

УДК 004.891

DOI: 10.22213/2410-9304-2024-2-41-48

Построение информационно-логической модели экологического мониторинга природно-технических систем

М. М. Горохов, доктор физико-математических наук, профессор, ФКУ НИИ ФСИН России, Москва; профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

П. М. Кургузкин, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Экологический мониторинг является основным источником информации о текущем состоянии окружающей природной среды и его изменениях, связанных с техногенным и антропогенным воздействием. Система экологического мониторинга техногенных объектов повышенной опасности включает в себя наблюдения за состоянием воздушной и водной сред, почвенного снегового покрова, а также мониторинг растительного и животного мира, включая биотестирование и биоиндикацию. Примером комплексного подхода к организации системы наблюдений за состоянием окружающей природной среды может служить экологический мониторинг в зоне влияния объектов по уничтожению химического оружия.

Результаты мониторинговой деятельности представляют собой числовые массивы количественных показателей состояния окружающей среды, относящиеся к конкретным объектам мониторинга: концентрации загрязняющих веществ в природных средах (воздух, вода, почва); показатели состояния растительного и животного мира; результаты биоиндикации.

Сложности комплексного анализа результатов мониторинга связаны, прежде всего, с разнообразием структуры и количества показателей для отдельных природных сред, различной размерностью показателей, а также разреженностью матриц массивов данных. С учетом изложенного актуальным является разработка способов хранения и актуализации массивов данных экологического мониторинга, а также алгоритмов оперативного анализа результатов мониторинговых исследований.

В работе представлена информационно-логическая модель, позволяющая формировать базы хранения и пополнения данных о состоянии природно-технической системы. Разработанная информационно-логическая модель ориентирована на построение OLAP-кубов для последующего анализа данных экологического мониторинга. Представленная информационно-логическая модель является основным этапом построения системы хранения, актуализации и анализа результатов экологического мониторинга ПТС. Систематизация и структурирование показателей природных сред и экосистем позволяет сформулировать ряд практических задач по оценке и прогнозированию состояния окружающей среды при наличии техногенного воздействия.

Ключевые слова: природно-техническая система, экологический мониторинг, наземные экосистемы, водные экосистемы, биотестирование, биоиндикация, информационно-логическая модель, отношение, сущность, связь.

Введение

Актуальность исследования. Экологический мониторинг является основным источником информации о текущем состоянии окружающей природной среды и его изменениях, связанных с техногенным и антропогенным воздействием. Система экологического мониторинга техногенных объектов повышенной опасности (атомные электростанции, объекты по уничтожению вооружений и военной техники, боевых отравляющих веществ, особо опасных отходов и т. д.) включает в себя наблюдения за состоянием воздушной и водной сред, почвенного снегового покрова, а также мониторинг растительного и животного мира [1, 2]. Примером комплексного подхода к организации системы наблюдений за состоянием окружающей природной среды может служить экологический мониторинг в зоне влияния объектов по уничтожению химического оружия (ОУХО).

Результаты мониторинговой деятельности представляют собой числовые массивы количественных показателей состояния окружающей среды, относящиеся к конкретным объектам мониторинга: концентрации загрязняющих веществ в природных средах (воздух, вода, почва); показатели состояния растительного и животного мира; результаты биоиндикации. С учетом периодичности наблюдений и длительности периода функционирования ОУХО «информационный потенциал» накопленного объема данных весьма велик.

Комплексный характер результатов мониторинга подразумевает комплексный подход к оценке и прогнозированию состояния окружающей природной среды. Вместе с тем практический опыт экологического мониторинга объектов уничтожения химического оружия, обобщенный в монографии [3], показывает, что подобная оценка, как правило, ограничивается

сравнением фактических концентраций маркерных поллютантов в природных средах с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК) или определением различных индексов загрязнения. В подобной ситуации значительный объем информации, содержащейся в массивах данных мониторинга, находится за рамками практического использования.

