



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-34-42>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.021

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ВВОДА И ОБРАБОТКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ

П. К. ШАЛЬКЕВИЧ, А. О. ДОЛМАТОВА

*Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 12.04.2023

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

Аннотация. Важный инструмент для решения проблем, связанных с миграцией радионуклидов, – компьютерные технологии, позволяющие прогнозировать распространение радиоактивных загрязнений в почвах, которые являются важным компонентом биосферы. При этом большинство современных программных средств, используемых для прогнозирования распространения радиоактивных загрязнений, основано на идеализациях, упрощающих понимание этого процесса, тогда как решение задачи комплексной оценки состояния биосферы требует применения полноценной пространственной модели миграции радионуклидов в почве. Такая модель была разработана П. К. Шалькевичем в рамках программного комплекса SPS (Simulation of Processes in Soil). В качестве исходных данных для прогнозирования SPS использует начальные значения концентрации радионуклидов, гидрологические и теплофизические свойства почв, информацию о метеорологических условиях. При этом исходные данные должны быть предварительно собраны, обработаны и преобразованы в вид, с которым может работать программное обеспечение, что требует существенных интеллектуальных и временных затрат. Такие затраты негативно влияют на возможность формирования оперативных прогнозов радиоактивной обстановки, но могут быть значительно сокращены путем применения систем автоматизированного радиационного мониторинга почв и автоматизации процессов ввода и обработки исходных данных при прогнозировании пространственной миграции радионуклидов в соответствующем программном обеспечении, что и рассматривается в представленной статье.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, компьютерное прогнозирование, вычислительные алгоритмы, миграция радионуклидов, оценка состояния биосферы, геоинформационная система.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Статья посвящается памяти профессора Семена Петровича Кундаса.

Для цитирования. Шалькевич, П. К. Алгоритм автоматизации процессов ввода и обработки исходных данных для компьютерного прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах / П. К. Шалькевич, А. О. Долматова // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 3. С. 34–42. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-34-42>.

ALGORITHM FOR AUTOMATING INPUT AND PROCESSING OF INITIAL DATA FOR COMPUTER FORECASTING OF SPATIAL MIGRATION OF RADIONUCLIDES IN SOILS

PAVEL K. SHALKEVICH, ALIAKSANDRA O. DALMATAVA

International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 12.04.2023

Abstract. An important tool for solving problems associated with the migration of radionuclides is computer technology that makes it possible to predict the spread of radioactive contamination in soils, which are an important component of the biosphere. At the same time, most modern software for the prediction of the spread of radioactive contamination is based on idealizations that simplify the understanding of this process, while solving the problem of a comprehensive assessment of the biosphere requires the use of a full-fledged spatial model of radionuclide migration in soils. Such a model was developed by P. K. Shalkevich within SPS (Simulation of Processes in Soil) software. SPS uses the initial values of radionuclide concentrations, hydrological and thermal properties of soils and information about meteorological conditions as input data for forecasting. At the same time, the listed initial data must be previously collected, processed and converted into a form that the software able to work with. Such processes require significant intellectual and time costs. These costs negatively affect the possibility of generating operational forecasts of the radioactive situation, but can be significantly reduced by using systems for automated radiation monitoring of soils and automating input and processing of initial data when predicting the spatial migration of radionuclides in the appropriate software, what is considered in the present article.

Keywords: radiation monitoring, computer forecasting, computational algorithms, migration of radionuclides, assessment of the biosphere, geoinformation system.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Gratitude. The article is dedicated to the memory of Professor Semjon P. Kundas.

For citation. Shalkevich P. K., Dalmatava A. O. (2023) Algorithm for Automating Input and Processing of Initial Data for Computer Forecasting of Spatial Migration of Radionuclides in Soils. *Digital Transformation*. 29 (3), 34–42. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-34-42> (in Russian).

