DOI: 10.21870/0131-3878-2021-30-3-68-79

УДК 504.055

Создание цифрового двойника для оценки современной радиозоологической обстановки 30-км зоны в районе размещения ОДЭК

Кречетников В.В.¹, Титов И.Е.¹, Карпенко Е.И.¹, Соломатин В.М.²

¹ ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск;

² АО «Прорыв», Москва

Представлены результаты создания цифрового двойника для оценки современной радиозоологической обстановки 30-км зоны в районе размещения ОДЭК. Для создания цифрового двойника были использованы данные, полученные в результате проведённого комплексного радиозоологического обследования в районе расположения ОДЭК. Работы по созданию велись в программном модуле ArcMap 10.5, входящем в состав пакета ArcGis. Созданный цифровой двойник представляет собой виртуальную модель, описывающую с помощью набора математических моделей и карт реальную радиозоологическую обстановку 30-км зоны. Он содержит информацию о содержании радионуклидов и тяжёлых металлов в различных компонентах природной среды, а также о дозах облучения человека и биоты. На основе цифрового двойника был издан атлас радиозоологической обстановки 30-км зоны АО «СХК». Полученные результаты могут быть использованы для оценки радиологической безопасности, а также для оптимизации программ радиационного контроля для ОДЭК.

Ключевые слова: цифровой двойник, ГИС, радиозоологическое обследование, окружающая среда, вода, донные отложения, почва, растительность, содержание радионуклидов, удельная активность, сельскохозяйственная продукция.

Введение

Одним из стратегических направлений научно-технического развития Российской Федерации является разработка и совершенствование информационных технологий. Развитие указанного направления касается задач повышения эффективности системы радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО) на основе оптимизации информационных потоков данных, их обработки, хранения и представления для принятия управленческих решений и ситуационных прогнозов развития радиационной обстановки.

Для повышения эффективности системы радиационно-экологического мониторинга возникает необходимость разработки и внедрения цифрового двойника результатов обследования территории размещения ЯРОО, то есть инструмента, моделирующего процессы воздействия объекта на окружающую среду. Цифровой двойник представляет собой виртуальную копию физического мира, виртуальную модель реального объекта или ситуации, которая на микро- и макроуровне с помощью набора математических моделей описывает состояние объекта и всех его элементов [1]. Создание и внедрение таких цифровых объектов возможно, как на стадии планирования размещения и проектирования, так и на стадии эксплуатации ЯРОО.

В соответствии с проектом «Прорыв» на территории Сибирского химического комбината (АО «СХК») ведётся строительство и планируется ввод в эксплуатацию опытно-демонстрационного энергокомплекса (ОДЭК) [2]. При введении такого объекта в эксплуатацию необходимо учитывать множество факторов, включая распределение радионуклидов и тяжёлых металлов

Кречетников В.В.* – науч. сотр.; Титов И.Е. – науч. сотр.; Карпенко Е.И. – врио директора, д.б.н. ФГБНУ ВНИИРАЭ. Соломатин В.М. – нач. отдела, к.б.н. АО «Прорыв».

*Контакты: 249032, Калужская обл., Обнинск, Киевское шоссе, 109-й км. Тел.: (484) 396-48-02; e-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru.

в природных и сельскохозяйственных объектах. Дополнительное поступление этих компонентов в окружающую среду было обусловлено предшествующей деятельностью АО «СХК» [3-5].

Для моделирования в виртуальном пространстве изменения состояния и характеристик природных и антропогенных объектов в районе размещения ОДЭК был создан цифровой двойник для оценки современной радиоэкологической обстановки 30-км зоны в районе размещения ОДЭК.

Объекты и методы исследования

Данные для создания цифрового двойника были получены в результате проведенного комплексного радиоэкологического обследования в районе расположения ОДЭК, выполненного в 2017 г. сотрудниками ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии (Обнинск), а также информацией, предоставленной ФГБУ «Станция агрохимической службы «Томская», радиационной промышленно-санитарной лабораторией АО «СХК» (Северск) и ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства (Пушкино). Использовали исходные данные по описанию радиоэкологической обстановки в отчётах АО «СХК», информацию в документации по оценке воздействия данного предприятия на окружающую среду и данные выполненного мониторинга. В администрации Томской области и органах управления сельскохозяйственными предприятиями была запрошена информация по объектам сельскохозяйственного производства. Для характеристики объектов сельскохозяйственного производства использовали карты-схемы экспликации земель хозяйств. Для характеристики объектов лесного биоценоза использовали карту-схему зонирования лесного фонда Томской области [6].

