

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. В. Бакланов, А. Ю. Медведев, Т. Р. Исмагилов

Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия

В работе рассмотрены теоретические и прикладные вопросы построения географических информационно-аналитических средств управления природопользованием на основе комплексных оценок состояния ОС, норм нагрузки и прогноза последствий. Изложены теоретические аспекты построения эколого-технологических моделей территорий нефтяных месторождений.

Природопользование, модель, воздействия, буферная зона, карта-схема, последствия

GEOINFORMATION MODELING OF ECOLOGICAL STATE OF PETROLEUM DEPOSITS TERRITORIES

A. V. Baklanov, A. Yu. Medvedev, T. R. Ismagilov

Earth Cryosphere Institute SB RAS, 625000, Tyumen, 1230, Russia

The work is devoted to development of theoretical and applied questions of construction of geographical informative-analytical control facilities of nature development on the basis of complex estimations of the environment condition, norms of loading and forecast of consequences. The theoretical aspects of construction of ecological-technological models of territories of petroleum deposits are described.

Nature development, model, influence, buffer zone, card — circuit, consequence

ВВЕДЕНИЕ

Современная практика платного природопользования существенно укрепила статус территориальных служб по охране окружающей среды (ОС). Экология приобрела ощутимый вес в общественном самосознании. Новое развитие получила нормативно-правовая база контроля и учета за объемами загрязнения ОС. Отмечая успехи экологического администрирования, нельзя не признать, что фактическое состояние ОС продолжает ухудшаться. Усиливающиеся кризисные аспекты практического природопользования имеют как внешние, так и внутренние причины.

Внешние причины связаны с социально-экономическими корнями криминально-капиталистических и в целом потребительских сообществ.

Главная внутренняя причина — это сложность объектов управления, какими являются территориальные природно-антропогенные комплексы. Парадоксально, но факт, чем больше регистрируется видов воздействий, тем точнее оцениваются объем и масштабность загрязнения, тем менее определены возможные последствия и допустимые нормы. Активно работающие коми-

теты по экологии переполнены фактурными данными об объемах воздействий на ОС. Однако нет методик комплексной оценки и нормирования воздействий.

Развитие современного регламента природопользования сводится главным образом к учету, своевременному и полному начислению плат по фактам реальных действий. Однобокая направленность таких схем управления может приводить к отрицательным последствиям, когда собственно экологические критерии утрачивают свою значимость.

Проблемы количественной оценки состояния ОС, нормирования коллективной нагрузки и анализа последствий не новы [Моделирование..., 1982; Заславский, Полуэктов, 1988]. Однако практическая ценность результата, помимо смыслового наполнения, определяется уровнем согласованности новейших технологий с действующим регламентом и спецификой организации управления в конкретных территориальных комитетах по экологии.

Представленная работа посвящена развитию теоретических и прикладных вопросов постро-

ения географических информационно-аналитических средств управления природопользованием на основе комплексных оценок состояния ОС, норм нагрузки и прогноза последствий. Исследование базируется на опыте создания действующих автоматизированных технологий администрирования и полностью наследует регламент и специфику работы межрайонных комитетов по охране ОС Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО).

МОДЕЛИ И СИСТЕМЫ

Создание геоинформационных средств анализа и прогноза состояния ОС базируется на решении трех задач:

1. Выработка оценочных показателей состояния ОС и норм антропогенной нагрузки территории.
2. Отработка визуальных средств анализа на основе компьютерной картографии. Разработка технологий районирования для считывания и отображения численных данных о состоянии и эволюции объекта обследования.
3. Разработка математических моделей прогнозирования эволюции состояния ОС.

Решение вышеназванных задач помимо прочих факторов определяется масштабом объекта обследования. Ориентируясь на специфику ресурсодобывающих производств и административно-управленческую структуру ХМАО, будем выделять пять масштабных уровней.

Высший уровень иерархии (первый) образует эколого-экономическая модель ХМАО как единого территориального субъекта.

Второй уровень иерархии — это эколого-экономическая модель района — самоуправляемого хозяйствующего субъекта округа.

Третий уровень иерархии — это территориальные производственно экологические комплексы. Данный уровень иерархии обусловлен разделением административной площади района на территории, приуроченные к крупным населенным пунктам и(или) группе разрабатываемых месторождений, объединенных ранее одним органом управления. Например, в Нижневартовском районе выделяются следующие производственно-экологические территории: районы городов Радужного, Мегиона, Лангепаса, Покачей, Стрежевого, п. Излученска и собственно территории, приуроченные к центру (г. Нижневартовск).