Следует отметить, что каждый показатель, характеризующий состояние окружающей природной среды, например концентрация отдельного поллютанта, является скалярным элементом множества данных экологического мониторинга. Можно утверждать, что полная и информативная оценка экологического состояния территории может быть достигнута лишь при учете влияния («вклада») всех элементов указанного множества.

Сложности комплексного анализа результатов мониторинга связаны, прежде всего, с разнообразием структуры и количества показателей для отдельных природных сред, различной размерностью этих показателей, а также разряженностью матриц массивов данных. Последняя является следствием ограниченной чувствительности лабораторных методов анализа, особенно при малых концентрациях отдельных поллютантов, а также результатом изменения числа точек пробоотбора и его периодичности в процессе мониторинговой деятельности.

С учетом изложенного, актуальным является разработка способов хранения и актуализации массивов данных экологического мониторинга, также алгоритмов оперативного анализа результатов мониторинговых исследований.

Объект исследования. Вариант построения информационно-логической баз данных экологического мониторинга природно-технической системы (ПТС) [4, 5] описан на примере объекта по уничтожению химического оружия в г. Камбарке Удмуртской Республики и окружающей его территории в пределах зоны защитных мероприятий (Постановление Правительства РФ от 5 декабря 2005 г. № 734).

Функциональным назначением объекта в г. Камбарке с 1953 года являлось хранение боевого отравляющего вещества – люизита. Для этого были оборудованы пять капитальных хранилищ, в каждом из которых размещены 16 железнодорожных цистерн объемом примерно 50 м³ (80 т) каждая, снятых с колесных тележек. Общее количество люизита к моменту начала функционирования ОУХО (март 2006 г.) составило 6349 т.

Территория рассматриваемой в качестве примера локальной ПТС расположена в левобережье реки Камы и представляет собой пологохолмистую слаборасчлененную равнину [6]. В морфологической структуре ландшафта большую долю составляют группы низинных и пойменных местоположений. Почвы подзолистые, дерново-подзолистые, встречаются подзолисто-болотные и торфяно-болотные. Около 70 % территории занято природными экосистемами подтаежной зоны и интразональных пойменных ландшафтов.

Оставшаяся часть представлена антропогенными селитебно-промышленными экосистемами г. Камбарки с хозяйственно освоенными пригородными участками и транспортной инфраструктурой, а также Камбарским водохранилищем. Среди природных экосистем наибольшую площадь в северной части ЗЗМ занимают участки сосновых и елово-березовых лесов, в меньшей степени – осиновых и липовых [7].

Для уничтожения люизита использовалась технология щелочного гидролиза. Смешивание и детоксикация происходили в струйном реакторе, куда непрерывно подавался люизит и раствор щелочи.

В процессе гидролиза люизит разлагался с образованием ацетилена. Последний сжигался на установке термообезвреживания, а жидкая реакционная масса высушивалась с образованием гранулированных сухих солей, которые отправлялись на переработку.

С учетом применяемой технологии основным источником негативного воздействия ОУХО на окружающую среду являются выбросы в атмосферу, поскольку образующиеся в объекте сточные воды после предварительной очистки поступают на городские очистные сооружения, а оборудованное хранилище твердых отходов исключает их контакт с окружающей средой.

В 2004 и 2005 годах проведены рекогносцировочные и фоновые обследования территории в зоне влияния ОУХО. Комплексный экологический мониторинг проводится с 2006 года по настоящее время.

Целью настоящего исследования является создание цифровой модели экологического мониторинга природно-технических систем.

Предметом исследования является построение информационно-логической модели данных для оценки экологического состояния природно-технических систем с учетом климатических особенностей территории.

Информационно-логическая модель для формирования баз данных экологического мониторинга

Предварительная формализация параметров природно-технической системы была проведена в работе [8]. В настоящем исследовании представим модель «Сущность-связь» в виде совокупности взаимосвязанных *отношений* [9] с целью последующего перехода к матричной форме записи для проведения OLAP-анализа [10] данных экологического мониторинга ПТС.

