

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОМПЛЕКСНОГО РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*С.В. Барбашев*<sup>1)</sup>, *Б.С. Пристер*<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Одесский национальный политехнический университет  
Украина, 65044, г.Одесса, пр-т Шевченко, д.1; *barbashev49@mail.ru*

<sup>2)</sup> Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины  
Украина, 03680, г. Киев, ул. Лисогорская, д.12; *bprister@mail.ru*

**Резюме.** В качестве метода изучения состояния окружающей среды в районе расположения Запорожской АЭС (ЗАЭС) избран комплексный радиоэкологический мониторинг. Основными методологическими принципами такого мониторинга являются районирование территории зоны наблюдения по ландшафтно-геохимическим и физико-географическим характеристикам и формирование с учетом этого сети пунктов наблюдения. В результате проведения исследований определено, что радиационная обстановка в зоне наблюдения станции определяется, в основном, естественными радионуклидами ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ), а также радионуклидами чернобыльского и глобального происхождения ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ).

Средние значения удельной активности радионуклидов в почве и растительности зоны наблюдения ЗАЭС находятся на уровне или ниже радиационного фона, характерного для данной местности. Обнаружено накопление радионуклидов в элементах ландшафтов, играющих роль геохимических барьеров. Показано, что стоковые процессы в зоне наблюдения станции могут играть существенную роль в формировании радиационной обстановки, особенно в случае тяжелой аварии на станции.

Обнаружено, что почвы зоны наблюдения ЗАЭС значительно загрязнены тяжелыми металлами. Концентрация многих тяжелых металлов превышает их кларковые значения, а в ряде районов и ПДК. Дозовые нагрузки на население за счет всех путей облучения, рассчитанные при помощи модели, основанной на методе системного анализа с привязкой к выделенным при районировании территории расположения станции районам и подрайонам («экологическим координатам»), для возрастной группы населения 17-99 лет не превышает установленную НРБУ-97 годовую предельную дозу суммарного внутреннего и внешнего облучения. Сравнительный анализ результатов исследований 1986 – 1992 годов с данными, полученными до строительства станции и в настоящее время, показал, что за все время эксплуатации ЗАЭС концентрация радионуклидов в объектах окружающей среды не превышала фоновых и допустимых величин. Результаты радиоэкологического монито-

---

ринга свидетельствуют о том, что радиационное воздействие ЗАЭС на экосистемы в зоне наблюдения станции за весь период эксплуатации станции не достигало экологически опасных уровней.

**Ключевые слова.** Запорожская АЭС, радиоэкологический мониторинг, методология мониторинга, районирование, сеть мониторинга, почва, содержание радионуклидов, тяжелые металлы, дозовые нагрузки.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE ZAPOROZHYYE NUCLEAR POWER PLANT ON THE ENVIRONMENT BASED ON INTEGRATED RADIO-ECOLOGICAL MONITORING

*S.V. Barbashev<sup>1)</sup>, B.S. Prister<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup> Odessa National Polytechnic University,  
1, Shevchenko avenue, 65044, Odessa, Ukraine; *barbashev49@mail.ru*

<sup>2)</sup> Institute for Nuclear Safety Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine  
12, st. Lisogorskaya, 03680, Kiev, Ukraine; *bprister@mail.ru*

**Abstract.** A comprehensive radioecological monitoring was chosen as a method for studying the state of the environment in the area of the location of the Zaporizhzhya NPP (ZNPP). The main methodological principles of such monitoring are the zoning of the territory of the observation zone for landscape-geochemical and physical-geographical characteristics and the formation of observation points in view of this network. As a result of the research, it was determined that the radiation situation in the monitoring zone of the station is determined mainly by natural radionuclides ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ), as well as radionuclides of Chernobyl and global origin ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ). The average values of the specific activity of radionuclides in the soil and vegetation of the ZNPP observation zone are at or below the background radiation characteristic of the locality. The accumulation of radionuclides in elements of landscapes playing the role of geochemical barriers has been discovered. It is shown that sink processes in the station observation zone can play an essential role in the formation of the radiation situation, especially in the event of a severe accident at the station.

It was found that the soils of the ZNPP observation zone are significantly contaminated with heavy metals. The concentration of many heavy metals exceeds their clark values, and in a number of regions and maximum permissible concentrations.

Dose load on the population due to all irradiation paths, calculated using a model based on the system analysis method with reference to the areas and subareas ("ecological coordinates") allocated for regionalization of the station site, for the age group of 17-99 years does not exceed the established "Norms of radiation safety of Ukraine-97" annual limit dose of total internal and external exposure.

A comparative analysis of the results of the investigations of 1986-1992 with the data obtained before the construction of the station and at the present time showed that during the entire operation of the ZNPP the concentration of

radionuclides in the environmental objects did not exceed background and permissible values. The results of radioecological monitoring indicate that the radiation impact of ZNPP on ecosystems in the monitoring zone of the station for the whole period of operation of the station did not reach ecologically dangerous levels.

**Keywords.** Zaporizhzhya NPP, radioecological monitoring, monitoring methodology, zoning, monitoring network, soil, radionuclide content, heavy metals, dose loads.

## Введение

Запорожская АЭС (ЗАЭС) является самой крупной атомной станцией в Европе. Установленная мощность её шести реакторов ВВЭР-1000 составляет 6000 МВт. Станция находится в южной части степной зоны Украины на левом берегу Каховского водохранилища, которым зона наблюдения станции делится на две части. Южная находится в Запорожской области, а северная – в Днепропетровской. Район расположения ЗАЭС уже много лет характеризуется высоким уровнем техногенного загрязнения и деградации природной среды (Охрана окружающей среды..., 1989; Національна доповідь..., 2006; Карты Украины..., 2017).

На фоне совокупного влияния различных факторов техногенной природы очень важно оценить уровень воздействия Запорожской АЭС на окружающую среду района ее расположения. С этой целью по инициативе руководства станции в 1986 – 1992 гг. международным коллективом ученых были проведены комплексные экологические исследования окружающей среды (ОС) в зоне наблюдения станции, в которых авторы настоящей статьи изучали состояние наземных экосистем (почва, растительность, в т.ч. сельскохозяйственная и др.).

В качестве метода изучения наземных экосистем был избран радиоэкологический мониторинг (РЭМ), который базировался на разработанной авторами настоящей статьи методологии его организации и ведения (Дячук, Пристер, 1990; Пристер, Барбашев, 2009; Барбашев, Пристер, 2009).

В основу предложенной методологии положены нижеследующие концепция и принципы.

*Концепция* организации и ведения штатного и аварийного РЭМ АЭС: *мониторинг должен быть комплексным* (наблюдение за всеми элементами ОС и всеми видами загрязнителей, вне зависимости от источника), учитывать системное единство «АЭС + другие виды человеческой деятельности + природная среда + человек» и наличие обратной связи между технологическим процессом на предприятии, состоянием ОС и здоровьем человека, что *обеспечивает соблюдение эколого-гигиенических принципов нормирования факторов воздействия* и дает возможность управлять состоянием окружающей среды.

По учету факторов влияния на ОС РЭМ АЭС *должен быть радиационным, но экологическим по содержанию работ*, направленных на изучение воздействия этих факторов на экосистемы, то есть быть радиоэкологическим. Он

---

должен учитывать характеристики экосистем, находящихся в зоне влияния АЭС (типы ландшафтов, геохимию ландшафтов и т.п.), миграционные особенности среды (метеоусловия, стоки, места накопления и т.п.), физико-химические свойства загрязнителей разной природы (изоморфизм, изотопные и неизотопные аналоги и т.п.), сочетанное действие загрязнителей разной природы и другие факторы, определяющие радиационное воздействие на население и ОС.