Четвертый уровень иерархии образуется эколого-технологическими моделями нефтяных месторождений. К данному уровню иерархии относятся также эколого-антропогенные модели больших урбанизированных образований, такие как города и иные населенные пункты.

Пятый уровень иерархии — это эколого-технологические модели крупных производственных площадок, участков и узлов, объединенных единой производственно-технологической линией, как то цеха по добыче нефти, районы дожимной насосной станции (ДНС), центрально-го товарного парка (ЦТП), карьеры и т. д.

Масштаб исследований предопределяет уровень детальности анализа, связанный с мерой осреднения входо-выходных состояний объекта по пространственным и временным координатам. В равной степени масштаб диктует смысловую сторону задач управления, которую могут поддерживать данные модели, например, стратегия сбалансированного развития округа, эффективная социально-эколого-экономическая политика района, рациональное нормирование техногенной нагрузки территории, учет и анализ последствий аварий и т. п.

В настоящей работе изложены теоретические аспекты построения эколого-технологических моделей территорий нефтяных месторождений.

Всякая модель какого-либо процесса или явления — это формализованная схема описания действительности в интересующей нас предметной области. Карта есть важнейший инструмент схематической визуализации эколого-географических образов. Однако реальная динамика экологических объектов контроля столь велика, что традиционная статичная визуализация данных в виде карт-схем становится трудоемким и, как следствие, неэффективным инструментом управления. Переход на технологии автоматизированного картографирования в сочетании с действующим регламентом документооборота повышает эффективность инструментов управления, но существенно видоизменяет требования к картографической информации, правилам ее сопровождения и использования.

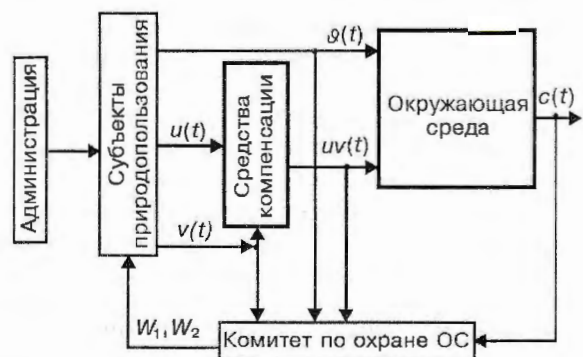


Рис. 1. Структурная схема управления природопользованием.

Модель как инструмент анализа и прогноза призвана устанавливать причинно-следственную связь между техногенной нагрузкой территории и состоянием ОС. Названное двухфакторное информационное поле не покрывает полное множество информационных потоков природоохранных комитетов. Вектор состояния системы управления природопользованием иллюстрируются структурной схемой (рис. 1), где выделены следующие переменные: $s(t)$ — вектор состояния ОС, $u(t)$ — вектор техногенных (репрессивных) действий, $v(t)$ — вектор природовосстановительных мероприятий, $\nu(t)$ — вектор природозащитных мероприятий.

Система управления работает по двухуровневой схеме. Верхний уровень призван согласовывать нормы воздействий на ОС и планы охранных мероприятий, что возлагается прежде всего на отдел экспертизы.

Функции слежения и отработки согласованных норм воздействий (т. е. функции оперативного регулирования) реализуются на втором уровне иерархии отделами инспекций и платежей.

Факторное поле оперативных управляющих воздействий включает: w_1 — штатные платежи, штрафы, w_2 — предписания к исполнению, запреты, приостановки, административное и уголовное наказание.

Заметим, что в современной схеме управления ОС слабо задействованы функции регулирования собственно по состоянию ОС. Поэтому действующий регламент не в состоянии надежно стабилизировать желаемые эколого-технологические пропорции. Совершенствование регламента за счет введения активных схем регулирования по фактическому состоянию ОС — одно из важных направлений развития технологий управления в природопользовании.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ОБРАЗЫ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Методика создания геоинформационных образов эколого-технологических моделей территорий нефтяных месторождений поясняется структурной схемой (рис. 2). Представленная технологическая схема анализа образуется четырьмя составными частями.

Первая часть — создание геоинформационных образов модели источников воздействий.

Вторая часть — разработка полигональных карт-схем конечных элементов, как инструментальной основы многовариантного анализа.

Третья часть — разработка вычислительной технологии оценки и прогноза вектора абиотического состояния ОС.

