (ВПВ) Республики Каракалпакстан (Р.Н.Усманов, К.К.Сейтназаров, 2014).

Исследование влияния элементов формирования и эксплуатации на функционирование ВПВ осуществляется на основе численного решения нечетко детерминированной модели (НДМ) неустановившейся фильтрации грунтовых вод (ГВ):

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \tilde{K}(h, \tilde{b}) \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \tilde{K}(h, \tilde{b}) \frac{\partial h}{\partial y} + \tilde{f} - \tilde{W}(x, y, h), \quad (1)$$

где $h(x, y, t)$ – уровни ГВ; $\tilde{K}(x, y)$ – нечеткие значения коэффициентов фильтрации, $(x, y) \in D$; $\tilde{b}(x, y)$ – нечеткие значения водоупора, $(x, y) \in D$; $\tilde{f}(x, y)$ – нечеткие величины инфильтрации из инфильтрационных сооружений; $\tilde{W}(x, y, h)$ – расход ГВ на испарение; D – область фильтрации.

Пусть Γ – граница области фильтрации. НДМ (1); решается заданием соответствующих начальных и граничных условий, определяемых условиями формирования и эксплуатации ВПВ. При этом начальное условие имеет вид

$$h(x, y, 0) = \varphi(x, y), \quad (2)$$

$$(x, y) \in D$$

$\varphi(x, y)$ – определяется из специальных карт по ВПВ. Граничные условия формируются следующим образом:

1)

$$h(x, y, t) = \varphi(x, y, t), \quad (3)$$

$$(x, y) \in \Gamma,$$

где $\varphi(x, y, t)$ – заданная функция;

$$km \frac{\partial h}{\partial n} = Q(x, y, t), (x, y) \in \Gamma, \quad (4)$$

$$(x, y) \in D,$$

где $\frac{\partial h}{\partial n}$ – производная по нормали, то $h(x, y, t)$ – по контуру Γ ; $Q(x, y, t)$ – заданная функция.

2) На внутренних границах-контурах эксплуатационных скважин задаются условия вида:

$$\int_{\Gamma_k} kh \frac{\partial h}{\partial n} ds = Q_s(t), \quad (5)$$

где Γ_k – контур скважины; $Q_s(t)$ – заданный расход;

Граничные условия, соответствующие конкретным технологическим схемам формирования или эксплуатации ВПВ, приведены на рис.2.

Точки, где расположены скважины и бассейны, считаются внутренними граничными условиями.

При этом использование функции экспорта-импорта атрибутивной информации и тематических слоев программного комплекса Mudflow в геоинформационной системе (ГИС) позволяет создавать качественные модели в кратчайшие сроки и, в тоже время, экспортировать результаты гидродинамического моделирования в информационные системы для последующей обработки. Весьма важным источником получения объективной информации о состояниях ЭНТ являются аэрокосмические снимки территории, в том числе изображения, получаемые с низко летающих дронов и т.д. При цифровой обработке такой информации одним из важным моментом является определение степени засоленности почв (СЗП) и пород орошаемых территорий в зависимости от подъема уровня подземных вод, степени минерализации поверхностных вод, используемых для орошения, рельефа местности и т.д. [1].

При этом целесообразным является определение корреляционных полей взаимосвязи между засоленностью территорий от двух или трех факторов на основе метода скользящего окна с применением вычисления степени корреляции между двумя и тремя факторами на основе формул (В.С.Тикунов, 1998).

Метод скользящего окна применяется для оценки степени корреляционной взаимосвязи между тематическими слоями геоинформационной модели ЭНТ. Для решения проблемы комплексной оценки состояний крупных ЭНТ предлагается следующая концептуальная модель, составляющая основу информационно-аналитической системы (рисунок 3.).