Введение

Важный инструмент для решения проблем, связанных с миграцией радионуклидов, – компьютерные технологии, позволяющие прогнозировать распространение радиоактивных загрязнений в почвенно-грунтовых системах. Разработка и внедрение таких технологий – перспективное направление для решения задач в области радио- и агроэкологии, постчернобыльских и других экологических проблем [1–4]. Это обусловлено тем, что традиционно применяемые экспериментальные методы (измерение удельной активности радионуклидов в почве) позволяют определить только текущее загрязнение исследуемого объекта (региона, элементарного ландшафта и др.), но не дают возможности прогнозирования развития радиационной обстановки в будущем. А большинство современных программных средств, используемых для прогнозирования распространения радиоактивных загрязнений, основано на одномерных идеализациях, что упрощает понимание этого процесса, тогда как решение задачи комплексной оценки состояния биосферы требует применения полноценной пространственной модели миграции радионуклидов в почве [5]. Такая модель была разработана П. К. Шалькевичем в рамках программного комплекса SPS (Simulation of Processes in Soil) v2.0 [6]. Разработанный на основе этой модели программный модуль [5] в составе SPS [7] позволяет получать прогнозы пространственного распространения радионуклидов в природных дисперсных средах, которыми являются почвы, с применением технологий параллельных вычислений.

Для оценки возможности применения разработанного программного обеспечения на практике была проведена верификация результатов прогнозирования с экспериментальными данными [8]. При этом в качестве исходных данных для прогнозирования использовались начальные значения концентрации радионуклидов, гидрологические и теплофизические свойства почв, информация о метеорологических условиях (относительная влажность, температура воздуха, интенсивность выпадения дождевых осадков, солнечная активность). Важно отметить, что перечисленные исходные данные должны быть предварительно собраны, обработаны и преобра-

зованы в вид, с которым может работать программный модуль. При этом выполнение операций по сбору и обработке исходных данных требует существенных интеллектуальных и временных затрат, что негативно влияет на возможность формирования оперативных прогнозов радиоактивной обстановки. Однако такие затраты могут быть значительно сокращены путем применения автоматизированных систем радиационного мониторинга почв.

Таким образом, для комплексной оценки состояния биосферы актуальны задачи применения автоматизированных систем радиационного мониторинга почв и разработки программных средств на их основе с целью создания оперативных прогнозов пространственной миграции радионуклидов. Решение этих задач изложено в настоящей статье.

Определение содержания радионуклидов в почвах

Определение содержания радионуклидов в почвах представляет собой многоступенчатый процесс [9], включающий отбор проб, предварительное концентрирование, отделение определяемого компонента от примесей, собственно количественное определение (например, измерение радиоактивности) и обработку полученных результатов. Методика¹ отбора почвы подразумевает, что с каждой исследуемой площадки с ненарушенным слоем почвы отбирается по пять точечных проб по методу конверта (по углам и в центре). При этом место отбора пробы не должно находиться на склоне, в низине или на затопляемом участке. Вблизи исследуемой площадки не должно быть строительных или природных объектов, которые могли бы защищать место пробоотбора от дождя. Наличие таких объектов вызывает значительные неравномерности в распределении выпадений по поверхности почвы, что затрудняет оценку состояния биосферы.

После отбора проб почвы происходит их подготовка к гамма-спектрометрическим измерениям. Для определения активности в образцах отобранных проб используются сцинтилляционные, полупроводниковые и жидкостно-сцинтилляционные детекторы [10]. Таким образом, определение содержания радионуклидов в почвах – комплекс сложных мероприятий, требующих работы коллектива квалифицированных специалистов. Очевидным недостатком этого подхода является сложность его организации и длительность получения искомых значений удельных активностей радионуклидов. Поскольку эти значения используются при формировании исходных данных для компьютерного прогнозирования пространственного распространения радионуклидов и последующей оценки состояния окружающей среды, очевидно, что возможность выполнения оперативных прогнозов ставится под сомнение в таких условиях. Следовательно, для решения задачи оперативного прогнозирования состояния окружающей среды необходимы автоматизация и цифровизация процессов определения содержания радионуклидов в почвах.