В ходе исследований выполнена работа по анализу содержания радионуклидов и тяжёлых металлов в следующих компонентах природной среды 30-км зоны ОДЭК: поверхностные воды; донные отложения; почвы (целинная, пахотная); лесная подстилка; луговая и лесная растительность; грибы, лесные ягоды; компоненты рациона кормления сельскохозяйственных животных; сельскохозяйственная продукция, производимая в регионе (зерновые культуры, картофель, овощи, молоко, мясо).

В качестве рабочей среды для создания цифрового двойника был использован программный модуль ArcMap 10.5, входящий в состав пакета ArcGis. Данный программный продукт обладает крупными аналитическими модулями пространственного анализа и статистики, а также встроенным языком программирования Python. Объектами двойника являются атрибутивные таблицы для хранения пространственно-ориентированной информации, электронные карты для визуализации данных и модули, содержащие модели расчётов. ArcMap обеспечивает все возможности обработки и управления данными при работе с большими объёмами информации. Проект открыт для внесения новых и редактирования существующих данных в случае необходимости. Все географические данные приведены к единой системе координат – WGS84 [7].

При создании карт, отображающих анализ пространственного распределения исследуемых показателей, использовалась интерполяция по методу обратно взвешенных расстояний (ОВР). ОВР определяет значения ячеек с использованием линейно взвешенной комбинации значений из поднабора опорных точек. Вес – это функция обратного расстояния. Интерполируемая поверхность должна представлять собой поверхность пространственно зависимой переменной. Этот метод предполагает, что влияние картируемой переменной уменьшается по мере удаления от местоположения образца [8].

Карта рельефа местности создана на основе оцифрованных изолиний высот и точек абсолютной высоты. Отмывка рельефа проводилась методом Кригинга, который позволяет строить предполагаемую поверхность из набора точек с z -значениями. В отличие от других методов интерполяции в среде ArcMap, инструмент Кригинг предполагает интерактивное исследование пространственного поведения явления, представленного z -значениями, до выбора оптимального метода оценки для построения результирующей поверхности. Он основывается на статистических моделях, включающих анализ автокорреляции (статистических отношений между измеренными точками), и включает поисковый статистический анализ данных, моделирование вариограммы, создание поверхности и (дополнительно) изучение поверхности дисперсии [9, 10].

При оценке доз облучения человека использовали методические рекомендации МР 2.6.1.0063-12 «Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии» [11]. Исходными данными для расчётов являлись значения поверхностной активности радионуклидов. В качестве критической группы населения рассматривали представителей взрослого населения (>17 лет).

Оценка радиационного воздействия на компоненты биоты была выполнена с помощью программного пакета ERICA Tool [12]. Оценка дозовых нагрузок в ERICA учитывает внешнее облучение от различных компонентов среды обитания и внутреннее облучение от радионуклидов, накопленных организмами. Расчёт дозовых нагрузок на компоненты биоты в данном программном пакете основан на использовании дозовых коэффициентов, рассчитанных методом Монте-Карло. Оценка радиационного воздействия на биоту в ERICA опирается на использование референтных организмов, в качестве которых были выбраны: для наземной экосистемы – олень, мышь, сосна; для водной экосистемы – пелагическая и придонная рыба. Мощность дозы для наземных организмов рассчитывали исходя из концентрации радионуклидов в почве [13]. При расчёте дозовых нагрузок на водные организмы учитывали как содержание радионуклидов в воде, так и в донных отложениях.

Мощность дозы внешнего облучения организмов рассчитывается по формуле:

$$D_{ext}^j = \sum_z k_z \sum_i C_{zi} \times DCC_{ext,zi}^j, \quad (1)$$

где D_{ext}^j – доза внешнего облучения для j -го организма от i -го радионуклида, мкГр/ч; C_{zi} – концентрация i -го радионуклида в среде обитания z , Бк/кг(л) или Бк/м³; k_z – доля времени нахождения организма в среде обитания z ; $DCC_{ext,zi}^j$ – дозовый коэффициент для внешнего облучения, учитывающий геометрические характеристики, j -го организма от i -го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг).