*Задачи комплексного радиоэкологического мониторинга* окружающей среды в районе расположения АЭС:

- наблюдение за факторами воздействия и состоянием окружающей среды: оценка существующего уровня загрязнения элементов ОС, определение критических факторов и путей воздействия, критических элементов ОС;
- моделирование поведения критических загрязнителей, особенно РН, в окружающей среде и пищевых цепочках, определение критических звеньев в пищевых цепочках с целью прогнозирования уровня загрязнения ОС и дозовых нагрузок на население и определения критических групп населения;
- управление состоянием ОС в районах расположения АЭС. (Один из вариантов – применение для этого экспертных систем).

*Критическими элементами окружающей среды*, формирующими радиационную обстановку и дозовые нагрузки на население в районе расположения АЭС при штатном режиме ее работы, а также в средней и поздней фазах аварии, являются наземные экосистемы, формирующие 80-90% дозы облучения. Поэтому главное внимание при проведении РЭМ в этот период должно быть уделено именно им. Однако это не означает, что воздух, геологическую среду, водные или другие экосистемы не нужно контролировать. Но каждая из них имеет свою значимость, что определяется условиями, в которых ее контроль становится приоритетным, и задачами, стоящими перед исследователями.

В случае коммунальной радиационной аварии РЭМ АЭС также должен основываться на эколого-гигиенических принципах нормирования радиационных факторов и учитывать особенности атмосферного переноса аварийного выброса, физико-географические и ландшафтно-геохимические характеристики местности и результаты, полученные при ведении штатного мониторинга (превентивная готовность к аварии).

Оценку уровней загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на население в случае аварии целесообразно проводить для критических РН, критических (индикаторных) элементов окружающей среды, критических групп населения.

Управление состоянием ОС в случае аварии трансформируется в реализацию контрмер, направленных на минимизацию уровней её загрязнения, доз на население и численности лиц из населения, оказавшихся в сфере воздействия аварийного облучения.

*Основным методом*, предваряющим проведения РЭМ территории расположения АЭС, является ландшафтно-геохимическое районирование, которое заключается в разбиении исследуемой территории на участки (районы, подрайоны) максимально однородные в отношении характеристик процессов поступления,

миграции и накопления радионуклидов и (или) других химических элементов и веществ. Предлагаемый способ дает возможность изучить и количественно описать миграцию загрязняющих веществ, выявить места их возможного накопления и сформировать представительную сеть пунктов наблюдения.

На основе ландшафтно-геохимического районирования исследуемой территории формируется сеть пунктов наблюдения (мониторинга), которые распределяются с учетом характеристик окружающей среды вокруг АЭС, метеоусловий, включая самые неблагоприятные, рельефа местности, типов ландшафтов и почв, плотности радиоактивного загрязнения территории наблюдения, численности населения, проживающего в зоне контроля, и других характеристик местности, поддающихся количественной оценке.

Предложенные методики районирования территории зоны наблюдения (ЗН) АЭС и формирования сети мониторинга приведены в «Руководстве по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС», утвержденном Минздравом и Госкомгидрометом СССР в 1988 году и одобренном Госпроматомнадзором в 1989 году (Дячук, Пристер, 1990).

Представительность оценок, получаемых при ведении мониторинга наземных экосистем (почва, растительность), обеспечивается методикой отбора и приготовления средних проб, используемых для анализа:

- каждая проба представляет собой среднюю пробу, приготовленную из 25 индивидуальных проб;

- отбор средних проб проводится «методом конверта», размеры которого устанавливаются в зависимости от площади контролируемого участка, выделенного при районировании ЗН.

Для достижения одинаковой (равной) точности результатов измерений, распределение числа средних проб по исследуемой территории необходимо проводить пропорционально величинам площади, плотности загрязнения, численности населения и другим значимым с точки зрения риска и поддающимся учету факторам с помощью весовых коэффициентов.

Приведем некоторые из полученных при проведении РЭМ ЗАЭС результатов, которые показывают уровень экологического состояния наземных экосистем в зоне наблюдения станции, по которому можно оценить степень её влияния на окружающую среду. Подробно результаты этих исследований описаны в работах (Барбашев и др., 1991; Бронников и др., 1994; Барбашев, 2009).

### **Районирование территории зоны наблюдения Запорожской АЭС**

Изучение топографических карт Запорожской и Днепропетровской областей масштаба 1:100000 позволило выделить границы 2-х крупных водосборных бассейнов: Каховское водохранилище (VI район), которое условно делит 30-км зону наблюдения на северную (СЗН) и южную (ЮЗН) части, и река Б. Белозерка с прилегающим к ней Белозерским лиманом (IV район).

Межводораздельное пространство выделено в самостоятельные районы с одинаковыми ландшафтными и рельефными характеристиками: в ЮЗН – I, II,

---

III, в СЗН – VII – XII районы. В свою очередь, все районы, за исключением V и XII, поделены на подрайоны с близкими градиентами плотности загрязнения.

Карта-схема районирования территории расположения станции представлена на рис. 1. В 30-км зоне наблюдения ЗАЭС выделено 12 районов и 29 подрайонов.



**Рисунок 1.** Карта-схема районирования зоны наблюдения Запорожской АЭС и расположения пунктов мониторинга

— граница районов, - - - граница подрайонов, - - - - - изолинии плотности загрязнения,  
 ① - пункт отбора проб почвы, ■ - населенный пункт, ■ - АЭС, ПР<sub>1</sub> - профиль для изучения миграции.

ЮЗН представлена в основном черноземами обыкновенными малогумусными. Лишь вдоль всей прибрежной полосы р. Б. Белозерка залегают лугово-черноземные, глубоко солонцеватые грунты.

Природно-территориальный комплекс склонов балок бассейна р. Б. Белозерка представлен лугово-черноземными грунтами. Подрайоны 01-01 и 01-02 характеризуются черноземами глинисто-песчаными и супесчаными грунтами естественного и искусственного происхождения. В районе с. Днепровка вдоль оросительного канала преобладают лугово-черноземные, поверхностно-слабосолонцеватые намывные грунты на лессах.

СЗН имеет аналогичные почвенные характеристики, но с обширной системой балок со среднесмытыми и слабосмытыми грунтами и выходом пород на поверхность. Небольшую площадь занимают лугово-болотистые, лугово-глубокосолонцеватые грунты, расположенные вдоль прибрежной полосы. Можно предположить, что лугово-болотная система, являясь барьером, будет местом локализации загрязнителей разной природы.

Вся зона наблюдения представлена в основном сельскохозяйственными ландшафтами. Весьма незначительная ее часть занята целинными землями

(лугами). В подрайонах 01-01 и 01-02 преобладают антропогенные ландшафты. Треть района 01 занимает государственный лесной фонд. Границы сельхозугодий всей ЗН засажены лесопосадками.

### **Формирование сети пунктов наблюдения (мониторинга) в зоне наблюдения Запорожской АЭС**

На основании районирования, с учетом площади подрайонов, плотности загрязнения в них, которая рассчитывалась в УкрНИГМИ (г. Киев) по методике (Ткаченко, 1984), численности населения и метеоусловий сформирована сеть пунктов мониторинга (наблюдения), обеспечивающая представительность и равную точность результатов измерений на контролируемой территории. Для наблюдения за миграцией РН по направлению генерального уклона ЗН заложены 7 профилей (рис. 1), с помощью которых на минимальной по площади территории можно изучить наибольшее число различных видов сопряженных ландшафтов.

Распределение пунктов мониторинга по выделенным районам и подрайонам, рассчитанное по весовым коэффициентам по площади, по плотности загрязнения, по численности населения показано на рис.1. Общее количество пунктов равно 99 (не учитываются пункты контроля в санитарно-защитной зоне, где действуют особые законы распределения контрольных точек, и в акватории Каховского водохранилища).

Пункты распределены таким образом, чтобы при самых неблагоприятных метеоусловиях (слабонеустойчивая атмосферная стратификация в секторе, равном примерно  $14^\circ$ ) факел выброса перекрыл бы несколько из них.