Четвертая часть — вычислительные технологии оценки и прогнозирования трансформации биоресурсов.

Ниже обсуждаются особенности решения задач первой, второй и третьей частей приведенной схемы.

Модель источника воздействия

Техногенная классификация источников унифицирует и, как следствие, упрощает задание уровня интенсивности действий. Каждый i -й источник, помимо регулируемого показателя интенсивности действия — $u(i, t)$, характеризуется местоположением на карте, графическим образом (точка, линия, полигон), видами воздействий и средами воздействий, т. е.

$$[u(1, i, t), \dots, u(9, i, t)] = [b(1, i), \dots, b(9, i)] \cdot u(i, t), \quad (1)$$

где $u(k, i, t)$ — интенсивность воздействия k -вида, $k = 1, 2, \dots, 9$ (см. рис. 2).

Основываясь на типовом наборе данных, собираемых на предприятиях и в комитетах по экологии, будем выделять восемь абиотических сред воздействий, состояние которых нас интересует:

$$[u(k, 1, i, t), \dots, u(k, 8, i, t)] = [b(k, 1, i), \dots, b(k, 8, i)] \cdot u(k, i, t), \quad (2)$$

где $u(k_1, k_2, i, t)$ — интенсивность воздействия k_1 -вида в k_2 -среде от i -го источника, $k_2 = 1, 2, \dots, 8$ (см. рис. 2).

Геоинформационный образ модели источника замыкается описанием модели компенсирующих действий (очистные, обваловки, фильтры, пылегазоулавливающие установки и т. п.), т. е. природоохранные мероприятия, технологии и устройства. В зависимости от способов организации природозащитных действий механизмы учета уровня защиты могут иметь разные степени агрегирования от общего на весь источник: $uv(i, t) = (1 - \nu(i, t)) \cdot u(i, t)$,

отдельно для каждого вида: $uv(k, i, t) = (1 - \nu(k, i, t)) \cdot u(k, i, t)$,

и до детальных проявлений (источник, вид, среда):

$uv(k_1, k_2, i, t) = (1 - \nu(k_1, k_2, i, t)) \cdot u(k_1, k_2, i, t)$, где $\nu(*, t) \in [0, 1]$ — показатели степени защиты (компенсация репрессивных воздействий).

Инструментальная база анализа

Создание инструментальной основы анализа предполагает априорное разделение технологической схемы исследований на несвязанные задачи. Каждая задача имеет свою слоевую струк-

