

## Алгоритм реализации программы радиационно-экологического мониторинга окружающей среды в регионе размещения ядерно- и радиационно-опасных объектов

© 2020. Е. И. Карпенко, к. б. н., в. н. с.,  
Н. И. Санжарова, д. б. н., директор,  
А. В. Панов, д. б. н., зам. директора,

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,  
249032, Россия, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км,  
e-mail: karpenko\_evgenii@mail.ru

В работе представлены главные задачи и основные этапы реализации системы радиоэкологического мониторинга (РЭМ) в регионе размещения предприятий ядерно-топливного цикла. Определены принципы, на основе которых должен осуществляться РЭМ объектов окружающей среды (ОС). Установлена связь между этапами и принципами выполнения РЭМ в регионе размещения радиационно-опасных объектов, которые заложены в программе радиоэкологического обследования территории. Показано, что для повышения эффективности и качества работ при выполнении проектов по радиоэкологическому обследованию территории существует необходимость в разработке алгоритма реализации программы РЭМ и его внедрения в систему наблюдений за состоянием ОС, включая оценку и прогноз изменений показателей данного состояния. Таким образом, в работе представлен алгоритм проведения исследований в рамках РЭМ ОС в регионе размещения ядерно- и радиационно-опасных объектов. Разработан набор независимых алгоритмов для каждого этапа работ, описывающих порядок выполнения действий при проведении РЭМ. Приведена концептуальная схема алгоритма реализации программы РЭМ. Выявлены элементы эффективной работы в рамках контроля загрязнителей в компонентах экосистем и обеспечения радиационной безопасности человека и биоты. На основе разработанных алгоритмов выработан подход, благодаря которому исследователь имеет возможность правильно организовать последовательность выполнения действий для создания сети РЭМ, проведения полевых и камеральных работ. Реализация предложенного подхода позволит оптимизировать работы по РЭМ в районах расположения предприятий ядерно-топливного цикла и получать результаты, обеспечивающие достоверную радиоэкологическую оценку рассматриваемого объекта.

**Ключевые слова:** радиационно-экологический мониторинг, ядерно- и радиационно-опасные объекты, радионуклиды, окружающая среда, алгоритм.

## Algorithm for implementing the program of radioecological monitoring of the environment in the vicinity of nuclear and radiation-hazardous facilities

© 2020. E. I. Karpenko ORCID: 0000-0002-2701-7297,

N. I. Sanzharova ORCID: 0000-0001-5896-648X, A. V. Panov ORCID: 0000-0002-9845-7572,

Russian Institute of Radiology and Agroecology,  
109 km, Kievskoye Shosse, Obninsk, Russia, 249032,  
e-mail: karpenko\_evgenii@mail.ru

The paper presents the main tasks and main stages for implementing the radiation-ecological monitoring (RM) system in the vicinity of nuclear fuel cycle facilities. The principles for performing the RM of environmental objects are determined. A relationship has been established between the stages and principles of radioecological monitoring included in the program of radioecological survey of the territory in the area of the location of radiation-hazardous objects. To improve the efficiency and quality of work in the implementation of projects on radioecological research of the territory, there is a need to develop algorithm for implementing programs of RM and its introduction into the environmental monitoring system, including the assessment and forecast of changes in indicators of this state. The authors have developed the algorithm of investigations in the framework of environmental RM in the region where nuclear and radiation hazardous facilities are located. A set of independent algorithms has been elaborated for each stage of work, describing the order of actions during conducting radiation and environmental monitoring. The paper presents the conceptual outline for realizing the RM program. The elements of the effective work within the framework of contaminants control in the components of ecosystems and radiation safety assurance of humans and biota are identified. The authors have developed an approach, whereby the researcher has the opportunity to properly organize the sequence of actions to create a network

of RM, performing field and camera work. The implementation of the proposed approach will allow optimizing the work on radiation and environmental monitoring in the areas where nuclear fuel cycle enterprises are located and obtaining results that provide a reliable radioecological assessment of the object under consideration.