Для решения задач автоматизации и цифровизации процессов определения содержания радионуклидов в почвах применяются системы автоматизированного радиационного мониторинга почв [11, 12]. В этих системах осуществляется автоматическое измерение уровня радиации в почве с использованием детекторов, устройств сбора и передачи данных, а также сервера для хранения и обработки данных. Такой подход позволяет не только оперативно получать показатели активности радионуклидов в почве, но и решает проблему цифровизации исходных данных для дальнейшего прогнозирования. Системы автоматизированного радиационного мониторинга почв применяются для контроля радиоактивного загрязнения почвы в зонах промышленной деятельности, расположения радиационных объектов, урановых месторождений и т. д., а также для мониторинга рисков радиоактивного загрязнения почвы в районах с повышенным естественным радиоактивным фоном [11]. Таким образом, автоматизированные системы радиационного мониторинга почв позволяют оперативно получать данные с детекторов за счет применения современных информационно-коммуникационных технологий, а, следовательно, могут быть использованы для решения задачи оперативного прогнозирования пространственного распространения радионуклидов в почве.

Автоматизация процессов ввода и обработки исходных данных

Как было отмечено, разработанный П. К. Шалькевичем программный модуль для прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в рамках программного комплекса SPS v2.0 в качестве исходных данных использует начальные значения концентрации радионуклидов, гидрологические и теплофизические свойства почв, информацию о метеорологических условиях. Исходные данные в программный модуль вводятся через графический пользовательский интер-

¹ Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: ГОСТ 17.4.4.02–84. Введ. 01.01.2019. М.: Стандартинформ, 2018. 12 с.

фейс [13] после предварительной обработки, которая включает в себя преобразование значений концентрации радионуклидов из значений их активностей, определение распределения концентрации радионуклидов по расчетной области, построение функций температуры и влагосодержания, генерацию конечно-элементной сетки в геометрии расчетной области. При этом сбор исходных данных и их предварительная обработка могут занимать неоправданно длительный в условиях необходимости выполнения оперативных прогнозов период времени, что обусловлено спецификой организации натуральных экспериментов, интерпретацией полученных в них результатов и ограничениями в доступе к данным метеостанций. После ввода исходных данных выполняется прогноз с применением технологий параллельных вычислений, который при прогнозировании миграции радионуклидов на год может длиться более 40 ч – в зависимости от климатических условий и площади поражения. Применение же систем автоматизированного радиационного мониторинга позволит автоматизировать процесс ввода и обработки данных для прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах, что сократит общее время прогнозирования, однако для этого потребуется соответствующая программная реализация.

Следовательно, для автоматизации процесса ввода и обработки данных для прогнозирования миграции радионуклидов в почвах требуется разработка новых алгоритмов, которые позволят автоматизировать эти процессы и эффективно применять разработанные ранее модели, описывающие процессы распространения радионуклидов в природных дисперсных средах, а также создание программного обеспечения на основе этих алгоритмов. Предлагаются вычислительные алгоритмы, позволяющие получать прогнозы пространственной миграции радионуклидов с помощью модели, адекватной реальным процессам, в рамках 5%-ной погрешности [8] с максимальной возможной эффективностью применения многопроцессорной ЭВМ [14] и автоматизированным вводом и обработкой исходных данных.

Для разработки вычислительных алгоритмов прогнозирования миграции радионуклидов в почвах с применением систем автоматизированного радиационного мониторинга разработана диаграмма потоков данных (ДПД), показанная на рис. 1. ДПД представляет собой иерархию функциональных процессов, связанных потоками данных, которая демонстрирует последовательность преобразования этих потоков, а также отношения между рассматриваемыми процессами. На рис. 1 видно, что в ДПД используются как пространственные данные, так и атрибутивные, что характерно для геоинформационных систем (ГИС). Таким образом, программное обеспечение, разработанное в соответствии с предлагаемой ДПД, можно отнести к классу ГИС.