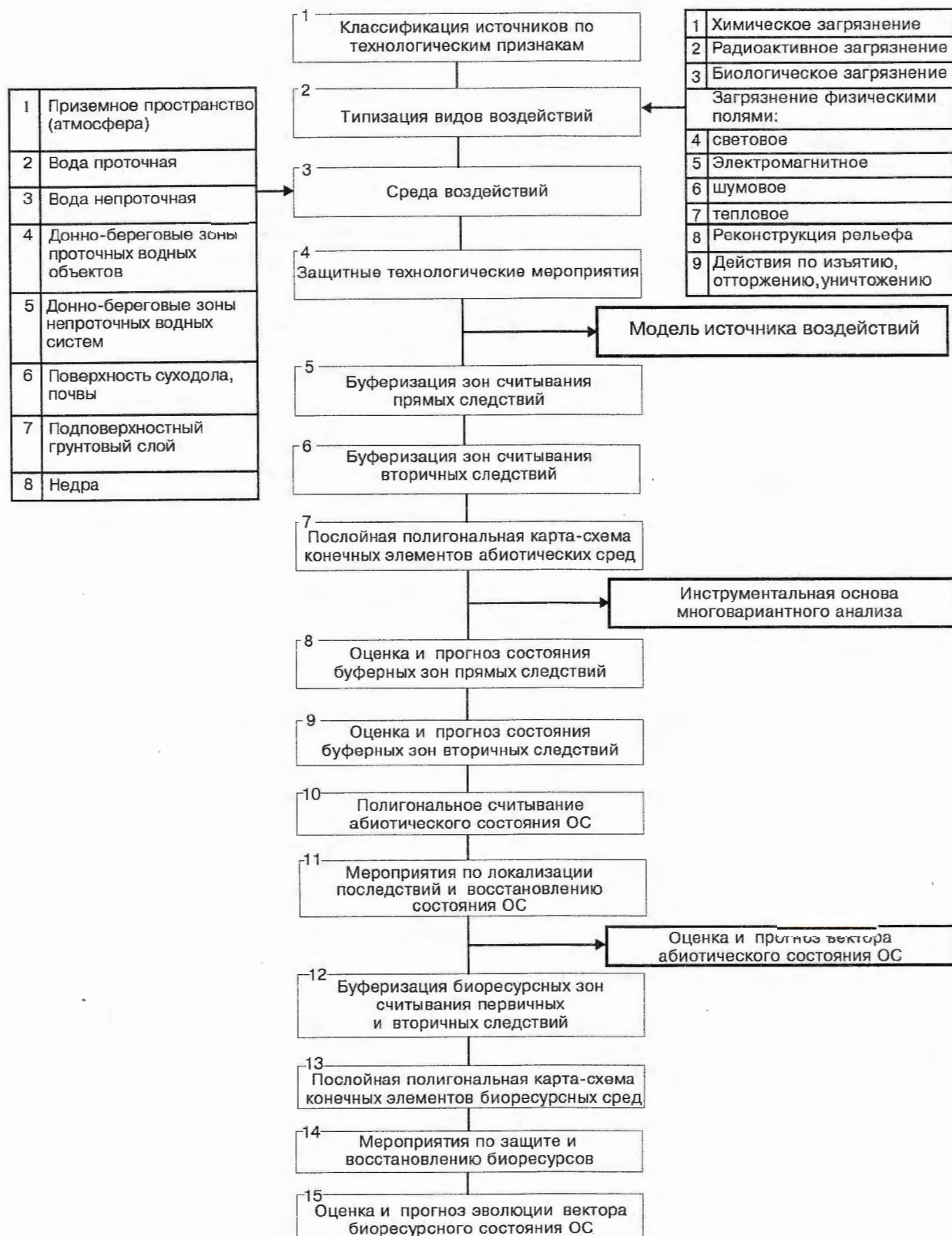


Рис. 2. Технология анализа и прогнозирования состояния ОС на нефтяных месторождениях.

Факторная модель инструментальной базы абиотического анализа

Задача	Покрытие	Тема	Наименование	Адрес проекции вторичных следствий
1	1	1.1	Химическое загрязнение приземного слоя атмосферы	2.1, 2.2, 2.3 3.1 3.2 3.3
		2.1	Химическое загрязнение поверхности сушидола и почв	
	2.2	Химическое загрязнение проточной воды		
	2.3	Химическое загрязнение непроточной воды		
	3	3.1	Химическое загрязнение грунтов	
		3.2	Донно-береговое химическое загрязнение проточных объектов	
		3.3	Донно-береговое химическое загрязнение непроточных систем	
		3.4	Химическое загрязнение недр	
2	4	4.1	Радиация приземного слоя	4.1, 6.1 4.1, 6.2 4.1, 6.3
		5.1	Радиоактивное загрязнение сушидола	
		5.2	Радиоактивное загрязнение проточной воды	
	5	5.3	Радиоактивное загрязнение непроточных вод	
		6.1	Радиоактивное загрязнение грунтов	
		6.2	Радиоактивное загрязнение донно-береговых зон проточных объектов	
		6.3	Радиоактивное загрязнение донно-береговых зон непроточных систем	
3	7	7.1	Биологическое загрязнение сушидола	8.1 8.2 8.3
		7.2	Биологическое загрязнение проточных вод	
		7.3	Биологическое загрязнение непроточных вод	
	8	8.1	Биологическое загрязнение грунтов	
		8.2	Донно-береговое биологическое загрязнение проточных объектов	
		8.3	Донно-береговое биологическое загрязнение непроточных систем	
		8.4	Биологическое загрязнение недр	
		9.1	Приземные светоаномалии	
4	9	9.1	Приземные светоаномалии	
5	10	10.1	Приземные электромагнитные поля	
6	11	11.1	Приземные шумовые поля	
		12.1	Приземные тепловые поля	13.1
7	12	12.1	Приземные тепловые поля	13.1
		13.1	Тепловые аномалии сушидолов	14.1
		13.2	Тепловые аномалии проточной воды	14.2
	13	13.3	Тепловые аномалии непроточной воды	14.3
		14.1	Тепловые аномалии грунтов	
		14.2	Донно-береговые тепловые аномалии для проточных объектов	
14.3	Донно-береговые тепловые аномалии для непроточных систем			
8	15	15.1	Реконструкция поверхности сушидола	
9	16	16.1	Изъятие площадей сушидола	
		16.2	Изъятие проточной воды	
		16.3	Изъятие непроточной воды	
	17	17.1	Изъятие грунтов	