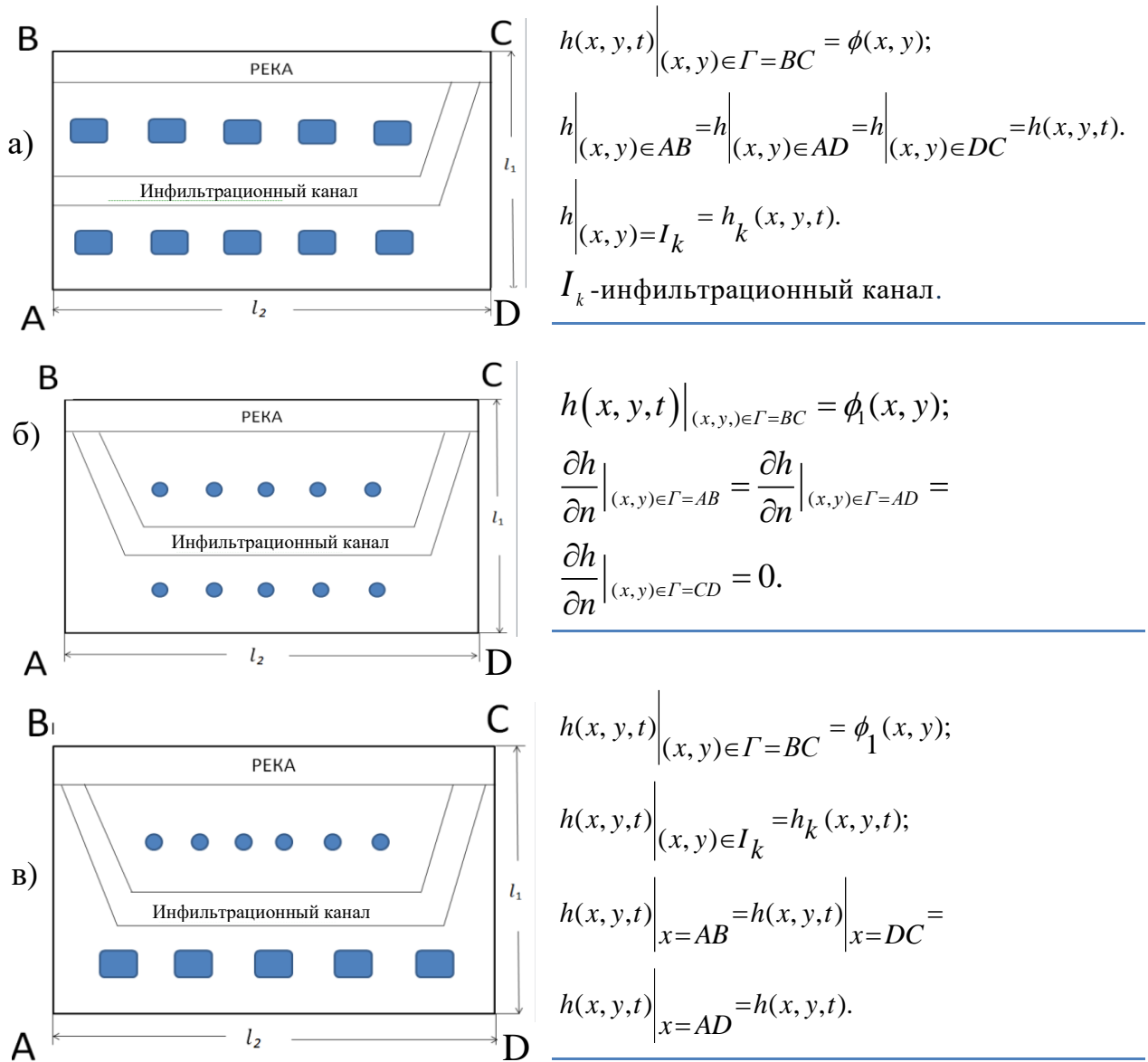


Рисунок 2. Технологические схемы формирования и эксплуатации водозабора подземных вод

а - схема формирования; б - схема эксплуатации; в - схема восстановления

В предложенной структуре информационно-аналитической системы экологического мониторинга окружающей среды (рисунок 3) входными данными является информация, получаемая от измерительных сенсоров, экспертов и изображений объектов. На этой основе формируется база данных, знаний и геобаза данных. В свою очередь, данная система состоит из таких модулей, как интерфейс для сенсоров, формирование баз данных и знаний, модули параллельной обработки данных, ситуационного анализа, корреляция тематических слоев и геоинформационный анализ территорий.