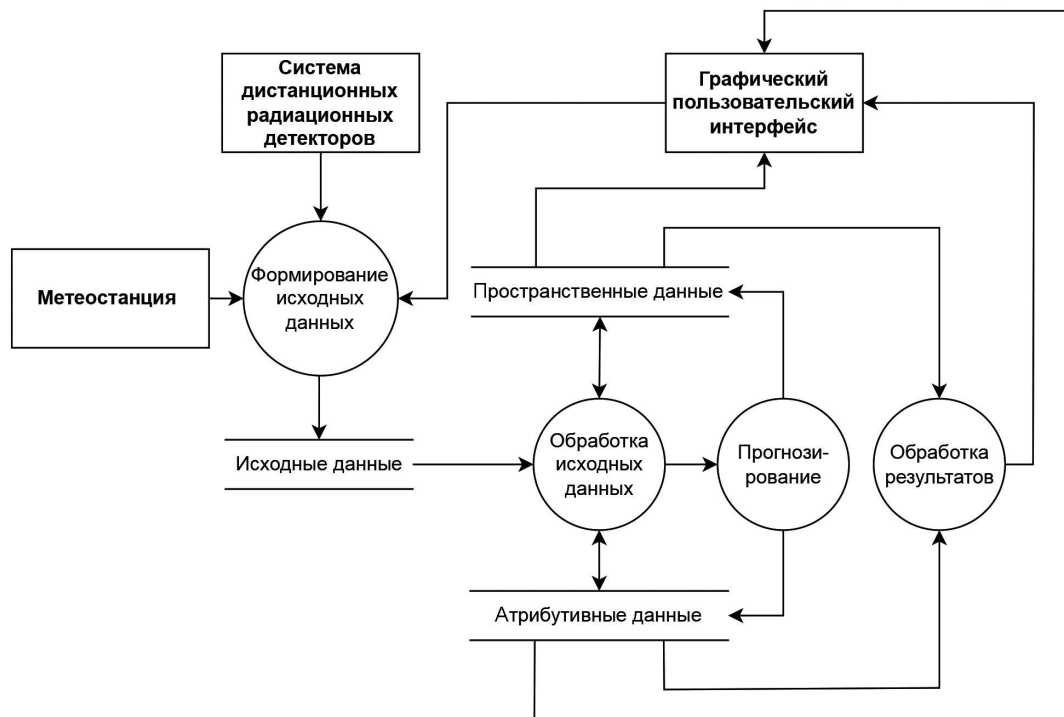


Рис. 1. Диаграмма потоков данных программного обеспечения для прогнозирования миграции радионуклидов в почвах

Fig. 1. Data flow diagram for software for operational forecasting of radionuclide spatial migration in soils

С учетом ДПД предлагается дополнить разработанные ранее вычислительные алгоритмы [6, 15], используемые для прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах [5], вычислительным алгоритмом, приведенным на рис. 2. Алгоритм обеспечивает оперативность прогнозирования миграции радионуклидов в почвах за счет применения систем автоматизированного радиационного мониторинга и автоматизации процессов ввода и обработки исходных данных, что позволяет оперативно формировать исходные данные для прогнозирования.