В нашем случае, независимо от направления распространения факела выброса, его след перекрывает от 3 до 6 пунктов, расположенных на разных расстояниях от ЗАЭС.

В соответствии с применяемой на АЭС методикой (Методические рекомендации..., 1988) пробы почвы отбирают с площади  $15 \times 15$  см и глубины 0 – 5 см по методу «треугольника», сторона которого равна 50 м. Места отбора устанавливают по четырем основным румбам (С, В, Ю, З) на различном расстоянии от источника выброса, исходя из поставленных задач, с учетом затопляемости местности паводками, типа почв, характера их использования. Сформированная таким образом на ЗАЭС сеть для отбора проб почвы состоит из 23 пунктов, в т.ч.: 4 – на промплощадке, 3 – в санитарно-защитной зоне, 15 – в зоне наблюдения и одного контрольного пункта, расположенного на расстоянии 21 км на ЗЮЗ от АЭС (Запорожская АЭС..., 1994).

Сравнительные измерения на одной и той же аппаратуре удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и суммарной  $\beta$ -активности в почвенных образцах, отобранных в ЗН АЭС по нашей методике (методика В) и по методике, применяемой на АЭС (методика А), показали результаты, различающиеся в 2.7 (для  $^{137}\text{Cs}$ ) и 3.5 (для  $\Sigma \beta$ ) раза (табл.1). Причем, значения плотности загрязнения почвы как в подрайоне, так и в районе, полученные с использованием предлагаемой в работе методики отбора проб, превышают стационарные приблизительно на ту же величину.

**Таблица 1.** Значения плотности загрязнения почвы зоны наблюдения ЗАЭС (мКи км<sup>-2</sup>) радионуклидами при отборе проб по станционной методике (А) и по предложенной методике (В)

Название места и номер пункта отбора проб почвы	<sup>137</sup> Cs			Σβ		
	А	В	В/А	А	В	В/А
Мичурино, 01-01-01	17	72	4.2	420	3300	7.9
Рыбное хоз., 01-01-02	81	83	1.0	570	398	0.7
Дамба, 01-01-03	-	100	-	360	5300	14.7*
Ивановка, 01-02-01	25	58	2.3	850	860	1.0
Водяное, 01-03-03	24	66	2.7	210	730	3.5
Днепровка, 01-03-06	32	110	3.4	530	1800	3.4
Н. – Водное, 01-03-10	29	110	3.8	600	3000	5.0
Б. Знамянка, 03-01-01	77	120	1.6	860	2500	2.9
Среднее			2.7			3.5

**Примечание.** \* Значение не учтено при оценке среднего.

### Радиоактивность почвы и растительности в зоне наблюдения Запорожской АЭС до пуска ее в эксплуатацию

О влиянии АЭС на окружающую среду можно судить по отклонениям ее экологического состояния от того уровня («нулевого»), который был в районе расположения станции до пуска ее в эксплуатацию.

К характеристикам экологического состояния окружающей среды можно отнести уровень химического и радиоактивного загрязнения. Приведем значения уровней радиоактивности почвы в ЗН ЗАЭС до пуска ее в эксплуатацию (1984 г.) (Радиационная обстановка..., 1983): плотность загрязнения глобальным <sup>137</sup>Cs находилась на уровне 3.2±1.4 Ки км<sup>-2</sup>, <sup>90</sup>Sr – 2.4±1.1 Ки км<sup>-2</sup>; концентрация естественных радионуклидов (ЕРН) (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K) находилась в пределах одного порядка – 10<sup>-10</sup> Ки кг<sup>-1</sup> (сухого веса).

Из приведенных данных следует, что радиационная обстановка в зоне наблюдения до пуска станции определялась, в основном, естественными радионуклидами (<sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th), а также радионуклидами чернобыльского и глобального происхождения (<sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr). Среднее значение "нулевого" уровня содержания <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr в почве зоны наблюдения ЗАЭС в 1982-1983 гг. находилось ниже средних значений содержания глобальных <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, которые в почвах украинской лесостепной и степной провинции на 1982 год составляли соответственно 0.08 Ки км<sup>-2</sup> и 0.05 Ки км<sup>-2</sup> (Махонько и др., 1985), а концентрация ЕРН соответствовала типичным её значениям в почвах территории СССР.

### Концентрация радионуклидов в почве зоны наблюдения ЗАЭС и особенности их распределения

В результате исследований радиоактивного загрязнения почвы в зоне наблюдения ЗАЭС (Оптимизировать размещение..., 1988, Провести комплексный кон-

троль...,1990) было обнаружено, что суммарная  $\alpha$ - и  $\beta$ -активность почвенного покрова находится на уровне  $10^{-9} \div 10^{-8}$  Ки кг<sup>-1</sup> ( $10^{-3} \div 10^{-2}$  Ки км<sup>-2</sup>); содержание <sup>137</sup>Cs – на уровне  $10^{-10} \div 10^{-9}$  Ки кг<sup>-1</sup> ( $10^{-4} \div 10^{-3}$  Ки км<sup>-2</sup>); <sup>134</sup>Cs –  $10^{-11} \div 10^{-10}$  Ки кг<sup>-1</sup> ( $10^{-5} \div 10^{-4}$  Ки км<sup>-2</sup>); <sup>90</sup>Sr –  $10^{-11} \div 10^{-10}$  Ки кг<sup>-1</sup> ( $10^{-5} \div 10^{-4}$  Ки км<sup>-2</sup>); ЕРН (<sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th) –  $10^{-10} \div 10^{-8}$  Ки кг<sup>-1</sup> ( $10^{-4} \div 10^{-2}$  Ки км<sup>-2</sup>), т.е. находится на уровне фоновых значений, имевших место до строительства станции.

Идентификация суммарной  $\alpha$ - и  $\beta$ -активности в поверхностном слое почвы (0 – 0.05 м) нами достоверно не установлена, т.е. однозначно не определены радионуклиды, которые обуславливают эту активность. Можно лишь предположить, что причиной  $\beta$ -активности в слое 0 – 0.05 м может быть глобальный <sup>134</sup>Cs.

Статистическая обработка полученных результатов установила наличие антикорреляционных связей (коэффициент корреляции  $K = -0.67$ ) между <sup>40</sup>K и суммарной  $\beta$ -активностью. Связь между  $\beta$ -активностью и <sup>90</sup>Sr отсутствует ( $K = 0.185$ ). Также отсутствует связь между  $\alpha$ -активностью и <sup>226</sup>Ra ( $K = 0.126$ ) и  $\alpha$ -активностью и <sup>232</sup>Th ( $K = 0.142$ ).

В слое почвы 0.05 – 0.25 м суммарная  $\beta$ -активность обуславливается <sup>40</sup>K (коэффициент корреляции  $K = 0.616$ ). Для суммарной  $\alpha$ -активности корреляции не установлены.

Таким образом, можно заключить, что радиационная обстановка в районе расположения ЗАЭС определяется, в основном, естественными источниками ионизирующих излучений (<sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th и т.д.), а также искусственными радионуклидами глобального происхождения (<sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr). Указанные радионуклиды образуются и на АЭС, но выделить их во внешней среде на фоне глобальных радионуклидов практически невозможно из-за ничтожных добавок, которые они вносят.

## **Тяжелые металлы в почве зоны наблюдения Запорожской АЭС**

### *Валовая форма тяжелых металлов*

Методом атомно-эмиссионной спектроскопии (прибор ДФС-8) и методом масс-спектрометрии вторичных ионов (прибор МС-7201М) нами были определены средние концентрации тяжелых металлов (ТМ) в пробах почвы, отобранных в южной части зоны наблюдения (Провести комплексный контроль...,1990). Их анализ показал, что во всех исследованных районах (01, 03, 04, 09, 10, 12) содержание Pb, Cu, Co, Ni превышает фоновое значение (кларки по Виноградову) (Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова..., 1987), но для валовой формы концентрация всех металлов находится на уровне ниже ПДК. Следует отметить существование дефицита по Cu, Ni, V и особо остро по Mn.