Для реализации этого подхода к анализу данных определим отношение, формируемое свойствами технической системы по следующей схеме:

$$t\text{Technical System} (\text{Key Technical System}, \text{Technical System}, x_1, y_1, z_1), \quad (1)$$

где *Technical System* – наименование технической системы (отдельного техногенного объекта), идентифицируемой уникальным ключом *Key Technical System*. Центр техногенного объекта имеет географические координаты (x_1, y_1, z_1) : широта; долгота и высота над уровнем моря соответственно.

Зона защитных мероприятий (ЗЗМ) вокруг технической системы (ОУХО) вписана в квадрат с размером стороны 15 км. Внутри указанного квадрата размещаются пункты мониторинга, включая точки отбора проб. Введем локальную прямоугольную систему координат в пространстве зоны защитных мероприятий x_2, y_2, z_2 с осями абсцисс, ординат и аппликата соответственно. Начало координат на плоскости (x_2, y_2) разместим в нижнем левом углу квадрата. Координата z_2 на оси аппликата соответствует высоте точки отбора проб над уровнем моря. Саму точку отбора проб представим в виде отношения, являющегося проекцией *tTechnical System*:

$$t\text{Pixel} (\text{Key Technical System}, \text{Key Pixel}, x_2, y_2, z_2). \quad (2)$$

Здесь атрибут *Key Technical System* определяет принадлежность к конкретной технической системе; *Key Pixel* идентифицирует точку пробоотбора.

Мониторинг загрязнения природных сред

Для идентификации природных сред, в которых проводится мониторинг, введем отношение *tEnvironment* вида

$$t\text{Environment} (\text{KeyEnvironment}, \text{Environment}), \quad (3)$$

где атрибут *KeyEnvironment* – индекс природной среды, *Environment* – наименование природной среды, принимает одно из возможных значений: «Вода»; «Воздух»; «Донные отложения»; «Почва»; «Снег»; «Растительный мир».

Включение в состав атрибута *Environment* элемента «Растительный мир» связано с необходимостью в ряде случаев определять концентрации загрязняющих веществ не только в воде, воздухе и почве, но и на ступенях трофических цепочек. При этом представители растительного мира, выбранные для контроля содержания поллютантов, в данном контексте рассматриваются как самостоятельные объекты окружающей среды или отдельный вид природной среды (*Environment*).

С целью описания системы отбора проб для отдельной технической системы введем множество *tPixel Environment*, являющееся соединением с (3) и проекцией (2):

$$t\text{Pixel Environment} (\text{Key Technical System}, \text{Key Pixel}, \text{Key Environment}, \text{Environment}, t\text{Year}), \quad (4)$$

где атрибут *tYear* – год в четырехзначном формате, например 2006, 2007, 2008 и т. д.

Для определения состояния (загрязнения) природных сред в динамике введем отношение *tEnvironment Substance*, являющееся проекцией (4):

$$t\text{Environment Substance} (\text{Key Technical System}, \text{Key Pixel}, \text{Key Environment}, t\text{Year}, \text{Counter}, t\text{Substance}). \quad (5)$$

Здесь атрибут *Counter* определяет количество сеансов пробоотбора в год, а *tSubstance* является подмножеством со значениями содержания веществ в пробах и других количественных показателей (pH, Cl-ион, As, Pb, Cr, Ni, Sr, Zn, Cu, Co, V, Fe₂O₃, MnO, *Chroma*, *Smell*, *Transparency* и т. д.). Большая часть показателей подмножества *tSubstance* имеют размерность единицы веса на объем или единицы веса на вес пробы (например, мг/дм³ или мг/кг), то есть определяет концентрацию вещества в природной среде. Некоторые показатели, например цветность, запах, прозрачность (для воды поверхностной), могут иметь другие единицы измерения: цветность – градусы; запах – баллы; прозрачность – сантиметры. Подобные (органолептические) характеристики актуальны не для всех природных сред, поэтому в случае отсутствия в перечне определяемых показателей загрязнения их значения в кортежах будут соответствовать *null*.