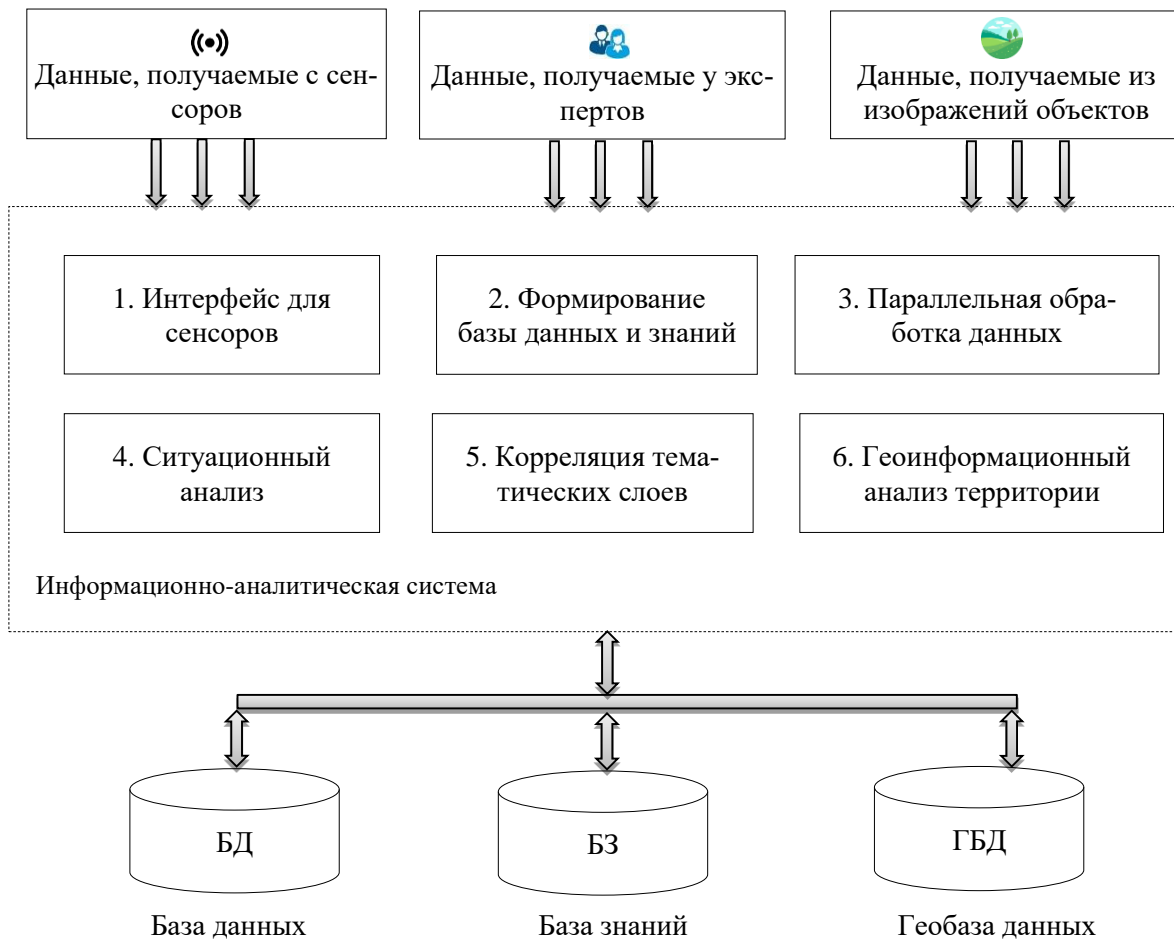


Рисунок 3. Схема реализации экологического мониторинга окружающей среды

В частности, для оценки экологического состояния крупных территорий важными являются параметры подземной гидросферы, поэтому в дальнейшем рассматривается процесс ситуационного анализа состояний ГГО ПТХ. Результаты, полученные путем математического моделирование значений УГВ, МГВ, степени заселения почв на всех точках сеточной области, или эти же значения, получаемые с сенсорной сети, предварительно интерполированные на все точки сеточной области, составляют множество возможных ситуаций ГГО ПТХ.