Мощность дозы внутреннего облучения организмов рассчитывается по формуле:

$$D_{int}^j = \sum_i C_i^j \times DCC_{int,i}^j, \quad (2)$$

где D_{int}^j – доза внутреннего облучения для j -го организма от i -го радионуклида, мкГр/ч; C_i^j – концентрация i -го радионуклида в j -ом организме, Бк/кг; $DCC_{int,i}^j$ – дозовый коэффициент для внутреннего облучения, учитывающий геометрические характеристики, j -го организма от i -го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг).

Суммарная доза облучения референтных организмов определяется как сумма внешнего и внутреннего облучения.

Результаты и обсуждение

Цифровой двойник для оценки современной радиоэкологической обстановки 30-км зоны в районе размещения ОДЭК включает цифровые карты, разработанные на основе информации, включающей: содержание радионуклидов и химических веществ в компонентах аграрных, лесных и водных экосистем; результаты оценок доз облучения биоты и населения; агрохимические характеристики почв сельскохозяйственных предприятий, расположенных в районе размещения ОДЭК.

Структура ГИС-проекта, являющегося основой цифрового двойника, представляет собой каталог для организации географической информации различного характера и управления ею как логическими наборами данных и карт. Каталог представлен в фрейме данных – таблице каталогов. В таблице каталогов перечислены все слои карты и показано, какие объекты представлены в каждом слое. Данная таблица помогает управлять порядком отображения слоёв на карте и назначением условных знаков, а также применением свойств отображения и др. для каждого слоя карты.

Всего в состав проекта входит 196 слоёв, находящихся в 13 подкаталогах (группах), содержащих различную атрибутивную информацию (табл. 1).

Таблица 1

Количество слоёв в ГИС-проекте

Название подкаталога	Количество слоёв
Зона наблюдения	4
Промышленные площадки АО «СХК»	9
Точки отбора	4
Точки квадратов обследования СЗЗ АО «СХК»	3
Тяжёлые металлы	4
Типы землепользования	10
Рельеф	2
Сельское хозяйство	105
Изолинии	14
Содержание радионуклидов в почве	12
Содержание радионуклидов в растительности	6
Дозы	22
Фон	1
Всего	196

Группа «Зона наблюдения» содержит слои, отображающие расположение границ: старой санитарно-защитной зоны (СЗЗ), новой СЗЗ, зоны наблюдения и 30-км зоны АО «СХК». Группа «Промышленные площадки АО «СХК» содержит слои расположения промышленных площадок.

Группа «Точки отбора» содержит слои, отображающие места отбора почвенных проб, проб растительности, проб донных отложений и поверхностных вод. Эти слои содержат информацию о поверхностной активности и содержании ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{90}Sr , ^2H и ^{14}C в почве, растительности, воде и донных отложениях, а также координаты точек отбора проб, шифр и описание пробы, характеристика места отбора проб. В качестве примера на рис. 1 представлена карта расположения точек отбора почвенных проб.

Группа «Точки квадратов обследования СЗЗ АО «СХК» содержит слои, отображающие точки отбора проб почвы на территории СЗЗ за пределами городской зоны и на территории АО «СХК», а также схемы расположения квадратов обследования. Слой «Точки квадратов обследования» содержит информацию о поверхностной активности и содержании ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ и

^{90}Sr в почве, номер квадрата обследования, мощность амбиентного эквивалента дозы, описание места отбора проб, год обследования. Слои «Схема квадратов обследования вне АО «СХК» и «Схема точек пробоотбора на территории АО «СХК» отображают схемы расположения квадратов отбора проб. В качестве примера на рис. 2 представлена карта расположения точек отбора почвенных проб квадратов обследования СЗЗ АО «СХК».

Рис. 1. Электронная карта «Точки отбора почвенных проб».

Рис. 2. Электронная карта «Точки отбора почвенных проб на территории СЗЗ».