На последующих этапах построения цифровой модели мониторинга для формирования OLAP-куба будем использовать следующие независимые переменные, определяющие природно-техническую систему: *техническая система*; *точка отбора проб*; *природная среда*; *время*. В качестве зависимой переменной выберем *концентрация содержащегося в пробах конкретного вещества – загрязнителя*.

Биологический мониторинг

Наряду с описанной выше идентификацией результатов мониторинга загрязнения природных сред, аналогичная процедура используется и для результатов биологического мониторинга. Биологический мониторинг включает в себя биоиндикацию и биотестирование [11, 12]. Биоиндикация проводится на специальных площадках в пределах, характерных (типовых) для исследуемой территории экосистем. В общем случае для оценки состояния растительного и животного мира выбирают типовые экосистемы суши (наземные экосистемы) и типовые водные экосистемы. В пределах мониторинговых площадок периодически фиксируются количественные показатели определенных видов растений и животных, выбранных в качестве биоиндикаторов. В качестве примера можно привести апимониторинг [13], где в качестве биоиндикаторов используют высокоорганизованных насекомых – пчел. Одним из перспективных направлений биомониторинга является создание так называемых идентификационных экологических полигонов [14].

Для идентификации наземных экосистем определим отношения $tCover$ и $tSoil$ соответственно:

$$tCover (Key Cover, Cover), \quad (6)$$

$$tSoil (Key Soil, Soil). \quad (7)$$

Применительно к рассматриваемой ПТС [15] переменная $Cover$ принимает одно из следующих значений: «Дубравы»; «Ельники»; «Сосняки», а $Soil$ определяет вид почвы: «Дерново-сильно-подзолистые почвы»; «Торфянисто-подзолистые почвы» и т. д. Таким образом, в рассматриваемом примере типовая наземная экосистема однозначно идентифицируется при указании двух переменных: $Cover$ и $Soil$, например «Сосняки» на «торфянисто-подзолистых почвах».

Далее определим отношение $t Terrestrial Ecosystems$, являющееся проекцией (2) и соединением с (6) и (7) со схемой вида:

$$t Terrestrial Ecosystems (Key Technical System, Key Pixel, Key Cover, Key Soil, tYear). \quad (8)$$

По аналогии с (5) для определения реакции (изменения показателей) наземной экосистемы на негативное воздействие со стороны технической системы (техногенного объекта) введем отношение $t Terrestrial Ecosystems Indicator$, являющееся проекцией (8) и соединением с (6) и (7):

$$t Terrestrial Ecosystems Indicator (Key Technical System, Key Pixel, Key Cover, Key Soil, tYear, Counter, tIndicator), \quad (9)$$

где подмножество $tIndicator$ предназначено для хранения результатов биомониторинга в виде количественных показателей (i_1, i_2, \dots, i_{12}). В таблице в качестве примера приведен перечень

организмов-биоиндикаторов и их количественных показателей, используемых для оценки состояния наземных экосистем по результатам биологического мониторинга в зоне влияния ОУХО в г. Камбарке Удмуртской Республики.

Количественные показатели состояния растительных экосистем

Quantitative indicators of the state of plant ecosystems

i	Индикационный показатель
1	Число видов сосудистых растений
2	Коэффициент состояния древостоя (К)
3	Среднее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса
4	Индекс синантропизации флоры сосудистых растений (I_S)
5	Число видов лишенофлоры
6	Среднее проективное покрытие эпифитных лишайников (стволы сосен, высота 150 см)
7	Индекс соотношения жизненных форм эпифитных лишайников (ОЧА)
8	Число видов дождевых червей семейства Lumbricidae
9	Среднесезонная биомасса семейства Lumbricidae
10	Среднесезонная доля численности семейства Lumbricidae от общей численности почвенной мезофауны
11	Активность почвенной инвертазы
12	Активность почвенной каталазы

Как следует из таблицы, характеристика текущего состояния наземных экосистем основана на использовании широкого круга биоиндикаторов. При этом единицы измерения их показателей могут изменяться от простейших: безразмерные числа, баллы, проценты (показатели 1–6 и 10 в таблице 1) до весьма сложных: мг глюкозы за 24 часа на грамм почвы (показатель 11) или см³ кислорода на грамм почвы (показатель 12).