$$S_{ij}^B = \{h_{ij}, c_{ij} \cdot M_{ij}\}; i = 1, N; j = 1, M \quad (6)$$

Здесь $h_{ij}, c_{ij} \cdot M_{ij}$ - соответственно значения УГВ, МГВ и степень засоленности почв во всех точках сеточной области. Эти состояния можно представить в качестве тематических слоев и исследовать степени их взаимосвязи путем составления корреляционных полей взаимосвязи между h и c , c и M , h, c и M . Пусть $-R_{hc}, R_{cM}, R_{hc/M}$ корреляционные поля взаимосвязи, получаемые методом скользящего окна, где маска окна должна быть по раз-

меру не меньше 5×5 . Исследования взаимосвязи компонентов текущих ситуаций даст возможность заранее определить стратегию дальнейших исследований. Далее, с применением принципов ТНМ вводится понятие множеств типовых ситуаций [2,3].

$$S_{k,l}^T = \{ \langle T_1^1 / \alpha_1^1, T_1^2 / \alpha_1^2, \dots, T_1^r / \alpha_1^r \rangle / \tilde{h}, \langle T_2^1 / \alpha_2^1, T_2^2 / \alpha_2^2, \dots, T_1^p / \alpha_1^p \rangle / \tilde{c}, \langle T_3^1 / \alpha_3^1, T_3^2 / \alpha_3^2, \dots, T_3^q / \alpha_3^q \rangle / \tilde{M} \} \quad (7)$$

Здесь T_1^r, T_2^p, T_3^q - количество термов, при этом $0 < r, p, q \leq 5$, k, l - количество типовых ситуаций. При этом $card(S_{k,l}^T) \ll card(S_{ij})$. Введение множества типовых состояний позволяет существенно сократить объем обрабатываемой информации. Обращено внимание специалистов-экспертов, принимающих решение на типовые ситуации, формализующие с использованием ФП НМ.

Схема алгоритмов процесса оценки экологической ситуации и принятия решений на основе метода ситуационного анализа в условиях разнородной информации (числовая, качественная, лингвистическая, изображение) приводится на рисунке 4[2].

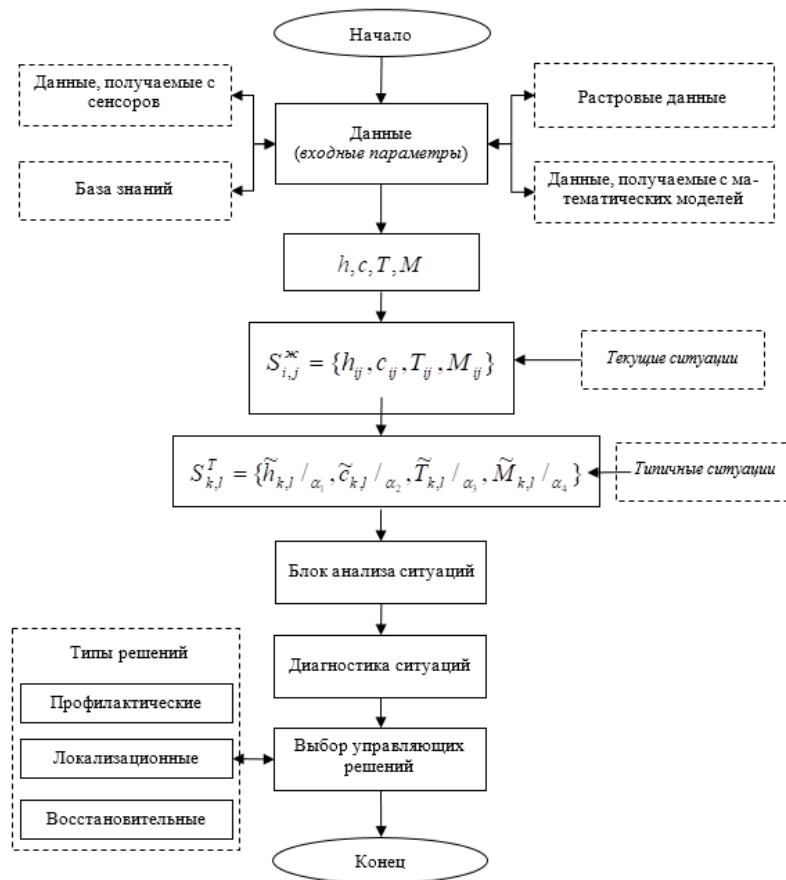


Рисунок 4. Схема алгоритмов принятия решений на основе ситуационного подхода в условиях разнородной информации

Особенности предлагаемого алгоритма:

- основные параметры экологической обстановки территории (h, c, T, M) определяются путем измерений в режиме реального времени с помощью сенсоров (тем самым исключается человеческий фактор из процесса измерений);
- непосредственно из получаемых данных или на основе результатов математического моделирования формируется пространство нечетких ситуаций;
- ситуации разделяются на текущие, типичные и эталонные;
- принятие решений осуществляется на основе подбора, классификации и упорядочивания по значимости;
- все этапы осуществляются путем непосредственного использования знания и опыта специалистов-экспертов.