По классификации И.Г. Важенина (Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова..., 1987), почвы отмеченных выше районов по содержанию в них Pb, Cu, Ni, Co могут быть отнесены к первому уровню загрязненности, при котором страдает почвенная биота и пода-

вляются некоторые биохимические процессы. В связи со сказанным, перечисленные ТМ можно считать «критическими» (по аналогии с РН) по действию на элементы наземных биогеоценозов данной местности.

Точно также районы 01, 03, 04, 09, 10, 12 можно считать "критическими" по отношению к загрязнению почвы ТМ, поэтому территория этих районов должна находиться под постоянным мониторингом.

### ***Подвижная форма тяжелых металлов***

Подвижная форма ТМ является наиболее экологически значимой, так как отвечает за скорость миграции по пищевым и ценозным цепочкам.

Концентрации подвижных форм приоритетных ТМ (Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Mn, V, Ti) были определены методом атомно-абсорбционной спектроскопии (прибор ААС-3). Анализ полученных результатов показал (Провести ком-плексный контроль..., 1990), что в южной части зоны со временем растет кон-центрация в почве Pb, Ni, Co, Mn. Кроме того обнаружено, что во в с е х исследованных районах есть места, в которых наблюдается превышение ПДК для Cu, Ni, Co. Следует напомнить, что для валовой формы превышение ПДК не было ни для одного из металлов.

Исследования показали, что по уровню содержания подвижной формы ТМ количество "критических" районов меньше, чем для валовой. К ним можно отнести некоторые участки районов 01, 07, 09, 10 и практически весь район 04.

Таким образом, анализ почв зоны наблюдения ЗАЭС на содержание в них ТМ показывает, что они значительно загрязнены этими элементами. Концентрация некоторых ТМ в почве превышает либо ПДК, либо фоновый уровень (кларк). Поэтому с токсикологической точки зрения ТМ должны оказывать большее влияние на окружающую среду и человека, чем радионуклиды, концентрация которых в окружающей ЗАЭС среде находится на уровне антропогенного фона.

### **Корреляционная связь между разными химическими элементами из группы тяжелых металлов**

Сложность химического состава почвы, наличие в ней загрязнителей разной природы, непостоянство природных условий и значительные различия свойств, усложняют описание миграции в почве химических элементов. Одной из характерных особенностей почвы как природного объекта, является наличие в ней огромного числа микроорганизмов, избирательно поглощающих ионы, вовлекая их в метаболизм. В силу этих причин приходится иметь дело с информацией о почве, подверженной случайным возмущениям, обусловленным наличием ряда неконтролируемых факторов. Поэтому при работе с такой информацией необходимо пользоваться статистическими методами. Для выявления конкретного вида статистических связей между исследуемыми признаками, параметрами, факторами, явлениями разной природы применяют корреляционный анализ (Методы математической биологии..., 1981).

Воспользуемся методом корреляционного анализа и обработаем результа-

ты измерений концентрации подвижной формы ТМ (Ni, Mn, Pb, Cu, Co, Zn, V) в верхнем слое ( $h = 5$  см) почв 30-км зоны ЗАЭС, а также данные по их агрохимическим свойствам (гумус,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ). Результаты корреляционного анализа приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2 между концентрациями Pb, Mn, Cu, существует очень высокая корреляционная связь, что может свидетельствовать об их общем источнике. Им могут быть предприятия теплоэнергетики, металлургии, рудодобывающей и перерабатывающей промышленности, расположенные вблизи Запорожской АЭС. Корреляционная связь между тяжелыми металлами и радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $\Sigma\beta$  не установлена, что свидетельствует об их разном происхождении и может служить доказательством того, что ЗАЭС не является источником выбросов ТМ.

Отсутствие взаимосвязи Zn с остальными ТМ и наличие взаимозависимости с агрохимическими свойствами, особенно с обменным кальцием, может указывать на то, что Zn занесен в почву в результате длительного применения цинкосодержащих удобрений, микроудобрений или с минеральными частицами в процессе разрушения почвообразующих пород.

**Таблица 2.** Коэффициенты корреляции между концентрациями в почве 30-км зоны Запорожской АЭС подвижной формы тяжелых металлов и её агрохимическими свойствами (1988 г.)

	Mn	Pb	Cu	Co	Zn	гумус	$\text{HCO}_3^-$	Cl	SO	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$
Ni	0.93	0.98	0.7	0.97		-	-	-	-	-	-	-
Mn		0.88	0.83	0.85		0.57	0.56	-	0.69	-	0.56	
Pb	0.88		0.68	0.97		-	-	-	-	-	-	-
Cu	0.83	0.68		0.64		-	-	-	0.58	-	-	-
Co	0.85	0.97	0.67			-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-		0.62	0.50	-	-	0.87	-	-

Следует заметить, что большая загрязненность почвы тяжелыми металлами и на фоне этого существование дефицита по некоторым микроэлементам (особенно Mn) может привести к интенсивному включению в пищевые цепочки радиоактивных продуктов коррозии, выброшенных в окружающую среду АЭС. В связи с этим наблюдение (мониторинг) за поведением (миграция, накопление) тяжелых металлов в окружающей Запорожскую АЭС среде должно обязательно входить составной частью в комплексный радиоэкологический мониторинг района расположения станции.

### **Поверхностная миграция радионуклидов в зоне наблюдения Запорожской АЭС**

Эрозия сельскохозяйственных угодий является существенным фактором загрязнения и заиления водных объектов. Поступающие с поверхностным стоком в водные объекты и различные безводные понижения территории биоген-

ные вещества (азотные и фосфорные удобрения, гумус), пестициды, взвешенные вещества органического и минерального происхождения нарушают естественные гидрохимические и гидробиологические процессы. Это приводит к евтрофированию водных объектов, заилению и образованию мелководий.

Существенным последствием водной эрозии почв является появление потенциальной опасности загрязнения водных объектов радионуклидами, которые сорбируются твердым стоком в зонах радиоактивного загрязнения участков поверхности водосбора. В этой связи представляет особый интерес разработка картографических моделей и схем районирования зон наблюдения АЭС по интенсивности смыва верхнего слоя почвы. В экстремальных ситуациях такие модели и схемы могут служить основой для принятия решений по перехвату поверхностного стока, формирующегося на участках повышенного радиоактивного загрязнения.

В работе (Барбашев, 2009) на примере Запорожской АЭС была показана целесообразность использования балансовых региональных моделей поверхностной миграции различных веществ при проведении комплексного радиоэкологического мониторинга районов расположения АЭС и определения с их помощью мест возможного накопления радионуклидов.

Обнаружено, что основными местами аккумуляции наносов являются пойменная часть р. Б. Белозерка, балка Сорокина, участок Ваниковской балки и «блюдца» с пониженным рельефом. Сравнивая локализацию геохимических барьеров в ЗН ЗАЭС с участками накопления наносов, было отмечено совпадение в расположении площадных испарительных щелочных барьеров с механическими барьерами для стоков, которыми являются балка Сорокина и пойма р. Б. Белозерка. В этих местах наиболее вероятно ожидать накопление РН и загрязняющих веществ другой природы, переносимых на частицах почвы.

Сравнительный анализ данных, полученных при моделировании поверхностной миграции радионуклидов показал (Барбашев, 2009), что в течение года исследуемая территория южной части ЗН ЗАЭС характеризуется незначительным смывом почвенного покрова, за исключением песчаных кучугур в районе г. Энергодар и изрезанных склонов поймы р. Б. Белозерка, на площади которых смыв почв сильный и очень сильный. В этих местах было обнаружено небольшое, в пределах порядка величины, повышение суммарной  $\beta$ -активности и содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почве. Эти места совпадают с обнаруженными нами местами накопления радионуклидов: пункты 01-01-01 ( $\Sigma \beta$ ) и 04-03-01 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ).