Группа «Тяжёлые металлы» содержит слои, отображающие информацию о содержании тяжёлых металлов 1-го, 2-го и 3-го класса опасности в пробах почвы. Слой «Данные по содержанию тяжёлых металлов в пробах почвы» содержит информацию о поверхностной активности и содержании Pb, Cd, Zn, As, Hg, Cr, Cu, Ni, Co, Mo, Sb, Sr, Ba, V, Mn и W в почве, координаты точек отбора проб, шифр пробы, описание места отбора проб. Слои «Тяжёлые металлы I класс

опасности», «Тяжёлые металлы II класс опасности» и «Тяжёлые металлы III класс опасности» являются вспомогательными и служат для разделения отображаемой информации по классам [14].

Группа «Типы землепользования» содержит слои, показывающие: место расположения и характеристики водных объектов, дорог, населённых пунктов, болот, полей, дачных и садовых участков, кустарников, лесов, островов, земель сельхозназначения.

Группа «Рельеф» содержит растровые слои, построенные по изолиниям, отображающие рельеф местности (рис. 3).

Рис. 3. Электронная карта «Рельеф».

Группа «Сельское хозяйство» содержит слои, отображающие информацию об административной характеристике сельхозугодий в районе расположения ОДЭК, а также об агрохимических показателях: типе почв, механическом составе, содержании калия, фосфора, органического вещества и кислотности почв.

Группа «Содержание радионуклидов в почве» содержит растровые слои, отображающие информацию о пространственном распределении поверхностной активности ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr в почве за 2017 г., информацию о пространственном распределении глобального выпадения ^{137}Cs , о пространственном распределении поверхностной активности ^{137}Cs в пределах границы СЗЗ, а также о пространственном распределении поверхностной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr за 2007 и 1997 гг. (расчётные данные). В качестве примера на рис. 4 представлена карта поверхностной активности ^{137}Cs в почве.

Группа «Содержание радионуклидов в растительности» содержит растровые слои, отображающие информацию о пространственном распределении содержания ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr в луговой и лесной растительности за 2017 г.

Группа «Дозы» содержит растровые слои, отображающие пространственное распределение доз облучения человека и биоты. Также содержатся слои с точечными объектами, содержащими информацию о дозах внешнего облучения человека и дозовых нагрузок на биоту (лось, мышь, сосна, пелагическая и придонная рыба). В качестве примера на рис. 5 представлена карта суммарной дозовой нагрузки на сосну.

Рис. 4. Электронная карта «Поверхностная активность ^{137}Cs в почве».

Рис. 5. Электронная карта «Суммарная дозовая нагрузка на сосну».

Растровый слой «Фон» отображает информацию о пространственном распределении мощности амбиентного эквивалента дозы.

Цифровой двойник для оценки современной радиоэкологической обстановки 30-км зоны в районе размещения АО «СХК» (ГИС-проект) создан для отслеживания изменений, происходящих в процессе эксплуатации объекта, и, в случае необходимости, принятия соответствующих решений специалистами предприятия. Кроме того, он позволяет в процессе накопления информации о функционировании технологических, логистических, информационных процессов предприятия вовремя принять меры по потенциальным отклонениям и несоответствиям в тех или иных процессах деятельности организации.

В целях реализации государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности населения Томской области, проживающего в непосредственной близости от АО «СХК», для получения достоверной, актуальной экологической информации о качестве окружающей среды населением и местными органами управления на основе цифрового двойника был издан атлас радиоэкологической обстановки 30-км зоны АО «СХК» (рис. 6).

Рис. 6. Атлас радиоэкологической обстановки 30-км зоны АО «СХК».

Он включает в себя 7 разделов, посвящённых описанию радиоэкологического и хозяйственного состояния района. Первый раздел является обзорным и содержит информацию об общей характеристике АО «СХК», истории его создания, а также сведения об аварии, произошедшей на объекте. В данный раздел входят: карта поверхности рельефа территории 30-км зоны размещения ОДЭК в масштабе 1:300000; карта типов землепользования территорий, расположенных в 30-км зоне в масштабе 1:150000; карта гидрографической сети в масштабе 1:150000.

Второй раздел описывает характеристику сельскохозяйственных земель, расположенных в 30-км зоне АО «СХК». В разделе описывается основное направление растениеводства и животноводства района. Особо подробно описывается агрохимическое состояние и типы почв сельхозугодий 17 сельскохозяйственных предприятий, расположенных в 30-км зоне. Вся перечисленная информация отображается на карте типов почв сельскохозяйственных предприятий в масштабе 1:150000 и картах агрохимических показателей почвы (содержание калия, фосфора, кислотность почв и содержание органического вещества) для каждого сельскохозяйственного предприятия в отдельности в масштабе 1:70000.