**Keywords:** radioecological monitoring, nuclear and radiation-hazardous facilities, radionuclides, environment, algorithm.

Для оценки возможных негативных последствий деятельности ядерно- и радиационно-опасных объектов (ЯРОО) для окружающей среды (ОС) и населения в периоды строительства, эксплуатации в технологически штатном режиме, снятия с эксплуатации, а также при возможных аварийных ситуациях осуществляется радиационный контроль и радиоэкологический мониторинг приземного атмосферного воздуха, наземных (природных, аграрных, антропогенно-изменённых) и водных экосистем. Радиационный контроль в первую очередь нацелен на обеспечение требований безопасности самого радиационно-опасного объекта.

Рассматривая весь диапазон предприятий и установок, так или иначе использующих в своей работе ионизирующее излучение, следует отметить, что максимальное воздействие на человека и ОС как по спектру радионуклидов, так и по масштабам (особенно в случаях радиационных аварий) могут оказывать предприятия ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) [1–3]. Воздействие предприятий ЯТЦ на ОС существенно отличается на различных этапах производства энергии, включающих: добычу урановой руды, выработку электроэнергии на АЭС, вывод объектов ЯТЦ из эксплуатации и захоронение радиоактивных отходов [1–3]. Оценка возможного негативного воздействия на человека и ОС должна проводиться уже на стадии проектирования и выбора площадки размещения предприятия ЯТЦ, а затем сопровождать все этапы его строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации [4–6]. Для оценки экологической ситуации в районе размещения предприятий ЯТЦ необходимо проводить радиационно-экологический мониторинг (РЭМ) территории, целью которого является получение объективной информации о содержании радионуклидов и химических веществ в компонентах ОС, получение количественных параметров миграции загрязнителей для прогнозирования последствий различных радиационных ситуаций и оценки состояния экосистем.

К основным задачам РЭМ относятся [7]:

- выявление основных путей радиоактивного загрязнения экосистем, установление перечня приоритетных радионуклидов;

- регистрация текущего уровня радиоактивного загрязнения экосистем, наблюдение и выявление тенденций в его изменении;

- изучение общих закономерностей поведения радиоактивных веществ в экосистемах, оценка влияния природных и антропогенных факторов, обобщение полученной информации в рамках математических моделей;

- оценка радиационно-экологического состояния экосистем и прогноз возможных негативных последствий их радиоактивного загрязнения;

- разработка рекомендаций по предупреждению и устранению негативных тенденций, связанных с радиоактивным загрязнением экосистем.

Реализация системы РЭМ в регионе размещения предприятия ЯТЦ должна включать следующие этапы:

- 1 – оценка существующих уровней содержания радионуклидов в компонентах экосистем в зоне размещения предприятия ЯТЦ;

- 2 – анализ сбросов и выбросов предприятия как источника поступления радионуклидов в ОС и обоснование перечня радиоактивных веществ, подлежащих контролю;

- 3 – создание сети контрольных участков РЭМ по территориальному принципу;

- 4 – разработка регламента РЭМ при работе предприятия ЯТЦ в технологически штатном режиме и при возможных аварийных ситуациях, включающего контролируемые объекты и параметры, периодичность и объём контроля, требования к методическому и техническому оснащению, порядок сбора, анализа и передачи информации;

- 5 – создание банка данных РЭМ;

- 6 – разработка математических моделей, предназначенных для оценки и прогноза радиоэкологической обстановки в регионе размещения предприятия ЯТЦ.

Радиационно-экологический мониторинг должен осуществляться на основе следующих принципов [8]: сопряжённости наблюдений и обмена информацией между министерствами и ведомствами, ведущими мониторинг ОС; комплексности; единства целей и задач наблюдений; непрерывности наблюдений; системности наблюдений; оптимизации наблюдений; до-

стоверности исследований; сопряжённости наблюдений по системе объектов, расположенных в различных природно-климатических зонах.