туру визуальных образов считывания последствий. В свою очередь, слой или покрытие образуется объединением тем. Основываясь на ранее введенной классификации видов и сред воздействий, приведенная таблица иллюстрирует факторное наполнение инструментальной базы анализа. Заметим, что не все сочетания видов и сред имеют явное проявление. В пятом столбце таблицы указаны адреса тем возможных проявлений вторичных следствий, как, например, сорбирование поллютантов из зоны химического загрязнения атмосферы на подстилающую поверхность, включая сушидолы (тема 2.1), воду проточную (тема 2.2), воду непроточную (тема 2.3) и т. д.

Технологии построения зон влияний источников на среды диктуется схемой учета и считывания последствий. Так степень поражения приземного слоя атмосферы оценивается по концентрации загрязнителя в априорно построенных буферных зонах вокруг источника.

Пусть $su(1, 1, i)$ — картографическая модель собственно i -го источника загрязнения атмосферы, а $s(j, 1, 1, i, t)$, $j = 1, 2, \dots, k(1, 1, i)$ система сопрягаемых буферных зон считывания последствий, так что выполнено

$$\forall j, n \in \{1, \dots, k(1, 1, i)\}, j \neq n \Rightarrow s(j, 1, 1, i, t) \cap s(n, 1, 1, i, t) = 0. \quad (3)$$

Под последствиями (состоянием ОС) от воздействия $u(1, 1, i, t)$ понимается вектор-функция осредненных за t -й месяц концентраций в следующих буферных зонах, т. е.

$$cu(1, 1, i, t) = [cu(1, 1, 1, i, t), \dots, cu(k(1, 1, i), 1, 1, i, t)]^T, \quad (4)$$

где T — знак транспонирования.

В рассмотренном случае $u(1, 1, i, t)$ есть средняя за t -й месяц интенсивность выбросов в атмосферу. Заметим, что методика осредненной оценки свойств среды предопределяет вид и схему построения буферных зон $s(j, 1, 1, i, t)$ и не приспособлена для анализа пиковых ситуаций в момент аварий.

Методика конструирования среднемесячных зон состояния химической загрязненности атмосферы представляется наиболее сложной. Графические образы их несимметричны и зависят от вида t -месячной розы ветров. Буферные зоны средних значений интенсивности физических полей (радиационные, световые, электромагнитные $s(j, k, 1, i, t)$, $k = 4, 5$ почти не зависят от ветрового режима и имеют симметричный вид. Звуковые (шумовые) и тепловые поля сохраняют зависимость от розы ветров, поэтому методы буферизации влияния шума и тепла подобны случаю химической загрязненности атмосферы, но с меньшими размерами зон. На рис. 3 даны образы буферных зон исчисления прямых последствий в приземном пространстве. На рисунке выделены подмножества, образованные пересечением буферных зон разных источников. Очевидно осредненное состояние среды в местах наложений определяется композицией (в простейшем случае суммой) состояний образующих зон.

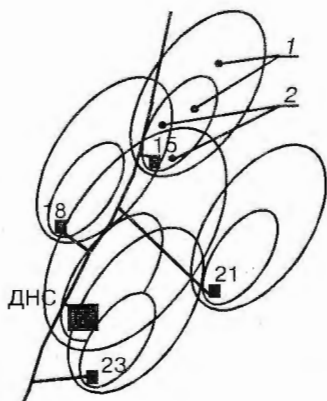


Рис. 3. Фрагмент карты-схемы химического загрязнения атмосферы.

1 — буферные зоны первичных последствий химической загрязненности в атмосфере; 2 — полигоны, образованные пересечением буферных зон от разных источников (конечные элементы).

Решением задачи буферизации зон считывания прямых следствий является карта-схема территории с выделенными неделимыми полигонами

$$\delta s(k_1, k_2, \langle j(i_1), i_1 \rangle \dots, \langle j(i_n), i_n \rangle, t) \quad (5)$$