Третий раздел является одним из ключевых и содержит информацию об активности радионуклидов в наземных и водных экосистемах. В составе наземных экосистем рассматривались аграрные, лесные и луговые. Раздел содержит информацию о содержании радионуклидов и тяжёлых металлов в таких компонентах природной среды 30-км зоны АО «СХК», как поверхностные воды; донные отложения; почвы (целинная, пахотная); лесная подстилка; луговая и лесная растительность; грибы, лесные ягоды; компоненты рациона кормления сельскохозяйственных животных; сельскохозяйственная продукция, производимая в регионе (зерновые культуры, картофель, овощи, молоко, мясо).

Следующий раздел включает в себе информацию о содержании тяжёлых металлов в природных экосистемах. Он описывает содержание тяжёлых металлов 3-х классов опасности в почвах, растительности и компонентах водной среды. Всю собранную информацию иллюстрируют карты содержания тяжёлых металлов 1-го, 2-го и 3-го классов опасности масштабом 1:150000.

Раздел «Оценка доз облучения биоты и населения 30-км зоны АО «СХК» содержит полученную в ходе расчётов информацию о дозах облучения человека, а также референтных представителей наземной (мышь, лось, сосна) и водной (придонная и пелагическая рыба) биоты. Результаты расчётов иллюстрируют карты масштаба 1:150000: годовая и суммарная доза облучения человека ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$; годовая и суммарная доза облучения наземных организмов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$; суммарная дозовая нагрузка на придонную и пелагическую рыбу.

Последние разделы (водозаборы и геология территории) содержат информацию о состоянии хозяйственно-питьевого водоснабжения Северска, результаты геофизического мониторинга объектов водозабора и информацию о геологическом и гидрогеологическом строении территории размещения АО «СХК».

Выводы

На основании обобщения информации о составе и содержании радионуклидов, тяжёлых металлов в объектах окружающей среды на территории 30-км зоны ОДЭК, полученных в ходе проведения работ по мониторингу, а также информации о характеристиках объектов сельского хозяйства, водных и лесных объектов в программной среде ArcGis, был создан цифровой двойник для оценки современной радиоэкологической обстановки 30-км зоны в районе размещения АО «СХК», который прошёл тестирование и верификацию сотрудниками АО «СХК». Его внедрение и использование в значительной степени позволит оптимизировать систему мониторинга организации.

Для информирования местных органов управления и населения Томской области, проживающего в непосредственной близости от АО «СХК», о достоверной актуальной радиоэкологической информации о качестве окружающей среды на основе цифрового двойника был издан атлас радиоэкологической обстановки 30-км зоны ОДЭК.

В целом, полученные результаты могут быть использованы для оценки радиологической безопасности ОДЭК в условиях нормальной работы и в аварийных ситуациях при различных вариантах загрузки РУ БРЕСТ-ОД-300, а также для оптимизации программ радиационного контроля для ОДЭК.