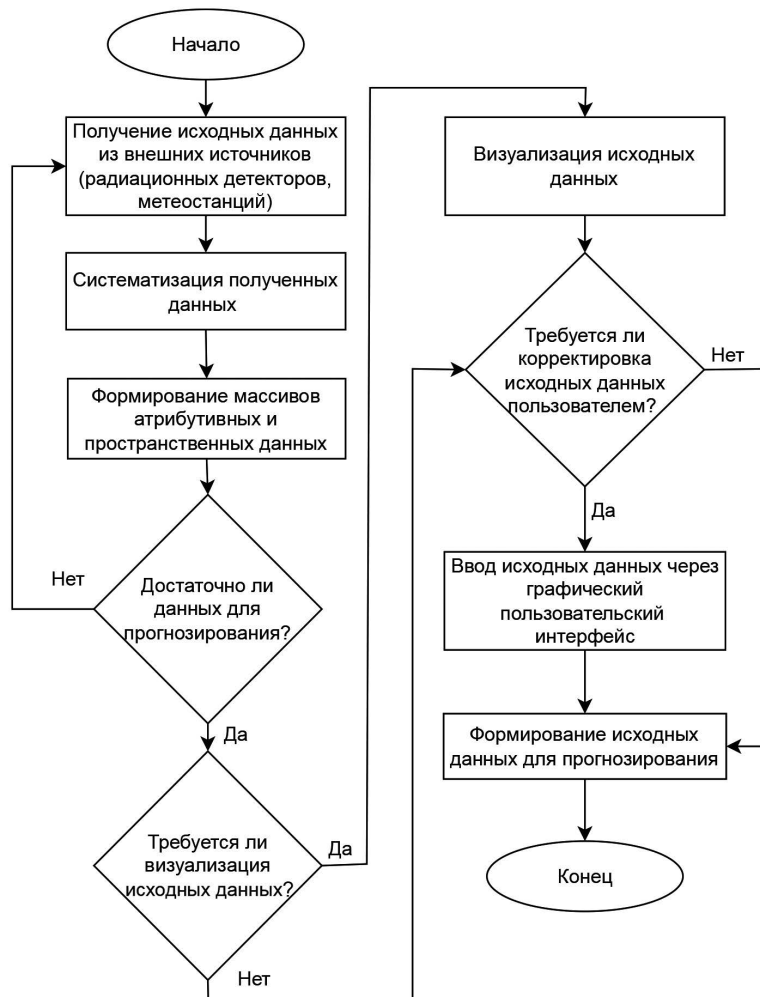


Рис. 2. Вычислительный алгоритм для автоматизации процессов ввода и обработки исходных данных для компьютерного прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах

Fig. 2. Computational algorithm for automating input and processing of initial data for computer forecasting of spatial migration of radionuclides in soils

Разработанный вычислительный алгоритм подразумевает, что исходные данные будут получены модулем для прогнозирования пространственной миграции радионуклидов из внешних источников, которыми являются радиационные детекторы и метеостанции. Далее происходит систематизация полученных данных и формирование массивов данных для их хранения в базе данных. Примечательно, что алгоритм содержит несколько условий. Условие достаточности данных для прогнозирования позволяет накапливать массивы данных, достаточные для соблюдения условий применения численных моделей, на которых основано программное обеспечение. Если это условие не будет выполнено, то система продолжит сбор информации. Стоит отметить, что условие достаточности данных для прогнозирования дает возможность применения и нейросетевых моделей для прогнозирования миграции радионуклидов, что позволит использовать данный алгоритм для разработки программного обеспечения ГИС более широкой функциональности, чем разработанный ранее программный модуль. Важной особенностью алгоритма является сохранение возможности ввода исходных данных через графический пользовательский интерфейс, что может быть необходимо при отсутствии связи между внешними источниками данных

и программным обеспечением для прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах. Таким образом, с учетом вычислительного алгоритма, изображенного на рис. 2, вычислительный алгоритм пространственной миграции радионуклидов в почвах с применением систем автоматизированного радиационного мониторинга примет вид, как на рис. 3.