Для северной части ЗН ЗАЭС ситуация является совершенно другой. Эта часть зоны наблюдения характеризуется сильно изрезанным рельефом и хорошо развитой системой балок и оврагов. Поэтому стоковые процессы здесь могут играть значительную роль в формировании радиационной обстановки, особенно при аварии на ЗАЭС с выбросом РН в ОС. Свой вклад в радиационную ситуацию могут внести через стоки и другие источники РН, имеющиеся в Днепропетровской области.

Таким образом, проведенные исследование показали, что изучение стоковых процессов и поверхностной миграции радионуклидов с целью прогнозирова-

ния радиационной обстановки должно стать элементом системы комплексного радиоэкологического мониторинга в районах расположения АЭС и частью работ по превентивной готовности к аварийному реагированию.

### **Определение дозовых нагрузок на население зоны наблюдения Запорожской АЭС**

Расчет дозовых нагрузок на население, проживающее в районе расположения Запорожской АЭС, проводился по модели, основанной на определении коэффициентов перехода по трофическим и природным цепочкам и “привязанной” к выделенным при районировании подрайонам, как своего рода пространственным “экологическим координатам” (Барбашев, 2009).

Коэффициенты перехода (К) радионуклидов по пищевой цепочке «почва – растительность» были определены по формуле:  $K = A_p / A_n$  [ $\text{км}^2 \text{кг}^{-1}$ ] с использованием данных измерений активности радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $\Sigma\beta$  в пробах почвы ( $A_n$ ,  $\text{Ки км}^{-2}$ ) и естественной травянистой растительности  $A_p$  ( $\text{Ки кг}^{-1}$ ), отобранных в пунктах сети мониторинга, сформированной по описанной выше методике. При этом использовались усредненные за 1988 ÷ 1991 гг. данные по активностям почвы и растительности.

Статистический многофакторный анализ значений коэффициентов перехода для радиоактивного загрязнения почвы и растительности показывает, что коэффициенты перехода группируются в зависимости от типа почв в две достаточно самостоятельные группы. К первой, самой многочисленной группе, относятся коэффициенты перехода на черноземах, ко второй – коэффициенты на песчаных и супесчаных почвах (Барбашев, 2009).

Расчет дозовых нагрузок выполнялся нами для *реального выброса* ЗАЭС за 1991 год, *реальных уровней загрязнения окружающей среды* двумя критическими радионуклидами ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ), двух возрастных групп населения (дети 1 – 8 лет и взрослые 17 – 99 лет) и для трех подрайонов (01-01, 01-02, 03-02). Ограниченное число подрайонов, взятое для проведения расчетов, обусловлено наличием максимально необходимой для этого информации, которая получена в большинстве пунктов мониторинга указанных выше подрайонов. Для остальных подрайонов информации недоставало, поэтому для них были выполнены оценочные расчеты с использованием литературных данных (Оптимизировать размещение..., 1988), которые, однако, не дали объективной картины распределения доз.

Значения рассчитанных ожидаемых средних индивидуальных доз облучения различных возрастных групп и значения реальных уровней загрязнения воздуха, воды, поверхности почвы приведены в табл. 3-5.

Анализ полученных результатов показал, что при реальных концентрациях РН в объектах окружающей среды дозы облучения от РН находящихся в воздухе, на несколько порядков (до 6) ниже доз облучения, обусловленных выпадениями на поверхность почвы. Это согласуется с данными Публикации МКРЗ № 29 (Выброс радионуклидов в окружающую среду, 1980). Значения же доз облучения населения, приведенные в табл. 3-5, с точностью до порядка

совпадают со значениями средних годовых индивидуальных доз облучения населения СССР в 1980 и 1981 гг. (Бабаев и др., 1984) за счет всех источников облучения (природные, техногенные, глобальные и др.).

**Таблица 3.** Значения объемных активностей РН в объектах окружающей среды и ожидаемые среднегодовые индивидуальные дозы облучения для подрайона 03-02 Запорожской АЭС

Нуклид	В воздухе, пКи м <sup>-3</sup>	В питьевой воде, пКи м <sup>-3</sup>	В воде водоемов, пКи м <sup>-3</sup>	На поверхности почвы, пКи м <sup>-3</sup>
Cs-137 Sr-90 Сумма	1E-13 0.00	1E-12 1E-13	1E-12 1E-12	0.080 0.78
Возрастная группа: 17 – 99 лет Доза, мкбэр				
Нуклид	Все тело	Гонады	Костный мозг	Легкие
Cs-137 Sr-90 Сумма	2.1E4 2.3E4 4.4E4	2.1E4 0.00 2.1E4	2.0E4 1.3E5 1.4E5	2.0E4 0.00 2.0E4
Доза, мкбэр				
Нуклид	Пов. кости	Прочие		
Cs-137 Sr-90 Сумма	2.0E4 2.7E5 3.0E5	2.3E4 0.00		
Возрастная группа: 1 – 8 лет Доза, мкбэр				
Нуклид	Все тело	Гонады	Костный мозг	Легкие
Cs-137 Sr-90 Сумма	7.7E4 3.0E4 1.1E5	7.7E4 0.00 7.7E4	7.2E4 1.6E5 2.3E5	7.2E4 0.00 7.2E4
Доза, мкбэр				
Нуклид	Пов. кости	Прочие		
Cs-137 Sr-90 Сумма	7.2E4 3.5E5 4.3E5	8.3E4 0.00 8.3E4		

Доля облучения *только от выбросов* ЗАЭС, т.е. их вклад в общую дозу, может быть оценена с привлечением справочных и литературных данных (Бабаев и др., 1984; Козлов, 1991). Определенная таким образом дозовая нагрузка на органы и тело человека по всем путям воздействия (суммарное, внешнее и внутреннее облучение) от *реального выброса* ЗАЭС составляет  $10^{-3} \div 10^{-2}\%$  от рассчитанной в настоящей работе по данным, отражающим воздействие источников облучения разного происхождения (природные, антропогенные, техногенные).

Дозовые нагрузки на население за счет всех путей облучения, рассчитанные при помощи модели, основанной на методе системного анализа с привязкой к выделенным при районировании территории расположения станции районам и подрайонам («экологическим координатам»), для возрастной группы населения 17-99 лет составляют около  $0.5 \text{ мЗв год}^{-1}$ , что не превышает установленную Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) годовую предельную дозу суммарного внутреннего и внешнего облучения для

лиц категории В (население), равную  $1 \text{ мЗв год}^{-1}$ . При этом дети получают дозу большую, чем взрослые.

**Таблица 4.** Значения объемных активностей РН в объектах окружающей среды и ожидаемые среднегодовые индивидуальные дозы облучения для подрайона 01-02 Запорожской АЭС

Нуклид	В воздухе, пКи м <sup>-3</sup>	В питьевой воде, пКи м <sup>-3</sup>	В воде водоемов, пКи м <sup>-3</sup>	На поверхности почвы, пКи м <sup>-3</sup>
Cs-137	1.6E-16	1E-13	1E-12	0.094
Sr-90	0.00	1E-13	1E-12	0.051
Сумма				
Возрастная группа: 17 – 99 лет				
Доза, мкбэр				
Нуклид	Все тело	Гонады	Костный мозг	Легкие
Cs-137	2.5E4	2.5E4	2.3E4	2.3E4
Sr-90	1.5E4	0.00	8.0E4	0.00
Сумма	4.0E4	2.5E4	1.0E5	2.3E4
Доза, мкбэр				
Нуклид	Пов. кости	Прочие		
Cs-137	2.3E4			
Sr-90	1.8E5	2.7E4		
Сумма	2.0E5	0.00		
Возрастная группа: 1 – 8 лет				
Доза, мкбэр				
Нуклид	Все тело	Гонады	Костный мозг	Легкие
Cs-137	9.1E4	9.1E4	8.4E4	8.4E4
Sr-90	1.9E4	0.00	1.0E5	0.00
Сумма	1.1E5	9.1E4	1.9E5	8.4E4
Доза, мкбэр				
Нуклид	Пов. кости	Прочие		
Cs-137	8.4E4			
Sr-90	2.3E5	9.7E4		
Сумма	3.2E5	0.00		

Рассматривая дозы облучения группы критических органов (все тело, гонады, костный мозг), можно выделить два подрайона, в которых имеется тенденция к увеличению доз. Это - подрайон 03-02 и 01-02. В подрайоне 03-02 отмечена возможность повышения облучения всего тела за счет  $^{90}\text{Sr}$  у взрослых и  $^{137}\text{Cs}$  у детей и костного мозга для обеих возрастных групп за счет  $^{90}\text{Sr}$ . В подрайоне 01-02 для обеих возрастных групп имеется вероятность повышения облучения гонад за счет  $^{137}\text{Cs}$ .