где: h – подъем уровней подземных вод (м); c – качество подземных вод (г/л); T – температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$); M – степень засоленности почв (г/л).

Далее, оценка ситуаций осуществляется на основе формирования состояний объекта $S = \{S_1, S_2, S_3\}$, S_1 – {мелиоративное состояние территории}; S_2 – {состояние загрязненности вод территории}; S_3 – {экологическое состояние территории}, и путем сопоставлений значений $\mu(S_1), \mu(S_2), \mu(S_3)$ принимаются решения мелиоративного, охранного, а также экологического характера [7, 8, 10].

Для нечеткой оценки состояний подземной гидросферы на основе выбранных параметров \tilde{h} – УГВ, \tilde{c} – МГВ, \tilde{M} – СЗП примем единую систему термов – лингвистических компонентов нечетких переменных $\tilde{h}, \tilde{c}, \tilde{M}$:

$$\mu(U) = \{ЗНН, НН, Н, ВН, ЗВН\},$$

где $U = (\tilde{h}, \tilde{c}, \tilde{M})^T$, $Н$ – норма, $НН$ – ниже нормы, $ЗНН$ – значительно ниже нормы, $ВН$ – выше нормы, $ЗВН$ – значительно выше нормы. Универсумом для \tilde{h} может являться интервал $[-3; 4]$, где критический уровень грунтовых вод (УГВ) обычно принимается до трёх м от поверхности земли. Тогда, $Н$ – это значение УГВ до 1,5 м, $НН$ – до отметки от 0 до -1 м, $ЗНН$ – около -3 м, $ВН$ – около 2 м, $ЗВН$ – до 1 м. С учетом этих значений строятся ФП термов для $\mu(u)$, где $u = \tilde{h}$.

Значения, а также пределы множеств $\mu(u)$ выбираются экспертным путем. Аналогичным образом выбираются значения терм-множеств для \tilde{c} и \tilde{M} .

Оценка состояний ЭНТ начинается с анализа типовых ситуаций по \tilde{h} , значения которых являются определяющими при определении проблем, протекающих по схеме (степени тяжести): мелиоративная проблема \rightarrow водоохранная проблема \rightarrow экологическая проблема.

Изменим \tilde{h} . При этом характерным является обеспечение перехода \tilde{h} с по схеме $ЗНН \rightarrow НН \rightarrow Н$ с применением нечеткой команды «усилить», а по схеме $ЗВН \rightarrow ВН \rightarrow Н$ – с применением команды «уменьшить». Для \tilde{c} и \tilde{M} основной является команда «уменьшить», позволяющая реализовать цепочку $ЗВН \rightarrow ВН \rightarrow Н$.

Алгоритмы, реализующие данные схемы, основаны на идеях [4,7] и представлены в [5]. На базе этих алгоритмов, а также на алгоритмах построения корреляционных полей взаимосвязи по \tilde{h} и \tilde{c} , \tilde{h} и \tilde{M} , \tilde{c} и \tilde{M} , а также \tilde{h} , \tilde{c} и \tilde{M} получают комплексные оценки состояний ЭНТ, что позволяет принимать более обоснованные решения.

Выводы

1. Предложенные алгоритмы формирования информационно-технологической модели ВПВ обеспечивают взаимосвязь между объектом (ВПВ) и нечетко детерминированной моделью процесса геофильтрации.

2. Предлагается способ формирования информационной модели для определения коэффициентов фильтрации. При этом формализация нечеткого параметра $\tilde{K} = \tilde{K}(x, y)$ осуществляется на основе принципа ТНМ, позволяющего представить лингвистические значения нечеткого параметра $\tilde{K} = \tilde{K}(x, y)$ в виде нечетких чисел (треугольных, трапециевидных).