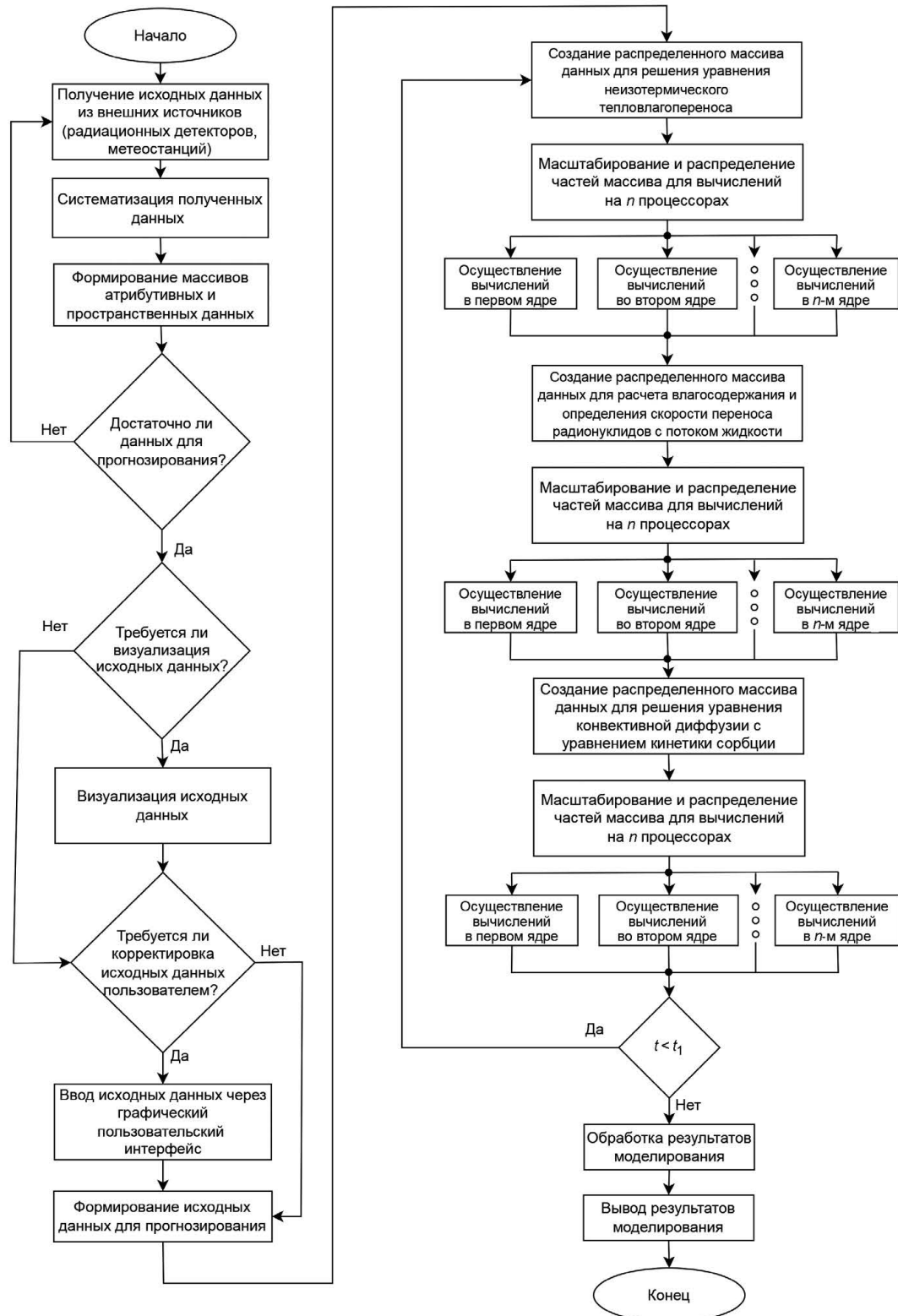


Рис. 3. Вычислительный алгоритм компьютерного прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах

Fig. 3. Computational algorithm for computer prediction of spatial migration of radionuclides in soils

Предварительный анализ разработанных ДПД и вычислительного алгоритма для автоматизации процессов ввода и обработки исходных данных для компьютерного прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах показывает, что они могут быть использованы для разработки программного обеспечения ГИС, которая может быть применена при комплексной оценке состояния биосферы.

Заключение

1. Разработана диаграмма потоков данных, в которой показано использование пространственных и атрибутивных данных для прогнозирования миграции радионуклидов в природных дисперсных средах с применением систем автоматизированного радиационного мониторинга. Эта диаграмма представляет собой иерархию функциональных процессов, связанных потоками данных, которая демонстрирует последовательность преобразования потоков в процессе ввода и обработки данных для автоматизации компьютерного прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах.

2. На основе диаграммы потоков данных был разработан вычислительный алгоритм для автоматизации процессов ввода и обработки исходных данных для компьютерного прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах с применением систем автоматизированного радиационного мониторинга. Алгоритм позволяет получать прогнозы пространственной миграции радионуклидов с помощью модели, адекватной реальным процессам, в рамках 5%-ной погрешности с максимально возможной эффективностью применения многопроцессорной ЭВМ и с автоматизированным вводом и обработкой исходных данных.

3. Разработанные диаграммы потоков данных и вычислительные алгоритмы прогнозирования миграции радионуклидов в природных дисперсных средах подразумевают дальнейшую программную реализацию, которую можно отнести к классу геоинформационных систем. Такая система может быть применена для комплексной оценки состояния биосферы, в частности, оперативного прогнозирования радиационной обстановки в Республике Беларусь, что делает разработку геоинформационной системы весьма актуальной задачей.