Цель данной работы заключается в анализе современных подходов, применяемых в программе радиоэкологического мониторинга и создании алгоритма её реализации.

### Объекты и методы исследования

Для проведения мониторинговых работ существует необходимость в разработке программы радиоэкологических исследований. Основой при разработке данной программы является алгоритм её реализации, т. е. последовательность действий, необходимых для достижения результата. В РЭМ результатом является оценка и прогноз состояния окружающей природной среды в районе размещения ЯРОО. В настоящей работе представлены алгоритмы действий для каждого этапа работ, необходимых при проведении РЭМ.

Объектом данного исследования является программа РЭМ в регионе размещения предприятий ЯТЦ.

После определения целей и постановки задач РЭМ следует выполнение полевых и камеральных работ. В результате проведённого полевого обследования исследователь получает огромный массив данных о состоянии ОС. В дальнейшем вся информация систематизируется и представляется в виде базы данных (БД). Наиболее удобным способом для ознакомления с радиоэкологической ситуацией в районе размещения радиационно-опасного объекта являются геоинформационные системы (ГИС).

Заключительным этапом в РЭМ является оценка доз облучения человека и биоты (референтных организмов), оценка рисков и прогноз ситуации в районе размещения ЯРОО.

Концептуальная схема алгоритма реализации программы радиоэкологического мониторинга выглядит следующим образом:



Для организации РЭМ ОС в регионе размещения предприятия ЯТЦ необходимо провести анализ методов и подходов, необходимых для выполнения данной работы. На первом этапе следует обратить внимание на региональные особенности территории (информация об источниках радиоактивного загрязнения, природные условия, анализ существующих систем мониторинга и т. д.). Необходимо определить масштаб территории проводимых работ на основе анализа картографического

материала (санитарно-защитная зона, зона возможного влияния, 30-км зона вокруг источника загрязнения). Неотъемлемой составляющей при выполнении мониторинговых работ является идентификация параметров ОС для их дальнейшего исследования (перечень радионуклидов, химических загрязнителей).

Реализация РЭМ территории, прилегающей к предприятиям ЯТЦ, осуществляется путём проведения полевых и камеральных работ. Ключевым элементом в подготовке к полевым

работам является разработка программы полевых радиоэкологических исследований.

В состав программы полевых работ входят маршрутные исследования территории (гамма-съёмка территории) и исследования компонентов ОС: атмосферного воздуха, наземных (природных и аграрных) и водных экосистем.

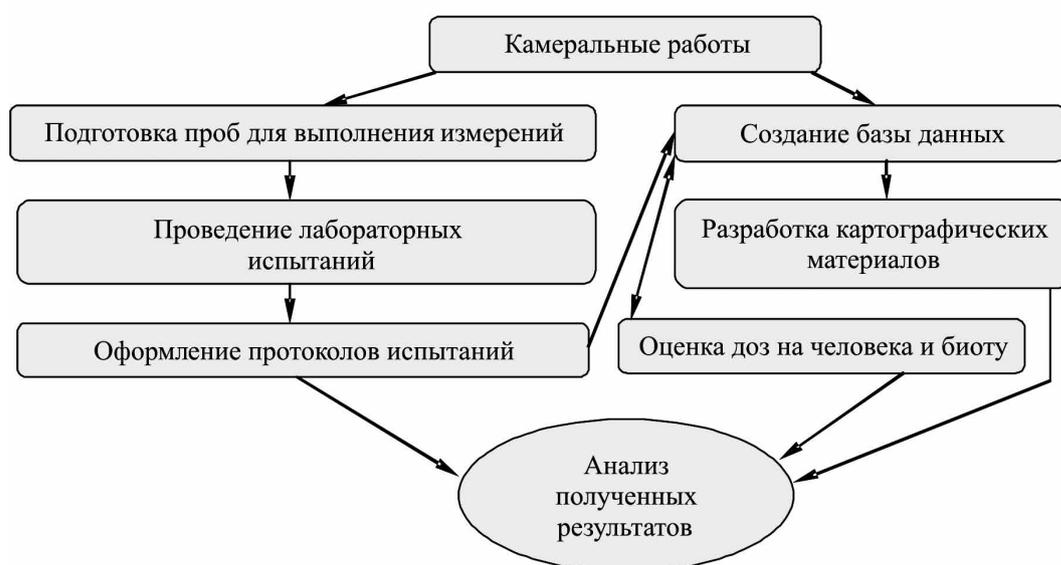
Объектами наблюдений при проведении мониторинга атмосферного воздуха являются приземный воздух и атмосферные осадки. В качестве пробных площадей аграрных экосистем для отбора проб почвы и растительности выбирают участки сельскохозяйственного назначения: пашни, пастбища, орошаемые сельскохозяйственные угодья с основными сельскохозяйственными культурами (зерновые, фрукты, овощи, технические, кормовые культуры). Суть исследований водных экосистем в районе размещения радиационно-опасных предприятий заключается в комплексности наблюдений, согласованности сроков их проведения с характерными гидрологическими фазами. Объектами исследований являются поверхностные и подземные воды, донные отложения.

