



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) **KZ** (13) **B** (11) **31877**  
(51) *G01W 1/00* (2006.01)  
*G08C 19/00* (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

### К ПАТЕНТУ

(21) 2015/0722.1

(22) 29.05.2015

(45) 28.02.2017, бюл. №4

(72) Закарин Эдиге Аскарлович; Дедова Татьяна Владимировна; Ким Дмитрий Константинович; Нурсеитов Данияр Борисович; Балакай Лариса Анатольевна; Бостанбеков Кайрат Аратович

(73) Товарищество с ограниченной ответственностью "EcoRisk"

(74) Алчимбаева Раушан Темирхановна; Бавлакова Анна Вячеславовна

(56) RU 2369866 C1, 10.10.2009

SU 963054 A1, 30.09.1982

KZ 29649 A4, 16.03.2015

CA 2577090 A1, 13.02.2007

(54) **СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

(57) Изобретение относится к классу информационно-аналитических способов в области геоэкологии и предназначено для прогнозирования загрязнения окружающей среды при помощи моделирования загрязнения, расчета и картирования экологических рисков и принятия управленческих решений по сохранению стабильности экологических систем.

Технический результат - повышение точности прогнозирования и расширение функциональных возможностей способа - достигается тем, что в способе прогнозирования загрязнения окружающей среды при помощи расчета экологических рисков с использованием геоинформационной системы, которая состоит из базы данных и программного обеспечения, где потребитель направляет запрос в базу данных по интересующим его участкам географической области и получает требуемую информацию, которая обрабатывается программным обеспечением, согласно изобретению, генерируют вычислительную сеточную область, которая включает карты топоосновы и инфраструктуру участка, формируют пакеты метеоситуаций, производят расчет гидродинамических и/или аэродинамических полей, производят моделирование процесса переноса загрязняющих веществ, оценивают распределение случайных полей загрязнения и рассчитывают риск загрязнения, формируют карты риска загрязнения, исследуют характеристики сообществ живых организмов и их зависимость от загрязняющих веществ, рассчитывают риск поражения биоты и формируют карты риска поражения биоты.

(19) KZ (13) B (11) 31877

Изобретение относится к классу информационно-аналитических способов в области геоэкологии и предназначено для прогнозирования загрязнения окружающей среды при помощи моделирования загрязнения, расчета и картирования экологических рисков и принятия управленческих решений по сохранению стабильности экологических систем.

Известен способ оперативного исследования атмосферы, земной поверхности и океана, включающий транспортировку к области исследования диагностического модуля, последовательное, с временными заданными интервалами, отделение от него нескольких комплектов спускаемых капсул, снабженных измерительной аппаратурой, включая радиозонд, количество которых удовлетворяет условию заполнения исследуемой области, измерение с помощью радиозондов во время их спуска и после приземления или приводнения параметров атмосферы, земной поверхности и океана, передачу информации от радиозондов на пункты приема, при этом на каждом  $i$ -м радиозонде измеренные значения  $j$  параметров атмосферы, земной поверхности и океана преобразуют в цифровые коды, формируют цифровое сообщение, содержащее  $i$ -й номер радиозонда и измеренные значения  $j$  параметров атмосферы, земной поверхности и океана в цифровой форме, генерируют высокочастотное колебание на частоте  $\omega_i$ , манипулируют его по фазе цифровым сообщением, и сформированный сложный сигнал с фазовой манипуляцией усиливают по мощности и излучают в эфир, а на каждом пункте приема осуществляют последовательный поиск и преобразование сигналов по частоте, выделяют сложный сигнал с фазовой манипуляцией на промежуточной частоте, осуществляют его частотное детектирование, в результате которого выделяют короткие разнополярные импульсы, соответствующие моментам скачкообразного изменения фазы сложного сигнала с фазовой манипуляцией, формируют с их помощью разнополярное напряжение в прямом и обратном коде, пропорциональное цифровому сообщению, регистрируют и анализируют его, в результате чего определяют  $i$ -й номер радиозонда и значения  $j$  параметров атмосферы, земной поверхности и океана. В состав комплектов спускаемых капсул включают дрейфующие и подводные измерительные станции, перед размещением капсул с измерительной аппаратурой выполняют мониторинг исследуемой области по фоновой и/или архивной информации, с формированием базы данных на пункте приема, включающей информацию о рельефе дна, стационарных гидродинамических процессах, данные дистанционных аэрокосмических зондирований, характеристики состояния природной среды и техногенных объектов хозяйственной деятельности, характеристики геофизических полей, с формированием электронных карт; дрейфующие