Список литературы

1. 20 лет Чернобыльской катастрофы: взгляд в будущее. Национальный доклад Украины. Киев: Атика, 2006. 232 с.
2. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 103 // Annals of ICRP. 2008. Vol. 37. 344 p.
3. 20 лет после Чернобыльской катастрофы. Последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад / Под ред. В. Е. Шевчука, В. Л. Гурачевского. Минск, 2006. 116 с.
4. Шалькевич, П. К. Значение экологических проблем в информационном обществе / П. К. Шалькевич, А. С. Баранов // Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI века: матер. 12-й Междунар. науч. конф., г. Минск, 17–18 мая 2012 г. Минск: Междунар. гос. эколог. ин-т им. А. Д. Сахарова, 2012. С. 37–38.
5. Шалькевич, П. К. Компьютерное прогнозирование пространственного распределения концентрации Cs-137 в почве / П. К. Шалькевич // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2021. Т. 65, № 2. С. 139–145.
6. Шалькевич, П. К. Технология параллельных вычислений задачи тепловлагопереноса в программном комплексе SPS / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас, И. А. Гишкелюк // Информатика. 2015. № 45. С. 73–79.
7. Компьютерное моделирование миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах / С. П. Кундас [и др.]; под общ. ред. С. П. Кундаса. Минск: Московский гуманитар.-экон. ин-т им. А. Д. Сахарова, 2011. 212 с.
8. Шалькевич, П. К. Верификация численных методов и математической модели, разработанных для моделирования миграции радионуклидов в природных дисперсных средах / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас // Доклады БГУИР. 2021. Т. 19, № 3. С. 66–74.
9. Сапожников, Ю. А. Радиоактивность окружающей среды: теория и практика / Ю. А. Сапожников, Р. А. Алиев, С. Н. Калмыков. 3-е изд., электрон. М.: Лаборатория знаний, 2020. 289 с.
10. Ишханов, Б. С. Частицы и ядра. Эксперимент / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, Э. И. Кэбин. М.: Изд-во МАКС Пресс, 2013. 252 с.

11. Зацепин, Е. Н. Радиационный контроль окружающей среды / Е. Н. Зацепин, С. В. Дробот // Мониторинг техногенных и природных объектов: матер. Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 28–29 нояб. 2019 г. Минск: Белор. гос. ун-т информ. и радиоэлек., 2019. С. 3–8.
12. Автоматизированная система контроля радиационной обстановки окружающей среды с открытой архитектурой построения / А. Н. Новик [и др.] // НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ, г. Минск, 29 янв. 2015 г. Минск, 2022. С. 131–134.
13. Шалькевич, П. К. Графическое отображение результатов 3D-моделирования миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас, И. А. Гишкелюк // Экологический вестник. 2016. № 37. С. 35–39.
14. Шалькевич, П. К. Применение облачных технологий для моделирования миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас, А. Е. Мороз // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века: матер. 17-й Междунар. науч. конф., г. Минск, 18–19 мая 2017 г. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: С. Е. Головатый [и др.]. Минск: ИВЦ Минфина, 2017. Ч. 2. 252 с.
15. Шалькевич, П. К. Алгоритм параллельных вычислений задачи неизотермического влагопереноса в природных дисперсных средах / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас, И. А. Гишкелюк // Доклады БГУИР. 2014. № 5. С. 90–94.