и их адресной привязкой

$$\langle j(i_1), i_1 \rangle \dots, \langle j(i_n), i_n \rangle,$$

так называемая схема конечных элементов [Системный..., 1985; Флетчер, 1991]. Здесь $j(i_n)$ — номер буферной зоны i_n -источника, участвующего в образовании полигона. В примере (5) полигон $\delta s(*)$ образуется вследствие пересечения буферных зон от n -источников с номерами $\langle i_1, i_2, \dots, i_n \rangle$. Послойные карты-схемы конечных элементов территории образуют инструментальную основу многовариантного анализа состояния ОС при различных уровнях действий источников. Создание карт-схем конечных элементов и связанных с ними алгоритмов расчета есть наиболее сложная и трудоемкая часть проектирования эколого-технологической модели. Процедуру построения графических образов конечных элементов удается частично автоматизировать средствами ГИС [Трофимов, Панасюк, 1984]. Трудоемкость решения подобного типа задач определяется количеством исходных образующих буферных зон (3). Вычислительная трудоемкость анализа в рамках стандартных ГИ инструментальных средств [Халугин и др., 1992; Мартыненко и др., 1995] оказывается непреодолимой, если зоны строятся по нестационарной схеме с подвижными границами. Учитывая это обстоятельство, весь дальнейший анализ будет строиться в предположении стационарности графических образов вида (3) и (5).

Технология построения буферных зон поражения поверхности и подповерхностного слоя вследствие химического, радиоактивного и биологического загрязнений, а также их геометрические образы подобны друг другу и определяются в основе своей свойствами диффузии и миграции загрязнителей вместе с поверхностной влагой в направлении линий стока. Рисунок 4 иллюстрирует видовые образы зон поражений и правил их построения. При рисовании необходимо учитывать следующее.

Площади поверхностного поражения, а тем более подповерхностного слоя грунтов, в равной степени, как и скорость покрытия обозначенных зон загрязнения на порядок, а в грунтах на порядки меньше, чем зоны и скорости поражения в приземном слое атмосферы. Поэтому буферные зоны загрязнения поверхности и грунтов имеют в большей степени локальные проявления вокруг

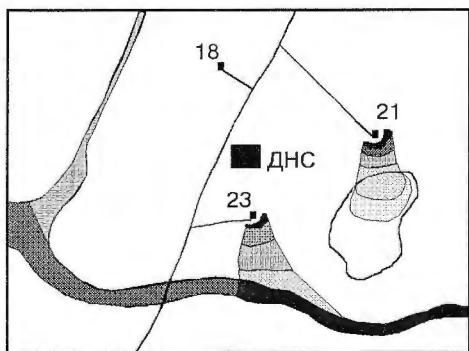


Рис. 4. Фрагмент карты-схемы поражения поверхности, подповерхностного слоя и водных объектов.

источников со смещенным центром зон в сторону стока.

Зоны поражения грунтов носят очаговый характер с явно выраженной диффузионной составляющей механизма миграции загрязнителя, так как динамика стока в грунтах существенно ниже, чем на поверхности. В то же время скорости биохимического распада загрязненных больших площадей поверхности существенно выше, чем в грунтах. На практике грунты накапливают загрязнители, а поверхность их активно трансформирует. В том случае, если источник поверхностного загрязнения располагается близко от водотока, на расстоянии прямого добега до воды или на водном объекте, то зоны исчисления прямых последствий должны включать буферы поражения водной среды.

Очевидно, что буферизация водотоков (разбивка на участки осреднения $s(j, 1, 2, i)$) определяется топологией гидросети рассматриваемой территории и в корне отличается от технологии построения буферных зон площадного загрязнения на поверхности и в воздухе. Скорость миграции и зоны распространения загрязнений в водной среде существенно выше, чем на поверхности грунтов, но даже в случае озерно-болотных комплексов с непроточной водой ореолы концентраций загрязнителя $s(j, 1, 3, i)$ могут иметь явно неравномерный характер, что иллюстрируется структурой буферных зон водных объектов (см. рис. 4). В зависимости от типа загрязнителя, сезонных условий, скорости перемешивания или тока водных масс уровни концентраций по мере удаления от источника различны. Например, нефтепродукты слабо растворяются в водной среде. Поэтому основные массы разлитых нефтей не образуют высококонцентрированные растворы, а сорбируются береговой полосой и осаждаются в донные (битуамизированные) отложения. Заметим, что загрязнение донно-бе-

реговой зоны, особенно вдоль водотока, почти всегда является следствием вторичных процессов передачи загрязнителя из одной среды (водной) в другую, что будем идентифицировать следующей записью

$$sv(jv, 1, k, \langle j(i_m), i_m \rangle),$$

где $k = 4, 5$, jv — номер вторичного буфера, $\langle j(i_m), i_m \rangle$ — адрес первичного буфера (источника).