измерительные станции, снабженные спутниковым каналом радиосвязи и гидроакустическим каналом связи, размещают на водной поверхности; подводные измерительные станции, снабженные гидроакустическим каналом связи, размещают на нескольких горизонтах по глубине и на дне морской акватории; измерительные станции на дне морской акватории размещают вдоль береговой линии, на континентальных окраинах и на поверхности континентального шельфа в точках с явно выраженным рельефом поверхности (впадины, поднятия, подводные хребты, равнинные участки), в радиальном и аксиальном направлениях от установленных заранее базовых точек с известными геодезическими и географическими координатами; посредством измерительных дрейфующих и подводных измерительных станций выполняют ионизирующие, электромагнитное, акустическое и спин-протонное зондирования водной и земной среды, с последующим восстановлением и картированием рельефа среды, при этом излучение и прием сигналов выполняют по методике многократных перекрытий или одинаковых зондирований, выделяют флуктуации аномальных сигналов на фоновых уровнях естественной среды, выполняют сравнительный анализ стационарного и динамического процессов, выявляют аномальные области, строят прогноз развития ситуации путем построения параметрических моделей парных сравнений; при появлении в процессе регистрации сигналов новых аномальных точек корректируют прогноз на основе адаптивных методов оценок прогнозирования; на основании прогноза развития аномальных процессов в области исследований определяют степень рисков, влияющих на объекты хозяйственной деятельности, расположенные в области исследования, методом экспертных оценок, выраженных ранжировками, при этом выполняется проверка согласованности ранжировок посредством коэффициентов ранговой корреляции Кендалла и Спирмена, коэффициента ранговой конкордации Кендалла и Бэбингтона Смита, и параметрической модели парных сравнений Терстоуна, Бредли-Терри-Льюса, и непараметрических моделей теории люсианов; посредством подводных измерительных станций регистрируют сигналы сейсмического происхождения, выполняют съемку геомагнитного и гравитационного полей; определяют прочностные характеристики грунта дна путем измерения коэффициентов сопротивления и трения; при акустическом зондировании морского дна регистрируют характеристики искажений формы отраженного сигнала, по которому судят о материале и размерах подводного объекта; спектральный анализ сейсмических волн выполняют как для объемных волн фаз РР и S, так и для поверхностных волн Лява, Релея и Стоунли, при картировании рельефа местности выполняют сопряжение топографических и навигационных растровых карт (Патент РФ №2436134, кл. G01W 1/08, 2011).

Недостатком указанного способа является сложность реализации и необходимость оснащения транспортируемого к области исследования диагностического модуля большим количеством измерительной аппаратуры.

Известен способ индивидуального учета загрязнения окружающей среды (ЗОС), при котором информативные сигналы о величине загрязнения с датчиков поступают в адаптер, преобразуются в адаптером в цифровую форму и подаются в процессор. Процессор производит цифровую обработку поступающих сигналов и периодически выдает в энергонезависимую память с привязкой к астрономическому времени фискальную информацию. В каждой ячейке энергонезависимой памяти хранится значение того или иного параметра ЗОС и астрономическое время, когда это измерение было выполнено. Накопленная в энергонезависимой памяти соответствующего объектового блока информация передается на групповой блок контроля при считывании с порта или с приемопередатчика. Информация, необходимая для пользователя техногенного объекта, воспроизводится в блоке индикации и сигнализации, структура этой информации задается пользователем с клавиатуры. Каждый объектовый блок работает в автономном режиме, причем в программу работы процессора может быть заложен алгоритм внеочередной автоматической записи в энергонезависимую память, выдачи на индикацию/сигнализацию и/или радиопередачи на групповой блок контроля ЗОС информации о недопустимых режимах загрязнений, производимых техногенным объектом. В качестве автономного блока бесперебойного электропитания могут служить электрические аккумуляторы. Запрос фискальной информации с того или иного объектового блока формируетелем группового блока контроля производится выдачей соответствующего идентификационного номера, по которому процессор через приемопередатчик и антенну передает на выбранный объектовый блок код запроса о выдаче необходимой информации. Этот код принимается антенной и приемопередатчиком соответствующего объектового блока как команда на считывание фискальной информации из энергонезависимой памяти и передачу этой информации через приемопередатчик и антенну в групповой блок контроля. Информация, принятая антенной и приемопередатчиком, заносится в соответствующий сегмент энергонезависимой памяти, отведенной для данного объектового блока ЗОС. С помощью принтера обеспечивается распечатка протоколов контроля или извещений на оплату налога за загрязнение окружающей среды конкретным техногенным объектом (Инновационный патент РК №29649, кл. G08C 19/00, 2015).