Литература

1. **Пономарев К.С., Феофанов А.Н.** Цифровой двойник производства как инструмент цифровизации технологических процессов предприятия //Актуальные тренды и перспективы развития науки, техники, технологий: сб. науч. трудов по материалам Международной научно-практической конференции /под общ. ред. Е.П. Ткачевой. Белгород: ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2019. С. 141-145.
2. **Адамов Е.О., Алексахин Р.М., Большов Л.А., Дедуль А.В., Орлов В.В., Першуков В.А., Рачков В.И., Толстоухов Д.А., Троянов В.М.** Проект «Прорыв» – технологический фундамент для крупномасштабной ядерной энергетики //Изв. РАН. Энергетика. 2015. № 1. С. 5-12.
3. **Соломатин В.М., Алексахин Р.М., Спирин Е.В., Сорокин И.Б., Живаго А.И., Рыжова Л.И.** Радиоэкологическое состояние агросферы в 30-км зоне Сибирского химического комбината в предпусковой период опытно-демонстрационного энергокомплекса //Атомная энергия. 2018. Т. 124, вып. 1. С. 40-42.
4. **Карпенко Е.И., Томсон А.В., Соломатин В.М.** Радиоэкологическая обстановка в районе размещения АО «СХК» //Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018: матер. межд. научн.-практ. конф. /под ред. Л.И. Лукиной, Н.А. Бежина, Н.В. Ляминой. Севастополь: СевГУ, 2018. С. 513-516.
5. **Нуштаев С.Н., Карпенко Е.И., Соломатин В.М.** База данных радиоэкологического мониторинга в районе расположения АО «СХК» //Техногенные системы и экологический риск: тезисы докладов II Международной (XV Региональной) научной конференции /под общ. ред. А.А. Удаловой. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2018. С. 130-132.
6. **Карпенко Е.И., Кузнецов В.К., Исамов Н.Н., Соломатин В.М., Томсон А.В., Ратникова Л.И.** Радиоэкологическое обследование наземных и водных экосистем в районе размещения АО «СХК» //Радиация и риск. 2019. Т. 28, № 3. С. 63-74.
7. **Выборнова Ю.Д.** Исследование методов пространственной интерполяции в задаче восстановления частично определенных изображений //Сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2018). Самара: Новая техника, 2018. С. 683-690.
8. **Сербенюк С.Н., Кошель С.М., Мусин О.Р.** Методы моделирования геополей по данным в нерегулярно расположенных точках //Геодезия и картография. 1990. № 11. С. 31-35.
9. **Burrough P.A.** Principles of geographical information systems for land resources assessment. New York: Oxford University Press, 1986. 34 p.
10. **Oliver M.A.** Kriging: a method of interpolation for geographical information systems //Int. J. Geogr. Inf. Syst. 1990. V. 4, N 3. P. 313-332.
11. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии. Методические рекомендации МР 2.6.1.0063-12. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013. 55 с.
12. **Brown J.E., Alfonso B., Avila R., Beresford N.A., Copplestone D., Pröhl G., Ulanovsky A.** The ERICA Tool //J. Environ. Radioact. 2008. V. 99, N 9. P. 1371-1383.
13. ICRP, 2008. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. ICRP Publication 108 //Ann. ICRP. 2008. V. 38, N 4-6. P. 1-251.
14. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартинформ, 2008.

Development of the digital twin to assess current radioecological situation inside the 30-km zone in the area of Pilot demonstration energy complex (PDEC) siting

Krechetnikov V.V.^{1,2}, Titov I.E.¹, Karpenko E.I.¹, Solomatin V.M.²

¹ Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk;

² Joint Stock Company PRORYV, Moscow

The development of the digital twin for the assessment of current radioecological situation is considered in the paper. For the twin development data of comprehensive radioecological survey in the area of the Pilot demonstration energy complex (PDEC) siting were used. The twin was developed with the use of the ArcMap 10.5 software module, the part of the ArcGis package. The digital twin is a virtual model that describes the real-time radioecological situation inside the 30-km zone of the nuclear object influence using a set of mathematical models and maps. The twin contains information on radionuclides and heavy metals content in the environment, radiation doses to humans and biota. The data contained in the twin were used for preparing and publishing the atlas of the radioecological situation in the 30-km zone of PDEC influence. The results obtained can be used for radiological safety assessment and optimization of radiation monitoring programs for PDEC.

Key words: *digital twin, GIS, radioecological survey, environment, water, bottom sediments, soil, vegetation, radionuclide content, specific activity, agricultural products.*