Площадное загрязнение поверхности суши и зеркала воды так же является следствием вторичных процессов сорбирования поллютантов из атмосферы на подстилающую поверхность $sv(jv, 1, k, \langle j(i_m), i_m \rangle)$. Здесь $k = 2, 3, 6$. Можно говорить и об обратном влиянии буферных зон радиоактивного загрязнения почво-грунтов на приземное пространство добавкой радиационного фона, т. е. $sv(jv, 2, 1, \langle j(i_m), i_m \rangle)$.

Всякие работы, связанные с реконструкцией поверхности вследствие возведения насыпей, дамб, гидронамывов, отвалов, образования карьеров ведут к перераспределению поверхностной и почво-грунтовой влаги. Явные проявления последнего в образовании зон подтопления и осушения. Для исчисления последствий удобно использовать обрисовки буферных аномальных зон с указанием перепадов уровней грунтовой влаги в местах сооружений.

Исчисление абиотических последствий от прямых воздействий по изъятию ресурсов производится в фактурных данных землеотводов, водозаборов, объемов изъятий грунтов (строительных материалов) с указанием на карте местоположения и площадных образов источников воздействий.

Методы оценки уровня нарушений экологических балансов недр в результате интенсивного освоения нефтяных месторождений по схеме вытеснения нефти водой, а также вследствие закачки буровых растворов и иных загрязнителей в пласты плохо изучены. В настоящее время удастся оценивать лишь объемы воздействий и местоположение источников, что также подлежит идентификации на карте-схеме территории.

Формированием полигональных карт-схем конечных элементов с совмещением образов буферных зон прямых и вторичных следствий заканчивается второй этап работ, согласно аналитической схемы (см. рис. 2). Результатом построений выступают 17 карт-схем полигонов, соответствующих табличным покрытиям.

Методы построения вектора абиотического состояния ОС

Методика решения поставленной задачи иллюстрируется рис. 5. Согласно структурной схе-

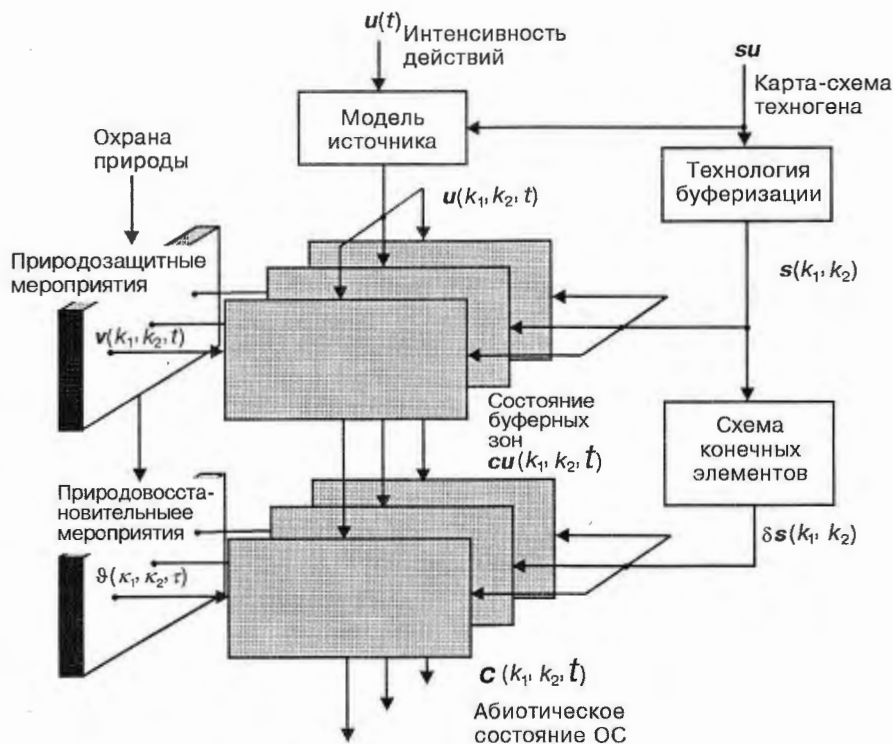


Рис. 5. Структура восстановления вектора состояния ОС.

мы, полный вектор состояния ОС имеет блочное построение $c(k_1, k_2, t)$, $k_1 = 1, 9$, $k_2 = 1, 8$. Блоки описывают состояние среды по темам, которые затем укрупняются в блоки покрытий $c(kp, t)$, где $kp = \{1, 2, \dots, 17\}$ — номер покрытия. Введение блочной структуры вектора состояний по покрытиям представляется важным, так как процессы моделирования эволюции состояния ОС по покрытиям либо не связаны между собой, либо имеют однонаправленное влияние, а это значит, что процедура вычислений может строиться последовательно во времени с финальным объединением результатов счета.