Данный способ не обеспечивает возможности моделирования загрязнения окружающей среды.

Известен способ мониторинга экологических рисков с использованием геоинформационной системы, содержащей центр пользователей, базу метаданных и геопространственных данных,

средства отображения и документирования, центр локального мониторинга, прикладное и системное программные обеспечения. Геоинформационная система оснащена множеством локальных систем мониторинга экологических рисков, которые соединены каналами связи с центром локального мониторинга через сервер архива базы данных. Из центра пользователей, например, компьютера, направляют запрос в центр мониторинга. Центр мониторинга включает системное программное обеспечение, выбирает и активирует прикладное программное обеспечение в зависимости от характера запроса и решаемой задачи, и включает центр локального мониторинга через каналы связи, например, оптико-волоконная связь, Интернет или радиостанция. Затем центр локального мониторинга, который может быть выполнен в виде стационарного компьютера или ноутбука подключает базу метаданных и геопространственных данных, выполненную в виде цифровых карт с указанием характеристик и адресов специализированных данных. Далее через сервер архива базы данных, в зависимости от запроса потребителя, подключаются локальные системы мониторинга экологических рисков, либо все сразу, либо только на интересующих потребителя участках экосистемы, которые с помощью технических средств выдают на сервер архива базы данных требуемую информацию по экологическим рискам. С сервера информация поступает в центр локального мониторинга, где обрабатываются и анализируются полученные данные. Затем центр локального мониторинга подключает средства отображения и документирования, выполненные в виде принтеров, дисплеев, записывающих или запоминающих устройств, и отправляют полученные результаты в центр пользователей.

Указанный способ не обеспечивает высокой точности прогнозирования экологических рисков и позволяет моделировать процесс загрязнения окружающей среды только в области гидрогеологии, но не гарантирует прогнозирования экологических рисков, например, при разливе нефти в акватории моря, утечке токсичных компонентов при аварии или взрыве.

Задачей изобретения является разработка информационно-аналитического способа прогнозирования загрязнения окружающей среды при помощи расчета экологических рисков для принятия управленческих решений по сохранению стабильности экологических систем.

Технический результат - повышение точности прогнозирования и расширение функциональных возможностей способа - достигается тем, что в способе прогнозирования загрязнения окружающей среды при помощи расчета экологических рисков с использованием геоинформационной системы, которая состоит из базы данных и программного обеспечения, где потребитель направляет запрос в базу данных по интересующим его участкам географической области и получает требуемую информацию, которая обрабатывается программным обеспечением, согласно изобретению, генерируют

вычислительную сеточную область, которая включает карты топоосновы и инфраструктуру участка, формируют пакеты метеоситуаций, производят расчет гидродинамических и/или аэродинамических полей, производят моделирование процесса переноса загрязняющих веществ, оценивают распределение случайных полей загрязнения и рассчитывают риск загрязнения, формируют карты риска загрязнения, исследуют характеристики сообществ живых организмов и их зависимость от загрязняющих веществ, рассчитывают риск поражения биоты и формируют карты риска поражения биоты.

Расчет полей гидродинамики и переноса загрязняющих веществ включает растекание загрязняющего компонента, вычисление вертикальной дисперсии, его испарение, растворение, эмульсификацию и рассчитывают тепловой баланс.

При расчете полей аэродинамики вычисляют распространение загрязняющих компонентов в воздушной среде, взаимодействие взвешенных частиц и газообразных веществ между собой, рассчитывают тепловой баланс.

Алгоритм расчета риска как детерминированного функционала от случайных полей основан на статистической оценке их распределений.

Изобретение поясняется схемой, на которой представлена очередность проведения мероприятий по реализации изобретения.