References

1. *20 Years of the Chernobyl Disaster: a Look Into the Future. National Report of Ukraine*. Kyiv, 2006, Atika Publ. 232 (in Russian).
2. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 103 (2008) *Annals of ICRP*. 37. 344.
3. Shevchuk V. E., Gurachevsky V. L. (ed.) *20 Years after the Chernobyl Disaster. Consequences in the Republic of Belarus and their Overcoming. National Report*. Minsk, 2006. 116 (in Russian).
4. Shalkevich P. K., Baranov A. S. (2012) Significance of Environmental Problems in the Information Society. *Sakharov Readings 2012: Environmental Problems of the XXI Century: Materials of the 12th International Scientific Conference, Minsk, 17–18 May, 2012*. Minsk, International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University. 37–38 (in Russian).
5. Shalkevich P. K. (2021) Computer Prediction of the Spatial Distribution of Cs-137 Concentration in Soil. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*. 65 (2), 139–145 (in Russian).
6. Shalkevich P. K., Kundas S. P., Gishkeluk I. A. (2015) Technology of Parallel Computing of the Problem of Heat and Moisture Transfer in the SPS Software Package. *Informatics*. (45), 73–79 (in Russian).
7. Kundas S. P., Gishkeluk I. A., Kovalenko V. I., Khilko O. S. (2011) *Computer Modelling of Contaminant Migration in Natural Disperse Media*. Minsk, International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University. 212 (in Russian).
8. Shalkevich P. K., Kundas S. P. (2021) Verification of Numerical Methods and Mathematical Model Developed for Simulation of Radionuclides Migration in Natural Disperse Environments. *Doklady BSUIR*. 19 (3), 66–74 (in Russian).
9. Sapozhnikov Yu. A., Aliev R. A., Kalmykov S. N. (2020) *Radioactivity of the Environment: Theory and Practice, 3rd ed., electron*. Moscow, Knowledge Laboratory Publ. 289 (in Russian).
10. Ishkhanov B. S., Kapitonov I. M., Cabin E. I. (2013) *Particles and Nuclei. Experiment*. Moscow, MAKS Press Publishing House. 252 (in Russian).
11. Zatsepina E. N., Drobot S. V. (2019) Radiation Control of the Environment. *Monitoring of Man-Made and Natural Objects: Materials of the International Scientific and Technical Conference, Minsk, Nov. 28–29, 2019*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 3–8 (in Russian).
12. Novik A. N., Kuchinsky P. V., Bely I. V., Tamashevich S. G. (2022) Automated System for Monitoring the Radiation Situation of the Environment with an Open Architecture of Construction. *NRU “Institute for Applied Physical Problems named after A. N. Sevchenko”*, Minsk, Jan. 29, 2015. 131–134 (in Russian).
13. Shalkevich P. K., Kundas S. P., Gishkeluk I. A. (2016) Computer Graphics Technologies for Visualisation of the 3D Modeling Results of Contaminants Migration in Natural Disperse Media. *Ecological Bulletin*. (37), 35–39 (in Russian).
14. Shalkevich P. K., Kundas S. P., Moroz A. E. (2017) Application of Cloud Technologies for Modeling the Migration of Pollutants in Natural Dispersed Media. *Sakharov Readings 2017: Environmental Problems of the XXI Century: Proceedings of the 17th International Scientific Conference, Minsk, May 18–19, 2017*. Minsk, Information Center of the Ministry of Finance. Part 2. 252 (in Russian).
15. Shalkevich P. K., Kundas S. P., Gishkeluk I. A. (2014) The Algorithm of Parallel Computing of the Nonisothermal Heat and Moisture Migration Task in Natural Disperse Environment. *Doklady BSUIR*. (5), 90–94 (in Russian).

Вклад авторов

Шалькевич П. К. определил цель и задачи исследований, сформулировал введение и заключение, разработал диаграмму потоков данных и вычислительный алгоритм, выполнил научное редактирование статьи.

Долматова А. О. выполнила описание традиционного подхода к определению содержания радионуклидов в почвах и существующих подходов к автоматизации этого процесса, приняла участие в разработке диаграммы потоков данных.

Authors' contribution

Shalkevich P. K. defined the purpose and objectives of the research, formulated an introduction and conclusion, developed the data flow diagram and the computational algorithm, performed the scientific editing of the article.

Dalmatava A. O. performed a description of the traditional approach of determining the content of radionuclides in soils and existing approaches of automation this process, took part in the development of the data flow diagram.

Сведения об авторах

Шалькевич П. К., к. т. н., доцент, и. о. заведующего кафедрой информационных технологий в экологии и медицине Международного государственного экологического института имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета

Долматова А. О., студентка Международного государственного экологического института имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета

Адрес для корреспонденции

220070, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Долгобродская, 23/1
Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета
Тел.: +375 17 230-68-97
E-mail: p.k.shalkevich@gmail.com
Шалькевич Павел Константинович

Information about the authors

Shalkevich P. K., Cand. of Sci., Associate Professor, Acting Head of Chair of Information Technologies in Ecology and Medicine of International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University

Dalmatava A. O., Student at the International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University

Address for correspondence

220070, Republic of Belarus,
Minsk, Dolgobrodskaya St., 23/1
International Sakharov
Environmental Institute
of Belarusian State University
Tel.: +375 17 230-68-97
E-mail: p.k.shalkevich@gmail.com
Shalkevich Pavel Konstantinovich