Возможное увеличение облучения населения в подрайоне 03-02 связано, вероятно, с тем, что большую часть территории этого подрайона занимает пойма р. Б. Белозерка. С расположением поймы совпадают геохимические барьеры испарительного щелочного и механического типа. В результате, район 03-02 является местом аккумуляции радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

Повышенный уровень облучения гонад в подрайоне 01-02 может быть связан как с наличием повышенных (но в пределах нормы) концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в питьевой воде, так и с рационом питания, с жизненным укладом, привычками, потребностями и др.

**Таблица 5.** Значения объемных активностей РН в объектах окружающей среды и ожидаемые среднегодовые индивидуальные дозы облучения для подрайона 01-01 Запорожской АЭС

Нуклид	В воздухе, пКи м <sup>-3</sup>	В питьевой воде, пКи м <sup>-3</sup>	В воде водоемов, пКи м <sup>-3</sup>	На поверхности почвы, пКи м <sup>-3</sup>
Cs-137	5.4E-16	1E-13	1E-12	0.08
Sr-90	0.00	1E-13	1E-12	0.06
Сумма				
Возрастная группа: 17 – 99 лет Доза, мкбэр				
Нуклид	Все тело	Гонады	Костный мозг	Легкие
Cs-137	2.1E4	2.1E4	2.0E4	2.0E4
Sr-90	1.7E4	0.00	9.5E4	0.00
Сумма	3.8E4	2.1E4	1.1E5	2.0E4
Доза, мкбэр				
Нуклид	Пов. кости	Прочие		
Cs-137	2.0E4	2.6E4		
Sr-90	2.1E5	0.00		
Сумма	2.3E5	0.00		
Возрастная группа: 1 – 8 лет Доза, мкбэр				
Нуклид	Все тело	Гонады	Костный мозг	Легкие
Cs-137	7.7E4	7.7E4	7.2E4	7.2E4
Sr-90	2.3E4	0.00	1.2E5	0.00
Сумма	1.0E5	7.7E4	1.9E5	7.2E4
Доза, мкбэр				
Нуклид	Пов. кости	Прочие		
Cs-137	7.2E4	8.3E4		
Sr-90	2.7E5	0.00		
Сумма	3.4E5	0.00		

Подрайон 01-01 в отношении дозовых нагрузок на население достаточно благополучен. Это и не удивительно, т.к. его территорию занимают промплощадки различных предприятий, в т.ч. ЗАЭС, дачи, профилактории и др., т.е. постоянно проживающего населения в нем нет.

Сравнение результатов расчета дозовых нагрузок на население, выполненного на ЗАЭС по принятым в отрасли методикам (Руководство по расчету индивидуальных и коллективных доз..., 1989) и данными, полученными нами, показывает, что по величине они совпадают. Однако «станционная» методика не позволяет указать расположения мест возможного повышенного уровня дозовых нагрузок, что обеспечивает предлагаемый нами подход к их определению.

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о том, что для получения информации о формировании и величине дозовых нагрузок на население, проживающее в районах расположения АЭС, одних только данных о закономерностях воздушного переноса выброшенных с АЭС радионуклидов и о потреблении продуктов питания недостаточно. Необходимо еще иметь сведения о характеристиках наземных экосистем и особенностях миграции и накопления в них радионуклидов.

Для этого необходимо внести соответствующие поправки и дополнения в используемые в настоящее время на АЭС Руководство по расчету индивиду-

альных и коллективных доз облучения населения от выбросов радионуклидов, поступающих в атмосферу при эксплуатации АЭС, а также в Рекомендации и Регламент по проведению радиационного контроля на АЭС.

## **Обсуждение результатов радиоэкологического мониторинга зоны наблюдения Запорожской АЭС**

Результаты проведения комплексного радиоэкологического мониторинга в зоне наблюдения Запорожской АЭС по описанной в работе методологии (Дячук, Пристер, 1990) позволили сделать следующие выводы:

1. Сеть постов радиационного контроля в 30-км зоне ЗАЭС, сформированная в соответствии с действующими в настоящее время на украинских АЭС рекомендациями, методическими указаниями и регламентом не является представительной, дает заниженные результаты измерений концентраций радионуклидов в почве, не отображает ландшафтно-геохимических характеристик контролируемой территории, не учитывает миграционные процессы. В результате, распределения радионуклидов по поверхности зоны наблюдения, определяемое на АЭС (Запорожская АЭС..., 1994; Состояние радиационной безопасности..., 2007) отражает лишь пространственное и временное изменение статистических характеристик почвы под действием природных и антропогенных процессов (дождь, снег, хозяйственная деятельность), а не особенности атмосферного переноса и выпадений радионуклидов или других загрязняющих веществ, их горизонтальную и вертикальную миграцию и возможное накопление в ландшафтах.

Сеть пунктов мониторинга, сформированная с учетом характеристик наземных экосистем, свободна от указанных выше недостатков. С ее помощью можно определить особенности горизонтального и вертикального распределения радионуклидов (естественного, глобального и станционного происхождения) в зоне наблюдения и обнаружить места накопления радионуклидов в элементах ландшафтов, играющих роль геохимических барьеров.

2. Определено, что радиационная обстановка в зоне наблюдения станции определяется, в основном, естественными радионуклидами ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ), а также радионуклидами чернобыльского и глобального происхождения ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ).

Средние значения удельной активности радионуклидов в почве и растительности зоны наблюдения ЗАЭС находятся на уровне или ниже радиационного фона, характерного для данной местности. Обнаружено накопление радионуклидов в элементах ландшафтов, играющих роль геохимических барьеров. Показано, что стоковые процессы в зоне наблюдения станции могут играть существенную роль в формировании радиационной обстановки, особенно в случае тяжелой аварии на станции.

3. Система радиационного контроля окружающей среды, применяемая на Запорожской АЭС (как и на других АЭС Украины), не ориентирована на определение содержания других, кроме радионуклидов, загрязняющих веществ, например, тяжелых металлов. А именно они, находящиеся в почве зоны

---

наблюдения станции в значительных концентрациях, определяют экологическую и токсикологическую обстановку и экологический риск в регионе. И хотя Запорожская АЭС не является их источником, но тяжелые металлы могут способствовать интенсивному включению радиоактивных продуктов коррозии, выбрасываемых АЭС, в пищевые цепочки и создавать, таким образом, дополнительную дозовую нагрузку и риск для населения. Это дает основание говорить о необходимости включения в перечень измеряемых на АЭС параметров содержание тяжелых металлов в объектах окружающей среды.

4. Дозовые нагрузки на население следует определять с учетом ландшафтно-геохимического районирования территории зоны наблюдения, привязываясь к «экологическим координатам» (выделенным при районировании районам и подрайонам). Только таким образом можно учесть особенности миграции радионуклидов по звеньям пищевой и биогеоценотической цепочек и выделить критические для облучения элементы природной среды и группы населения.

Так, предлагаемая в работе модель расчета дозовых нагрузок на население, «привязанная» к «экологическим координатам» дала возможность определить места, в которых имеется тенденция к увеличению уровня облучения, что не позволяет сделать применяемая на АЭС методика.