Вся информация по результатам полевых исследований и камеральных работ сводится в единую БД. На основе информации, содержащейся в БД, проводится оценка уровней загрязнения радионуклидами и другими токсикантами компонентов ОС, определяются

миграционные параметры, осуществляется расчёт доз облучения населения и биоты, разрабатываются экологические карты по содержанию радионуклидов, тяжёлых металлов (ТМ), других химических соединений в ОС с помощью ГИС технологий.

Полученные результаты исследований подвергаются анализу, в процессе которого проводится статистическая обработка данных мониторинга, определяются количественные параметры миграции радионуклидов и ТМ по сельскохозяйственным пищевым цепочкам, выполняется оценка рисков производства продуктов питания (растениеводства и животноводства) и кормов сельскохозяйственных животных с превышением нормативов по содержанию радионуклидов и химических соединений на основе национальных и международных нормативных документов.

С помощью комплекса математических моделей и современных программных средств (ERICA, RESRAD-BIOTA, CROM и т. д.) выполняется прогноз изменения радиоэкологической ситуации в районе размещения предприятий ЯТЦ как при их штатной эксплуатации, так и для случаев потенциально возможных аварий (проектных, запроектных). С этой целью оцениваются дозовые нагрузки на человека и референтные виды биоты [9–16]. Схема алгоритма реализации камеральных работ выглядит так:



Заключительный этап РЭМ – это разработка рекомендаций по улучшению экологической обстановки и внедрение на объекте исследований экологически безопасных технологий и технологических приёмов для

снижения негативного влияния техногенного загрязнения ОС.

Одним из важных элементов при выполнении РЭМ является взаимодействие с министерствами, ведомствами, населением,

средствами массовой информации. Передача результатов мониторинга в доступном общественности виде – это задача, которая требует тщательного и внимательного подхода и реализуется благодаря созданию буклетов и отчётов по экологической безопасности, проведению форумов и конференций, а также с помощью других средств, необходимых для предоставления информации.

### Выводы

Алгоритм реализации программы радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения ЯРОО является важным элементом для быстрой и эффективной работы по контролю загрязнителей в компонентах экосистем и обеспечению радиационной безопасности человека и биоты. Благодаря такому подходу, исследователь имеет возможность правильно организовать последовательность выполнения действий для создания сети радиоэкологического мониторинга, проведения полевых и камеральных работ, что в целом даст возможность получения объективной информации для обеспечения радиационной безопасности населения и ОС в регионах размещения радиационно-опасных объектов.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-19-00016).*