References

1. **Ponomarev K.S., Feofanov A.N.** Cifrovoy dvojniki proizvodstva kak instrument cifrovizacii tehnologicheskikh processov predpriyatija [Digital twin of production as a tool for digitalization of technological processes of an enterprise]. Aktual'nye trendy i perspektivy razvitiya nauki, tehniki, tehnologij: sb. nauch. trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Actual trends and prospects for the development of science, engineering and technology: collection of scientific papers on the materials of the International scientific practical conference]. Eds.: E.P. Tkacheva. Belgorod, LLC Agency for Advanced Scientific Research (APNI), 2019, pp. 141-145.
2. **Adamov E.O., Aleksakhin R.M., Bolshov L.A., Dedul A.V., Orlov V.V., Pershukov V.A., Rachkov V.I., Tolstoukhov D.A., Troyanov V.M.** "Breakthrough" project – technological basement for large-scale nuclear energy. *Izvestiya RAN. Energetika – Bulletin RAS. Energy*, 2015, no. 1, pp. 5-12. (In Russian).
3. **Solomatin V.M., Aleksakhin R.M., Spirin E.V., Sorokin I.B., Zhivago A.I., Ryzhova L.I.** Radio-ecological state of the agrosphere in the 30-km zone of the Siberian Chemical Combine during the pre-startup period of a prototype power complex. *Atomnaya Energiya – Atomic Energy*, 2018, vol. 124, no. 1, pp. 40-42. (In Russian).
4. **Karpenko E.I., Thomson A.V., Solomatin V.M.** Radioecological situation in the area of location of the joint stock company "siberiangroup of chemical enterprises". Ecological, industrial and energy security – 2018: collection of articles int. scientific-practical. conf. Eds.: L.I. Lukina, N.A. Bezgin, N.V. Lyamina. Sevastopol, SevGU, 2018, pp. 513-516. (In Russian).
5. **Nushtaev S.N., Karpenko E.I., Solomatin V.M.** Baza dannykh radiojekologicheskogo monitoringa v rajone raspolozheniya AO «SHK» [Database of radioecological monitoring in the area of SCC JSC]. Tehnogennyye sistemy i jekologicheskij risk. Tezisy dokladov II Mezhdunarodnoi (XV Regional'noi) nauchnoi konferencii [Technogenic systems and environmental risk. Abstracts of the II International (XV Regional) scientific conference]. Ed.: A.A. Udalova. Obninsk, IATE NRNU MEPhI, 2018, pp. 130-132.

Krechetnikov V.V.* – Researcher; **Titov I.E.** – Researcher; **Karpenko E.I.** – Interim director, D. Sc., Biol. RIRAE. **Solomatin V.M.** – Head of Dep., C. Sc., Biol. JSC PRORYV.

*Contacts: 109 km, Kievskoe Sh., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249032. Tel.: (484) 396-48-02; e-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru.

6. **Karpenko E.I., Kuznetsov V.K., Isamov N.N., Solomatin V.M., Thomson A.V., Ratnikova L.I.** Radioecological survey of terrestrial and aquatic ecosystems in the area of the Siberian Group of Chemical Enterprises. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2019, vol. 28, no. 3, pp. 63-74. (In Russian).
7. **Vybornova Yu.D.** Application of spatial interpolation methods for restoration of partially defined images. Proceedings of the IV International Conference and Youth School "Information Technologies and Nanotechnologies" (ITNT-2018). Samara, New Technology, 2018, pp. 683-690. (In Russian).
8. **Serbenyuk S.N., Koshel S.M., Musin O.P.** Methods for modeling geofields based on data at irregularly located points. *Geodeziya i kartografiya – Geodesy and Cartography*, 1990, no. 11, pp. 31-35. (In Russian).
9. **Burrough P.A.** Principles of geographical information systems for land Resources assessment. New York, Oxford University Press, 1986. 34 p.
10. **Oliver M.A.** Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.*, 1990, vol. 4, no. 3, pp. 313-332.
11. Kontrol' doz oblucheniya naseleniya, prozhivajushhego v zone nabljudeniya radiatsionnogo ob`ekta, v usloviyakh ego normal'noi ekspluatatsii i radiatsionnoi avarii. Metod. Rekom. MP 2.6.1.0063-12 [Control of radiation doses to the population living in the observation area of a radiation object under conditions of its normal operation and radiation accident: Methodological recommendations MR 2.6.1.0063-12]. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2013. 55 p.
12. **Brown J.E., Alfonso B., Avila R., Beresford N.A., Copplestone D., Pröhl G., Ulanovsky A.** The ERICA Tool. *J. Environ. Radioact.*, 2008, vol. 99, no. 9, pp. 1371-1383.
13. ICRP, 2008. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. ICRP Publication 108. *Ann. ICRP*, 2008, vol. 38, no. 4-6, pp. 1-251.
14. GOST 17.4.1.02-83. Okhrana prirody. Pochvy. Klassifikatsiya khimicheskikh veshhestv dlja kontrolja zagrjazneniya [GOST 17.4.1.02-83. Nature protection. Soils. Classification of chemicals for pollution control]. Moscow, Standardinform, 2008.