Дозовые нагрузки на население за счет всех путей облучения, рассчитанные при помощи модели, основанной на методе системного анализа с привязкой к выделенным при районировании территории расположения станции районам и подрайонам («экологическим координатам»), для возрастной группы населения 17-99 лет составляют около  $0.5 \text{ мЗв год}^{-1}$ , что не превышает установленную НРБУ-97 годовую предельную дозу суммарного внутреннего и внешнего облучения для лиц категории В (население), равную  $1 \text{ мЗв год}^{-1}$ .

5. Сравнительный анализ результатов исследований 1986 – 1992 годов с данными, полученными до строительства станции и в настоящее время (Состояние радиационной безопасности..., 2007), показал, что за все время эксплуатации ЗАЭС концентрация радионуклидов в объектах окружающей среды практически не изменилась, она не превышала и не превышает фоновых и допустимых величин. Результаты радиоэкологического мониторинга позволяют сделать вывод о том, что радиационное воздействие ЗАЭС на экосистемы в зоне наблюдения станции за весь период эксплуатации станции не достигало экологически опасных уровней.

И хотя система радиационного контроля, применяемая на станции, в целом справляется с поставленными перед ней задачами, тем не менее требуются изменения методологии проведения измерений в окружающей среде с целью учета ее экологических, гигиенических, ландшафтно-геохимических, физико-географических, демографических и других факторов, формирующих радиационную обстановку и дозовые нагрузки на население и экологический (радиационный) риск в районе расположения АЭС при любом режиме работы, в т.ч. в аварийной ситуации и при ликвидации ее последствий.

Это позволит не только представительно определять, но и прогнозировать и управлять радиоэкологической обстановкой и рисками в районе расположе-

ния АЭС, что, кроме всего прочего, обеспечит превентивную готовность к аварийному реагированию.

### Список литературы

АЭС и окружающая среда. 1994.– Х., Изд-во «Харьков», 100с.

Бабаев Н.С., Демин В.Ф., Ильин Л.А. и др. 1984. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. – М., Энергоатомиздат, 312 с.

Барбашев С.В. 2009. Система комплексного радиоэкологического мониторинга районов расположения АЭС Украины. – дис. ... д-ра техн. наук. – Одесса, 394 с.

Барбашев С.В., Верховецкий Н.А., Пристер Б.С. 1991. Радиоактивное и химическое загрязнение почвы и растительности в районе Запорожской АЭС – М., ИАЭ им. И.В. Курчатова, 82 с.

Барбашев С.В., Пристер Б.С. 2009. Пути и способы учета экологических принципов в системе радиационной безопасности АЭС. – В сб.: Научн. ст. V междунар. научно. – практ. конф. «Экологическая безопасность: проблемы и пути решения». – Алушта, 7 – 11 сентября 2009, т. 1, с. 110 – 113.

Бронников В.К., Верховецкий Н.А., Назипов Р.М., Барбашев С.В. и др. 1994. Запорожская АЭС и окружающая среда.– Х., Изд-во «Харьков», 100с.

Выброс радионуклидов в окружающую среду. Расчет доз облучения человека. Публикация № 29 МКРЗ. 1980.– М., Атомиздат, 95 с.

Дячук В.А., Пристер Б.С. и др. 1990. Методические рекомендации по проведению комплексного (радиоэкологического, химического) мониторинга почв и ландшафтов в окрестностях АЭС. – В кн.: Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС. – Л., Гидрометеиздат, с. 239 – 249.

Запорожская АЭС и окружающая среда. Радиоэкологическое состояние зоны наблюдения в 1993 году. 1994. Вып.1. /под ред. С.В. Барбашева. – Одесса, Украинское ядерное общество, 72 с.

Карты Украины. Экология, загрязнение, радиация – Электронный ресурс. URL:<http://www.imbf.org/tools/karty-ehkologii.html> (дата обращения 14 апреля 2017).

Козлов В.Ф. 1991. Справочник по радиационной безопасности. – М., Энергоатомиздат, 352 с.

Махонько К.П., Силантьев А.Н., Шкуратова И.Г. 1985. Контроль за радиоактивным загрязнением природной среды в окрестностях АЭС. – Л., Гидрометеиздат, 136 с.

Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах окружающей среды. 1988. - В кн.: Сборник правил и норм по радиационной безопасности в атомной энергетике, т.3. – М., Минздрав СССР, с. 361-395.

---

---

Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова по уровням загрязненности промышленными выбросами. 1987. – М., Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 28 с.

Методы математической биологии. Кн. 2: Методы синтеза алгебраических и вероятностных моделей биологических систем. 1981. / под ред. А.А. Стогний и А.М. Клочков. – К., Высшая школа, с. 205 - 289.

Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні у 2006 році. 2006. – К., Мінприроди України., 548 с.

Оптимизировать размещение пунктов радиационного контроля окружающей среды в районе расположения Запорожской АЭС и выдать методику определения дозовых нагрузок на население. Отчёт о НИР № 314-42; № ГР 01880007978. 1988. – Одесса, Одесский политех. ин-т, 79с.

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в СССР. Статистический сборник. 1989. – М., Финансы и статистика, 174 с.

Пристер Б.С., Барбашев С.В. Формирование сети пунктов радиэкологического мониторинга в районах расположения АЭС. - В сб. научн. ст. V междунар. научно. – практ. конф. «Экологическая безопасность: проблемы и пути решения». – Алушта, 7 – 11 сентября 2009, т. 1, с. 200 – 203.

Провести комплексный контроль загрязнения почвы и растительности в 30-км зоне Запорожской АЭС и создать для него автоматизированный банк данных. Отчёт о НИР № 409-42; № ГР 01890005967. 1990. – Одесса, Одесский политех. ин-т, 116 с.

Радиационная обстановка в районе размещения Запорожской АЭС до пуска ее в эксплуатацию. Отчёт о НИР. 1983. – М., Ин-т биофизики Минздрава СССР, 53с.

Руководство по расчету индивидуальных и коллективных доз облучения населения от выбросов радионуклидов, поступающих в атмосферу при эксплуатации АС, 1989. - В кн.: Сборник правил и норм по радиационной безопасности в атомной энергетике, т. 3. – М., Минздрав СССР, с. 19 - 315.

Состояние радиационной безопасности и радиационной защиты на Запорожской атомной электростанции в 2006 г. Ежегодный отчет. 2007. – Энергодар, ОП «Запорожская АЭС», 102 с.

Ткаченко А.В. 1984. Методика расчета приземной концентрации примеси по метеорологическим данным. В сб.: Тр. УкрНИИ Госкомгидромет. – К., УкрНИГМИ, вып. 224, с. 19 – 31.

## Reference

*AJeS i okruzhajushhaja sereda.* 1994. [Nuclear power and the environmental turn]. Harkov, Izd-vo «Har'kov» Publ., 100 p.

---

Babaev N.S., Demin V.F., Il'in L.A. i dr. 1984. *Iadernaia energetika, chelovek i okruzhaiushchai asreda* [Nuclear energy, people and the environment]. Moscow, Jenergoatomizdat Publ., 312 p. (In Russian).

Barbashev S.V. 2009. *Sistema kompleksnogo radioekologicheskogo monitoringa raionov raspolozheniia AES Ukrainy* [The system of complex ecological monitoring of Ukraine NPP location]. Doctor's thesis. Odessa, 394 p. (In Russian).

Barbashev S.V., Verkhovetskii N.A., Prister B.S. 1991. *Radioaktivnoe i khimicheskoe zagriaznenie pochvy i rastitel'nosti v raione Zaporozhskoi AES* [The radioactive and chemical contamination of soil and vegetation in the area of Zaporizhzhya NPP]. Moscow, 82 p. (In Russian).