### References

1. Kuznetsov V.M., Chechenov H.D., Nikitin V.S. The conclusion from operation of objects of use of atomic energy. Moskva: NIPCC Voskhod-A, 2009. 627 p. (in Russian).
2. Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Geras'kin S.A., Sanzharova N.I., Spirin Ye.V., Spiridonov S.I., Gontarenko I.A., Strand P. Comparative radiation impact on biota and man in the area affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant // J. Environ. Radioact. 2005. V. 80. P. 1–25. doi: 10.1016/j.jenvrad.2004.08.011
3. Aleksahin R.M., Buldakov L.A., Gubanov V.A., Drozhko E.G., Ilyin L.A., Kryshev I.I., Linge I.I., Romanov G.N., Savkin M.N., Saurov M.M., Tikhomirov F.A., Kholina Yu.B. Major radiation accidents: consequences and protective measures. Moskva: IzdAt, 2001. 752 p. (in Russian).
4. SP 47.13330.2012. Engineering researches for construction. Basic provisions. SNiP 11-02-96. Moskva, 2012. 111 p. (in Russian).
5. SP 151.13330.2012. Engineering surveys for the location, design and construction of nuclear power plants. Part I. Engineering surveys for the development of pre-project documentation (selection of a site and selection of an NPP location site). Moskva, 2013. 187 p. (in Russian).
6. SP 151.13330.2012. Engineering surveys for the placement, design and construction of nuclear power plants. Part II. Engineering surveys for the development of design and working documentation and maintenance of construction. Moskva, 2013. 155 p. (in Russian).
7. Methodology of the agro-ecological monitoring system in the area of impact from industrial and radiation-hazardous objects. Obninsk: RIARAE, 2004. 23 p. (in Russian).
8. Methods of organizing and conducting agro-ecological monitoring of agricultural land in areas of industrial contamination and the assessment of the environmental situation in agriculture in the vicinity of nuclear power plants and the Chernobyl NPP accident / Ed. N.I. Sanzharova. Obninsk: RIARAE, 2010. 276 p. (in Russian).
9. Karpenko E.I., Spiridonov S.I., Kurtmulaeva V.E. Estimated radiation doses to the population from exposure to routine atmospheric releases during long-term operation of the Leningrad NPP-2 // Radiation and risk. 2018. V. 27. No. 2. P. 20–27 (in Russian). doi: 10.21870/0131-3878-2018-27-2-20-27
10. Muller H., Prohl G. ECOSYS-87. A dynamic model for assessing radiological consequences of nuclear accidents // Health Physics. 1993. V. 64. P. 232–252. doi: 10.1097/00004032-199303000-00002.
11. D-ERICA: An integrated approach to the assessment and management of environmental risks from ionizing radiation / Eds. N. Beresford, J. Brown, D. Copplestone, J.G. Laplace, B. Howard, C.-M. Larsson, D. Oughton, G. Pröhl, I. Zinger. Swedish Radiation Protection Authority, 2007. 151 p.
12. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Ann. ICRP. 2007. V. 37. No. 2–4. P. 1–332.
13. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants // Ann. ICRP. 2009. V. 38. No. 4–6. P. 1–242.
14. Garnier-Laplace J., Copplestone D., Gilbin R., Alonzo F., Ciffroy P., Gilek M., Agüero A., Björk M., Oughton D.H., Jaworska A., Larsson C.M., Hingston J. Issues and practices in the use of effects data from FREDERICA in the ERICA Integrated Approach // Journal of Environmental Radioactivity. 2008. V. 99. P. 1474–1483. doi: 10.1016/j.jenvrad.2008.04.012
15. Brown J.E., Alfonso B., Avila R., Beresford N.A., Copplestone D., Hosseini A. New version of the ERICA tool to facilitate impact assessments of radioactivity on wild plants and animals // Journal of Environmental Radioactivity. 2016. V. 153. P. 141–148. doi: 10.1016/j.jenvrad.2015.12.011
16. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment // Safety Reports Series No. 19. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001. 229 p.