Для идентификации водных экосистем определим множество $t Aquatic$:

$$t Aquatic (Key Aquatic, Aquatic). \quad (10)$$

Переменная $Aquatic$ принимает одно из двух значений [«Водоток», «Водоём»]. Для рассматриваемой ПТС водные экосистемы представляют собой пойменные озера (водоемы) и лотические мелководья р. Буй (водотоки).

Далее определим отношение $t Aquatic Ecosystems$, являющееся проекцией (2) и соединением с (10) со схемой вида

$t Aquatic Ecosystems$ (Key Technical System, Key Pixel, Key Aquatic, $tYear$). (11)

Для оценки реакции водных экосистем на негативное воздействие техногенного объекта введем отношение $t Aquatic Ecosystems Indicator$, являющееся проекцией (11):

$t Aquatic Ecosystems Indicator$ (Key Technical System, Key Pixel, Key Aquatic, $tYear$, Counter, $tIndicator$). (12)

Здесь подмножество $tIndicator$ предназначено для хранения результатов биомониторинга в виде количественных показателей (i_1, i_2, \dots, i_7). Для оценки состояния водных экосистем в рассматриваемом примере используются 7 показателей, так же как и в предыдущем случае, характеризующихся разнообразием используемых биоиндикаторов и различием единиц измерения.

Биотестирование является методом лабораторной оценки токсичности образцов природных сред по реакциям (гибель или изменение показателей жизнедеятельности) подопытных организмов. Количественные показатели реакции организмов, используемых в качестве тест-объектов, на негативное воздействие (например, загрязнение среды обитания) используются для оценки интенсивности этого воздействия.

В рамках экологического мониторинга ОУХО в г. Камбарке анализ токсичности проб проводили с помощью пяти аттестованных методик биотестирования:

– ФР. 1.39.2001.00283. «Определение токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний»;

– ФР. 1.39.2001.00282. «Определение токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний»;

– ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04, 16.1:2.3:3.7-04 «Определение токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла»;

– ФР. 1.31.200.00735. «Методика определения токсичности почвы и донных отложений по хемотаксической реакции инфузорий»;

– ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11 - 04, 16.1:2.3:3.8 - 04. «Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм».

Использование этих методик позволяет оценить токсичность проб при помощи тест-объектов («дафнии», «цериодафнии», «инфузории», «хлорелла», «бактерии»), относящихся к разным систематическим группам, что значительно повышает информативность результатов биотестирования.

Для формализации сущностей бимониторинга введем отношение вида

$t Test Object$ (Key Test Object, Test Object, Index Toxicity). (13)

Здесь переменная $Test Object$ принимает одно из следующих значений: «Инфузории»; «Дафнии»; «Водоросль хлорелла»; «Люминесцентные бактерии».

Переменная $Index Toxicity$ представляет собой показатель токсичности среды по отношению к конкретному тест-объекту.

Далее определим отношение $t Pixel Test Object$, являющееся проекцией (2) и соединением с (13) со схемой вида

$t Pixel Test Object$ (Key Technical System, Key Pixel, $tYear$, Counter, Key Test Object, Test Object, Index Toxicity). (14)

Важным элементом комплексного экологического мониторинга ПТС является учет климатических факторов. Так, например, преимущественное направление ветров полностью определяет вектор перемещения выбросов в атмосфере [16].

Концентрация поступивших из атмосферного воздуха на поверхность суши и водную поверхность примесей, в свою очередь, зависит от интенсивности атмосферных осадков.