Расчет экологических рисков (рисковое картирование) производится с использованием геоинформационной системы, которая содержит базы данных метеозагрязнителей, топоосновы, инфраструктуры, характеристики биоты (животный и растительный мир), зависимость элементов биоты от загрязняющего вещества для расчетной территории. Потребитель направляет запрос в систему по интересующим его участкам географической области с указанием источника возможного загрязнения, его характеристик, периода времени для загрязнения и характеристик возможного загрязнения. Далее происходит обработка полученной информации, генерируется неравномерная вычислительная сеточная область, которая включает карты топоосновы, инфраструктуру участка и формируются пакеты метеоситуаций для выбранной географической области и для различных временных периодов, сходных по метеорологическим параметрам тем, что были введены потребителем. На следующем шаге для всех выбранных пакетов метеоситуаций производится расчет гидродинамических и/или аэродинамических полей выбранной области. Далее происходит многократное моделирование процесса переноса загрязняющих веществ с набором статистики (сценариев) возможных загрязнений природной среды. На основе полученной статистической выборки оценивают распределение случайных полей загрязнения и рассчитывают риск загрязнения в каждой точке выбранной области и в каждый момент времени, как значения детерминированного функционала от случайного

поля, формируют карты риска загрязнения выбранной области, как объединение значений риска загрязнения в каждой точке сеточной области и в каждый момент времени. На следующем этапе с помощью геоинформационных методов производят обработку данных биоты, описывают связи и взаимное влияние друг на друга элементов биоты, их ареалы обитания, миграцию и периодичность во времени, времена восстановления. Далее составляют карты обитания, производят расчет коэффициентов биоразнообразия и уязвимости, функций чувствительности биоты к загрязняющему веществу и формируют карты биоразнообразия и уязвимости биоты. На следующем шаге рассматривают все множество возможных сценариев загрязнения выбранной области и производят расчет поражения биоты для каждого из сценариев. Далее происходит обработка результатов поражения биоты при различных сценариях и рассчитываются риски поражения биоты во времени и пространстве как значения интегрального функционала от выборочного распределения поражения биоты. На заключительном этапе производят обработку полученных результатов и рассчитывают результирующую карту риска поражения биоты на заданном участке географической области.

Реализуют способ следующим образом.

Пример.

Алгоритм расчета экологических рисков, например, при разливе нефти в акватории моря предусматривает следующие действия: генерация неравномерной сетки с учетом инфраструктурных объектов (искусственные острова, трубопроводы и т.д.), береговой линии и других элементов топоосновы; формирование пакета метеоситуаций; расчет полей гидродинамики и нефтяного загрязнения моря (программа MIKE21); вычисление статистической оценки распределения случайного поля концентрации загрязнения выбранной области во времени; расчет рисков карт нефтяного загрязнения моря во времени и пространстве; расчет карт биоразнообразия и уязвимости биоты; расчет сценариев поражения биоты для различных метеоситуаций с учетом чувствительности биоты к нефтяному загрязнению; расчет рисков карт поражения биоты.

Вероятность поражения биоты при экологическом загрязнении окружающей среды можно представить в виде произведения:

$$P_c = P_a \cdot P_s \cdot P_r, \text{ где}$$

$P_a$  - вероятность аварии;  $P_s$  - условная вероятность загрязнения окружающей среды (характеристики аварии);  $P_r$  - условная вероятность поражения биоты (авария и загрязнение среды).

Для вычислительных целей производится генерация неравномерной вычислительной сеточной области с более мелким дроблением сетки в районе источника аварии и других местах, где требуется повышенная точность вычислений (инфраструктурные объекты, места нерестилищ).

Пакет метеоситуаций формируют для характерных для заданного периода времени полей метеозагрязнителей (скорости и направления ветра,

температуры воздуха и водной поверхности, давления, осадков и испарения, солнечной радиации) из базы метеоданных ERA Interim за последние 40 лет, которые адаптируются к сеточной области.