Согласно рис. 5, вся процедура счета может быть разделена на три этапа.

Первый этап — вычисление блочной вектор-функции состояния источников воздействий по темам $u(k_1, k_2, t)$. Введение регулируемых компенсационных уровней от природозащитных мероприятий

$$uv(k_1, k_2, t) = (I - V(k_1, k_2, t)) \cdot u(k_1, k_2, t).$$

Формирование укрупненных блоков состояния источников воздействий по покрытиям — $uv(kp, t)$.

Второй этап — вычисление эволюции состояния сред в буферных зонах покрытий $cu(kp, t)$.

Третий этап — вычисление итоговых векторов состояния полигонов покрытий на основе суммирования состояний образующих буферных зон с учетом природовосстановительных мероприятий $v(kp, t)$

$$c(kp, t) = \sum_{j \in J(kp)} cu(j, t) - v(kp, t),$$

где $J(kp)$ — индексное множество адресов буферных зон, образующих полигоны kp -го покрытия.

Остановимся подробнее на особенностях решения задач второго этапа. Принятая методика анализа осредненного состояния сред как по пространственным переменным, так и по времени требует сопоставления временных шкал действия источника возмущения, времени реакции системы на отработку возмущения, собственно временного интервала осреднения. Учитывая высокую скорость „проявления“ возмущений в приземном пространстве, оценка среднемесячного состояния сред в соответствующих зонах может вычисляться по выражению вида:

$$cu(j, 1, i, t) = d(j, 1, i) \cdot uv(j, 1, i, t),$$

где

$$d(j, 1, i) = [d(1, j, 1, i), \dots, d(k(j, 1, i), j, 1, i)]^T$$

— вектор статической передачи возмущения от

i -го источника k -вида в соответствующие буферные зоны, $k(j, 1, i)$ — количество зон.

Динамика проявления возмущения i -го источника на поверхности и в подповерхностном грунтовом слое оказывается более медленной, поэтому передачи такого типа могут имитироваться графиками монотонных переходных процессов, удовлетворяющими решению системы дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{aligned} T(j, k_1, k_2, i) \frac{dcu(j, k_1, k_2, i, t)}{dt} = \\ = -cu(j, k_1, k_2, i, t) + \\ + d(j, k_1, k_2, i) \cdot cu(j-1, k_1, k_2, i, t), \end{aligned}$$

где $T(j, k_1, k_2, i)$ — параметр эквивалентного „запаздывания“ выходной реакции j -го буфера на возмущение $j-1$ зоны i -го источника, $d(j, k_1, k_2, i)$ — статический коэффициент передачи, $cu(0, k_1, k_2, i, t) = uv(k_1, k_2, i, t)$.

Сложность анализа обуславливается большой размерностью вектора состояния в сочетании с разнотемповостью динамических реакций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная работа посвящена выработке концептуальных основ построения и применения геоинформационных образов эколого-тех-

нологических моделей территорий нефтяных месторождений. Создание таких систем закладывает инструментальную основу решения задачи комплексного нормирования техногенной нагрузки с оценкой и прогнозом полного вектора состояния ОС.

Литература

- Заславский Б. Г., Полузтков Р. А. Управление экологическими системами. М., Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1988, 296 с.
- Мартыненко А. И., Бугаевский Ю. Л., Шибалов С. Н. и др. Основы ГИС: теория и практика. WinGis — руководство пользователя. М., Инженерная экология, 1995, 232 с.
- Моделирование процессов в природно-экономических системах / Под ред. В. И. Гурмана. Новосибирск, Наука, 1982, 175 с.
- Системный подход к управлению водными ресурсами / Под ред. А. Бисваса. Пер. с англ. Н. Н. Моисеева. М., Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985, 392 с.
- Трофимов А. М., Панасюк М. В. Геоинформационные системы и проблемы управления окружающей средой. Казань, Изд-во Казанского ун-та, 1984, 142 с.
- Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей (пер. с англ.). М., Мир, 1991, 504 с.
- Халугин Е. И., Жалковский Е. А., Жданов Н. Д. Цифровые карты / Под ред. Е. И. Халгурина. М., Недра, 1992, 419 с.

Поступила в редакцию
6 февраля 1998 г.