Для учета климатических факторов введем отношения вида

$tPixel Climate$ (Key Technical System, Key Pixel, $tYear$, Counter, Temperatures, Precipitation, $tWindrose$), (15)

где $Temperatures$ – температура, $Precipitation$ – осадки, подмножество $tWindrose$ («Север», «Северо-Восток», «Восток», «Юго-Восток», «Юг», «Юго-Запад», «Запад», «Северо-Запад») характеризует повторяемость ветров в процентах по восьми румбовой шкале.

Информационно-логическая модель, представленная отношениями (1)–(15), является основой для формирования базы хранения и пополнения данных о состоянии природно-технической системы. Модель ориентирована на построение OLAP-кубов для последующего анализа данных экологического мониторинга природно-технических систем.

Заключение

Разработанная информационно-логическая модель является важным этапом построения цифрового аналога экологического мониторинга ПТС. Систематизация и структурирование показателей природных сред и экосистем позволяют также сформулировать ряд практических задач по оценке и прогнозированию состояния окружающей среды при наличии техногенного воздействия.

1. Анализ наличия корреляции и снижение размерности массивов данных экологического мониторинга, построение интегральных показателей загрязнения природных сред.

2. Анализ изменения во времени концентраций маркерных веществ и интегральных показателей.

3. Оценка связи между показателями загрязнения природных сред и показателями состояния растительного и животного мира (в составе отдельных экосистем).

4. Определение критических значений интегральных показателей загрязнения природных сред по уровню негативных изменений в экосистемах.

5. Прогнозирование изменения экологического состояния территории при заданных уровнях техногенной и антропогенной нагрузки.

Библиографические ссылки

1. Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда: монография / Ж. Ю. Кочетова, Н. В. Маслова, О. В. Базарский. М. : ИНФРА-М, 2022. 266 с.

2. Экологический мониторинг окружающей среды на предприятиях и в организациях Государственной корпорации «Росатом». URL: <http://www.specgeo.ru/9f103b42700f2647a10bee33>.

3. Комплексный экологический мониторинг в районах расположения опасных промышленных объектов, системы экологического мониторинга объектов по уничтожению химического оружия и атомных электростанций: монография / под общ. ред. проф. В. Н. Чуписа. М. : Научная книга, 2014. 528 с.

4. Зенкевич М. Ю., Прокофьев В. Е., Янович К. В. Управляемая природно-техническая система как основа альтернативной стратегии охраны окружающей среды // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № 2 (14). С. 131–139.

5. Суздалева А. Л. Создание управляемых природно-технических систем: монография. М.: Энергия, 2016. 160 с.

6. Атлас Удмуртской Республики : монография / под ред. И. И. Рысина. М. : Феория, 2016. 282 с.

7. Биологический мониторинг в зоне влияния Камбарского завода по уничтожению химического оружия: опыт организации и реализации : монография / под ред. Б. Г. Котегова. Ижевск : Удмуртский университет, 2013. 178 с.

8. Горохов М. М., Кургузкин П. М. Формализация характеристик природно-технической системы для применения системного анализа ее экологического состояния // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 4. С 47–52. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-47-52.

9. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. М. : Диалектика, 2019. 1328 с.

10. Tardío R., Maté A., Trujillo J. A new big data benchmark for olap cube design using data pre-aggregation techniques // Applied Sciences (Switzerland). 2020. Т. 10, № 23. С. 1–18.

11. Карташев А. Г. Биоиндикационные методы контроля окружающей среды : учеб. пособие для вузов. М. : Юрайт, 2024. 138 с.

12. Терехова В. А. Биотестирование экотоксичности почв при химическом загрязнении: современные подходы к интеграции для оценки экологического состояния (обзор) // Почвоведение. 2022. № 5. С. 586–599.

13. Биологический мониторинг в зоне влияния Камбарского завода по уничтожению химического оружия: опыт организации и реализации : монография / под ред. Б. Г. Котегова. Ижевск : Удмуртский университет, 2013. 178 с.

14. Апимониторинг химического оружия : монография / Т. Г. Габричидзе, Г. В. Ломаев, Н. В. Бондарева, Н. В. Козловская / под ред. проф. Г. В. Ломаева. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2008. 176 с.