3. Объективной информацией о состояниях ЭНТ являются аэрокосмические снимки территории, в том числе изображения, получаемые с низко летающих дронов. На основе цифровой обработки такой информации одним из важным моментом является определение степени засоленности почв и пород орошаемых территорий в зависимости от подъема уровня подземных вод.

4. Разработан алгоритм процесса оценки экологической ситуации и принятия решений на основе метода ситуационного анализа в условиях разнородной информации.

5. Предлагаемое комплексное исследование состояния экологически напряженных территорий в условиях разнородной информации, качество результатов процесса математического моделирования природно-техногенных гидрогеологических систем, в основном, определяется информационным обеспечением, а также в информационно-телекоммуникационных аспектах получения, обработки, хранения и передачи больших объемов информации.

Литература

1. Usmonov R.N., Kuchkorov T.A., Endo Tetsuji, Processing real time environmental data through sensor network // International conference on information science and communications technologies ICISCT 2017, Tashkent, 2017, – pp. 122-126.
2. Усмонов Р.Н., Кучкоров Т.А., Экологик вазият танг худудларни комплекс тадқиқ қилишда вазиятли тахлиллаштириш алгоритми // Мухаммад Ал-Хоразмий авлодлари, –Ташкент, 2018. - № 1(3). 50-57 б.
3. Усманов Р.Н. Применение теорий нечетких множеств в процесс моделирования условий защищенности грунтовых вод // Загрязнение пресных вод аридной зоны: оценка и уменьшение: Материалы международного симпозиума: - Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2004. – С.142-143.
4. Усманов Р.Н. Идентификация геофильтрационных процессов в условиях нечеткой исходной информации // Электронное моделирование.-Украина. – Киев, 2008. Т.30.№4 – С.97-104
5. Усманов Р.Н. Интеллектуализация процесса принятия решений в условиях нечеткой исходной информации// Aloqa Dunyosi. - 2007. - №1. С. 52-58
6. Усманов Р.Н. К вопросу интеграции нечетко-множественного подхода в процесс диагностики состояний сложных систем // Химическая технология. Контроль и управление. - Ташкент, 2006. № 4. - С.71-77.
7. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности // - М.: ЛЭГИ. –Липецк, 2001. – 138 с.
8. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. - М.: Наука, Москва, 1990. - 272 с.
9. Тикунов В.С. Моделирование в картографии // Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 405 с.
10. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, нейронные сети, генетические алгоритмы // Монография. - Винница: "Універсум-Вінниця", 1999. - 295 с.

A COMPREHENSIVE STUDY AND ASSESSMENT OF ECOLOGICALLY INTENSE REGIONS IN CONDITIONS OF HETEROGENEOUS INFORMATION

R.N. USMANOV

*Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department
"Computer Systems" of Tash-
kent University of Information
Technologies named after Mu-
hammad al-Khwarizmi*

T.A KUCHKOROV

*Associate Professor of the De-
partment "Computer Systems",
Tashkent University of Infor-
mation Technologies named af-
ter Muhammad al-Khwarizmi*

K.K. SEYTNAZAROV

*Doctor of Technical Sci-
ences, Dean of the Faculty
of Computer Engineering
of the Nuku branch of
TUIT named after Muham-
mad al-Khwarizmi*

*Tashkent University of information technologies named after Muhammad al-Khorazmiy
E-mail: Seytnazarov82@mail.ru, timanet4u@gmail.com*

Abstract. In this article, intakes of groundwater developments are proposed based on the fuzzy deterministic approach, i.e. the fuzzy setting of parameters, initial and boundary conditions of the geofiltration process. The sensors network provides digital data mainly on the levels of surface and groundwater, their mineralization, air temperature at a specific times, as well as information from the hydrogeological reports on the terrain and lithology of the rocks of the underground hydrosphere. Also suggested an information-analytical system for providing environmental monitoring to ensure decision-making based on uncertainty approach. Additionally, some algorithms that choosing a solution for the formation and operation of groundwater reserves, the principles of forming an information model of the filtration area are proposed.

Keywords: Sensors network, intakes of groundwater, fuzzy deterministic approach, computational process, information model, geofiltration, membership function