Barbashev S.V., Prister B.S. 2009. *Puti i sposoby ucheta ekologicheskikh printsipov v sisteme radiatsionnoi bezopasnosti AES* [Ways and means of integrating environmental principles in nuclear radiation security]. *Sb. nauchn. st. 5 Mezhdunar. nauchno. – prakt. konf. «Ekologicheskaiia bezopasnost': problemy i puti resheniia»* [Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. "Environmental Security: Problems and Solutions"]. Alushta, vol. 1, pp. 110 – 113. (In Russian).

Bronnikov V.K., Verkhovetskii N.A., Nazipov R.M., Barbashev S.V. i dr. 1994. *Zaporozhskaiia AES i okruzhaiushcha a sereda* [Zaporizhzhya NPP and the environment]. Khar'kov, Izd-vo «Har'kov» Publ., 100 p. (In Russian).

*Vybrosov radionuklidov v okruzhaiushchuiu sredu. Raschet dos oblucheniia cheloveka. Publikatsiia № 29 MKRZ.* 1980. [The release of radionuclides into the environment. Calculation of human exposure. Publication of number 29 of the ICRP]. Moscow, Atomizdat Publ., 95 p. (In Russian).

Diachuk V.A., Prister B.S. i dr. 1990. *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniiu kompleksnogo (radioekologicheskogo, khimicheskogo) monitoringa pochv i landshaftov v okrestnosti akh AES* [Guidelines for integrated (radiological, chemical) monitoring of soils and landscapes in the vicinity of nuclear power plants]. V kn.: *Rukovodstvo po organizatsii kontroliia sostoianiiia prirodnoi sredy v raionerasplozheniia AES* [Guide on control of the natural environment in the NPP location]. Leningrad, pp. 239 – 249. (In Russian).

*Zaporozhskaiia AES i okruzhaiushchaia sreda. Radioekologicheskoe esostoiani ezony nabliudeniia v 1993 godu.* 1994. [Zaporizhzhya nuclear power plant and the environment. Radioecological state of the surveillance zone in 1993]. Odessa, Ukrainskoe jadernoe obshchestvo Publ., no.1, 72 p.

*Karty Ukrainy. Ekologiiia, zagriaznenie, radiatsiia* [Maps of Ukraine. Ecology, pollution, radiation]. URL: <http://www.imbf.org/tools/karty-ehkologii.html>. (data obrashheniia 14 aprelja 2017).

Kozlov V.F. 1991. *Spravochnik po radiatsionnoi bezopasnosti* [Radiation Safety Directory]. Moscow, Jenergoatomizdat Publ., 352 p. (In Russian).

Makhon'ko K.P., Silant'ev A.N., Shkuratova I.G. 1985. *Kontrol 'za radioaktivnym zagriazneniem prirodnoi sredy v okrestnosti akh AES* [Monitoring of

---

radioactive contamination of the environment in the vicinity of AES]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 136 p. (In Russian).

*Metodicheskie rekomendatsii po obsledovaniuu i kartografirovaniuu pochvennogo pokrova po urovniam zagriaznennosti promyshlennymi vybrosami.* 1987. [Guidelines for survey and mapping of soil on the level of pollution by industrial emissions]. Moscow, Pochvennyj in-t im. V.V. Dokuchaeva Publ., 28 p. (In Russian).

*Metodicheskie rekomendatsii po sanitarnomu kontroliu za sodержaniem radioaktivnykh veshchestv v ob"ektakh okruzhaiushchei sredy.* 1988. [The Guidelines on the sanitary control over the content of radioactive substances in the environment]. V kn.: *Sbornik pravil i norm po radiatsionnoi bezopasnosti v atomnoi energetike – The collection of rules and regulation on radiation safety standard in the nuclear industry.* Moscow, Minzdrav SSSR Publ., vol.3, pp. 361 - 395. (In Russian).

*Metody matematicheskoi biologii. Kn. 2: Metody sinteza algebraicheskikh i veroiatnostnykh modelei i biologicheskikh sistem.* 1981. [Methods of mathematical biology. Vol. 2: Methods of synthesis of algebraic and probabilistic models of biological system]. Kiev, Vysshaja shkola Publ., pp. 205 - 289. (In Russian).

*Natsional'na dopovid' pro stan navkolishn'ogo seredovishcha v Ukraini u 2006 rotsi* [National report on the state of the environment in Ukraine in 2006]. Kiev, 548 p. (In Ukrainian).

*Optimizirovat 'razmeshchenie punktov radiatsionnogo kontroliia okruzhaiushchei sredy v raione raspolozheniia Zaporozhskoi AES i vydat' metodiku opredeleniia dozovykh nagruzok na naselenie. Otchet o NIR.* 1988. [Optimize the place men to radiation monitoring points within an area of Zaporizhzhya NPP location and issue a method for determining the radiation burden on the population. Report on research]. Odessa, Odesskij politeh. in-t Publ., 79p. (In Russian).

*Okhrana okruzhaiushchei sredy i ratsional'noe ispol'zovanie prirodnykh resursov v SSSR* [Environmental protection and rational use of natural resources in the USSR]. *Statisticheskii sbornik. 1989. – Statistical digest.* Moscow, 174 p. (In Russian).

Priester B.S., Barbashev S.V. 2009. *Formirovanie seti punktov radioekologicheskogo monitoringa v raionakh raspolozheniia AES* [Formation of a net work of stations radiation monitoring in nuclear power plant location area]. *Sb. nauchn.st. 5 Mezhdunar.nauchno. – prakt. konf. «Ekologicheskaiia bezopasnost': problemy i put iresheniia»* [Proc. 5<sup>th</sup> Int.Conf. "Environmental Security: Problems and Solutions"]. Alushta, vol. 1, pp. 200 – 203. (In Russian).

*Provesi kompleksnyi kontrol' zagriazneniia pochvy i rastitel'nosti v 30-km zone Zaporozhskoi AES i sozdat' dlia nego avtomatizirovannyi ibank danniaxh. Otchet o NIR.* 1990. [Conduct a comprehensive soil pollution control and vegetation in the

30-km zone of Zaporozhye NPP and create an automated bank danyah for him. Report on research]. Odessa, Odesskij politeh. in-t Publ., 116 p. (In Russian).

*Radiatsionnaia obstanovka v raione razmeshcheniia Zaporozhskoi AES do puska ee v ekspluatatsiiu. Otchet o NIR.1983.* [The radiation situation in the accommodation area of the Zaporozhye nuclear power plant before its start-up. Report on scientific and research work]. Moscow, In-t biofiziki Minzdrava SSSR Publ., 53 p. (In Russian).

Rukovodstvo po raschetu individual'nykh i kollektivnykh doz oblucheniia naseleniia ot vybrosov radionuklidov, postupaiushchikh v atmosferu pri ekspluatatsii AS. 1989. [Guidance on the calculation of individual and collective doses to the population from releases of radionuclides released in to the air during plant operation]. V kn.: *Sborni kpravil i norm po radiatsionno ibezopasnosti v atomno ienergetike – The collection of rules and regulations on radiation safety standard sin the nuclea rindustry.* Moscow, vol.3, Minzdrava SSSR Publ., pp.19-315. (In Russian).

*Sostoianie radiatsionnoi bezopasnosti i radiatsionnoi zashchity na Zaporozhskoi atomno ielektrostantsii v 2006 g. Ezhegodnyiotchet.* 2007. [Status of radiation safety and radiation protection at the Zaporozhye nuclear power plant in 2006. Annual Report]. Energodar, OP «Zaporozhskaja AJeS» Publ., 102 p. (In Russian).

Tkachenko A.V. 1984. Metodika rascheta prizemnoi kontsentratsii primesi po meteorologicheskim danniam [Methods of calculation of surface concentration of the impurity by meteorological data]. *Trudy Ukr NII Goskomgidromet – Works of the Institute Ukr Goskomgidromet.* Kiev, no. 224, pp. 19 – 31. (In Russian).

*Статья поступила в редакцию: 29.04.2017 г.*

*После переработки: 02.06.2017 г.*