15. Янников И. М., Телегина М. В., Кузнецов Н. П. Применение нейронных сетей для обработки данных биомониторинга загрязнений // Экология промышленного производства. 2019. № 4. С. 41–44.

16. Комплексный экологический мониторинг в районах расположения опасных промышленных объектов, системы экологического мониторинга объектов по уничтожению химического оружия и атомных электростанций : монография / под общ. ред. проф. В. Н. Чуписа. М. : Научная книга, 2014. 528 с.

References

1. Kochetova J.Yu., Maslova N.V., Bazarsky O.V. *Aviacionno-raketnye klasteri i okruzhajushhaja sreda: monografija* [Aviation missile clusters and the environment: monograph]. Moscow: INFRA-M Publ., 2022. 266 p. (in Russ.).

2. *Jekologicheskij monitoring okruzhajushhej sredy na predpriyatijah i v orgaizacijah Gosudarstvennoj korporacii «Rosatom»* (in Russ.). [Environmental monitoring at enterprises and organizations of the State Corporation Rosatom]. Available at: <http://www.specgeo.ru/9f103b42700f2647a10bee33>.

3. *Kompleksnyj jekologicheskij monitoring v rajonah raspolozhenija opasnyh promyshlennyh ob#ektorov, sistemy jekologicheskogo monitoringa ob#ektorov po unichtozheniju himicheskogo oruzhija i atomnyh jelektrostanici: monografija* [Comprehensive environmental monitoring in areas where hazardous industrial facilities are located, environmental monitoring systems for chemical weapons destruction facilities and nuclear power plants: mono-

graph]. Moscow: Scientific book, 2014. 528 p. (in Russ.).

4. Zenkevich M. Yu., Prokofiev V. E., Yanovich K. V. [Managed natural and technical system as the basis of an alternative environmental protection strategy]. *Aktual'nye problemy voenno-nauchnyh issledovanij*. 2021. No. 2. Pp. 131-139 (in Russ.).

5. Suzdaleva A. L. *Sozdanie upravlyaemyh prirodno-tehnicheskikh sistem: monografija* [Creation of controlled natural-technical systems: monograph/A. L. Suzdaleva]. Moscow: Energy, 2016. 160 p. (in Russ.).

6. *Atlas Udmurtskoj Respubliki: monografija* [Atlas of the Udmurt Republic: monograph], ed. I. I. Rysin. Moscow: Feoria, 2016. 282 p. (in Russ.).

7. *Biologicheskij monitoring v zone vlijanija Kambarского завода по уничтожению химического оружия: опыт организации и реализации: monografija* [Biological monitoring in the zone of influence of the Kambara plant for the destruction of chemical weapons: experience in organization and implementation: monograph], ed. B. G. Kotegova. Izhevsk: Udmurt University, 2013. 178 p. (in Russ.).

8. Gorokhov M.M., Kurguzkin P.M. [Formalization of the characteristics of the natural-technical system for the application of a system analysis of its ecological state]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023. Vol. 21, no. 4. Pp. 47-52 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-47-52.

9. Date K.J. *Vvedenie v sistemy baz dannyh* [Introduction to database systems]. Moscow: Dialectics, 2019. 1328 p. (in Russ.).

10. Tardío R., Maté A., Trujillo J. A new big data benchmark for olap cube design using data pre-aggregation techniques. In *Applied Sciences* (Switzerland). 2020. T. 10. № 23. S. 1-18.

11. Kartashev A.G. *Bioindikacionnye metody kontrolya okruzhajushhej sredy : ucheb. posobie dlja vuzov* [Bioindicational methods of environmental control: a textbook for universities]. Moscow: Publishing House Yurayt, 2024. 138 p. (in Russ.).

12. Terekhova V.A. [Biotesting of soil ecotoxicity under chemical pollution: modern approaches to integration to assess the ecological state (review)]. *Pochvovedenie*. 2022. No. 5. Pp. 586-599 (in Russ.).