На основе пакета метеоситуаций вычисляют поля морских течений и нефтяного загрязнения с помощью программного обеспечения MIKE21. Для изучения процессов переноса загрязнения и поведения нефти в морской среде исследуют береговую линию, уровень воды, соленость воды, формирование эмульсии нефть - вода, фотоокисление, испарение, растекание нефти по поверхности воды, формирование аэрозоля, проникновение нефти в почву береговой линии, выделение из почвы в водную среду, дисперсию, растворение, биосорбцию, сорбцию. Для этого вводят координаты источника разлива, момент разлива, длительность разлива, мощность разлива (если разлив на скважине, то ее дебит), фракционный состав нефти, батиметрию морского дна, а также данные европейского центра среднесрочных прогнозов (ECMWF) из базы данных ERA Interim. На основе входных данных при определенных значениях координат аварии, момента аварии, данных ECMWF, а также данных гидродинамики изучаемой акватории производят расчет нефтяного загрязнения во времени и в пространстве, учитывающий процессы осаждения, эмульсификации, дисперсии, испарения и растворения нефти и других физико-химических процессов. В результате получают численные значения концентрации нефтяного загрязнения во времени и в каждой точке изучаемой географической области. Моделирование нефтяного загрязнения производят многократно для всего пакета метеоситуаций и рассчитывают статистическую выборку «сценариев» нефтяных разливов. На следующем шаге проводят статистический анализ полученных результатов многократного моделирования нефтяного загрязнения для различных значений метеоданных, производят оценку интегральных функционалов от случайного поля загрязнения, характеризующих риск нефтяного загрязнения во времени. Вычислительный процесс расчета гидродинамики и нефтяного загрязнения во времени связан с параллельной обработкой больших массивов данных, включая многократную процедуру численного решения уравнений гидродинамики и переноса нефтяного разлива в морской среде. В связи с этим заявленный способ реализуется с использованием суперкомпьютера. В процессе вычислений используются программные средства: MIKE 21 и язык программирования C#. На основании полученных данных формируют геоинформационную карту риска нефтяного загрязнения исследуемого участка, для этого производят обработку данных, их интерполяцию и конвертацию в формате, позволяющем производить визуализацию. Конвертированные данные представляют в виде визуализированных геоинформационных карт.

Для расчета карт риска поражения биоты составляют карты обитания различных сообществ, определяют коэффициенты биоразнообразия и уязвимости в каждой точке заданной области, визуализируют полученные результаты в виде геоинформационных карт биоразнообразия и уязвимости, рассчитывают численные значения поражения биоты для каждого из сценариев нефтяного разлива на основе данных нефтяного разлива, его физико-химических свойств и функции чувствительности биоты к нефтяному загрязнению. Полученные значения поражения биоты в пространстве и во времени обрабатывают и визуализируют в виде геоинформационных карт риска поражения биоты.

Результаты рискованного картирования ориентированы на дальнейший экспертный анализ с выработкой плана мероприятий по реагированию и ликвидации экологических катастроф и их последствий.

Предлагаемый способ, при помощи расчета экологических рисков, гарантирует высокую точность прогнозирования загрязнения окружающей среды, что позволяет предпринять эффективные меры по реагированию и ликвидации последствий загрязнения или своевременно предупредить возможность поражения биоты.

#### **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

1. Способ прогнозирования загрязнения окружающей среды при помощи расчета экологических рисков с использованием геоинформационной системы, которая состоит из базы данных и программного обеспечения, где потребитель направляет запрос в базу данных по интересующим его участкам географической области и получает требуемую информацию, которая обрабатывается программным обеспечением, **отличающийся** тем, что генерируют вычислительную сеточную область, которая включает карты топоосновы и инфраструктуру участка, формируют пакеты метеоситуаций, производят расчет гидродинамических и/или аэродинамических полей, производят моделирование процесса переноса загрязняющих веществ, оценивают распределение случайных полей загрязнения и рассчитывают риск загрязнения, формируют карты риска загрязнения, исследуют характеристики сообществ живых организмов и их зависимость от загрязняющих веществ, рассчитывают риск поражения биоты и формируют карты риска поражения биоты.

2. Способ по п.1, **отличающийся** тем, что расчет полей гидродинамики и переноса загрязняющих веществ включает вычисление вертикальной дисперсии, растекание загрязняющего компонента, его испарение, растворение, эмульсификацию и рассчитывают тепловой баланс.

3. Способ по п.1, **отличающийся** тем, что при расчете полей аэродинамики вычисляют распространение загрязняющих компонентов в воздушной среде, взаимодействие взвешенных

частиц и газообразных веществ между собой, рассчитывают тепловой баланс.

4. Способ по любому из п.п.1-3, отличающийся тем, что алгоритм расчета риска как

детерминированного функционала от случайных полей основан на статистической оценке их распределений.