13. *Biologicheskij monitoring v zone vlijanija Kambarского завода по уничтожению химического оружия: опыт организации и реализации : monografija* [Biological monitoring in the zone of influence of the Kambara plant for the destruction of chemical weapons: experience in organization and implementation: monograph], ed. B.G. Kotegova. Izhevsk: Udmurt University, 2013. 178 p. (in Russ.).

14. Gabrichidze T.G., Lomaev G.V., Bondareva N.V., Kozlovskaya N.V. *Apimonitoring himicheskogo oruzhija : monografija* [Apimonitoring of chemical weapons: monograph], ed. Prof. G.V. Lomaeva. Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2008. 176 p. (in Russ.).

15. Yannikov I.M., Telegina M.V., Kuznetsov N.P. [Application of neural networks for processing data of biomonitoring of pollution]. *Jekologija promyshlennogo proizvodstva*. 2019. No. 4. Pp. 41-44 (in Russ.).

16. *Kompleksnyj jekologicheskij monitoring v rajonah raspolozhenija opasnyh promyshlennyh ob#ektov, sistemy jekologicheskogo monitoringa ob#ektov po уничтожению химического оружия i atomnyh jelektrostantsii : monografija* [Comprehensive environmental monitoring in areas where hazardous industrial facilities are located, environmental monitoring systems for chemical weapons destruction facilities and nuclear power plants: monograph], under the general ed. Prof. V.N. Chupisa. Moscow: Nauchnaja kniga, 2014. 528 p. (in Russ.).

* * *

Information and Logic Model Development Natural Engineering System Environmental Monitoring

M. M. Gorokhov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia; Federal State Institution Research Institute of the Federal Penitentiary Service Russia, Moscow, Russia

P. M. Kurguzkin, Postgraduate, KalashnikovIzhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

Environmental monitoring is the main source of information on the current environment state and its changes associated with man-made and anthropogenic impact. The system of environmental monitoring of increased danger technogenic objects includes state observations of air and water environments, soil snow cover, as well as monitoring of flora and fauna, including biotesting and bioindication. An example of an integrated approach to organizing the environment conditionobserving system is environmental monitoring in the zone of chemical weapons destruction facilities.

The results of monitoring activities are numerical arrays of quantitative indicators of the environment state related to specific monitoring objects: concentrations of pollutants in natural environments (air, water, and soil); indicators of the state of flora and fauna; bioindication results.

The complexity of the monitoring result integrated analysis is primarily associated with the diversity of the structure and number of indicators for individual natural environments, different dimensions of indicators, as well as the sparseness of the matrices of data arrays.

Taking into account the above-mentioned information, it is relevant to develop methods for storing and updating environmental monitoring data arrays, as well as algorithms for operational analysis of the results of monitoring studies.

The paper presents an information and logical model that allows to form databases for storing and replenishing data on the state of the natural engineering system. The developed information and logic model is focused on building OLAP cubes for subsequent analysis of environmental monitoring data.

The presented information and logical model is the main stage of developing a system for storing, updating and analyzing the results of environmental monitoring of the TCP. Systematization and structuring of indicators of natural environments and ecosystems makes it possible to formulate a number of practical tasks for assessing and predicting the state of the environment in the presence of technogenic impact.

Keywords: natural and technical system, environmental monitoring, terrestrial ecosystems, aquatic ecosystems, biotesting, bioindication, information and logic model, relation, essence, communication.

Получено: 26.01.24

Образец цитирования

Горохов М. М., Кургузкин П. М. Построение информационно-логической модели экологического мониторинга природно-технических систем // Интеллектуальные системы в производстве. 2024. Т. 22, № 2. С. 41–48. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-2-41-48.

For Citation

Gorokhov M.M., Kurguzkin P.M. [Information and Logic Model Development Natural Engineering System Environmental Monitoring]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2024, vol. 22, no. 2, pp. 41-48. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-2-41-48.