

ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КРИТИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ
ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНОВ УКРАИНЫ

Т.Д. Лев, Б.С. Пристер, В.Д. Виноградская, О.Г. Тищенко, В.Н. Пискун

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Лысогорская, 12/106, г. Киев, 03028, Украина,
e-mail: tdlev@ispnpp.kiev.ua, bprister@gmail.com, vinvd@rambler.ru, otischenko@ispnpp.kiev.ua, pvnppiskun@mail.ru*

С целью минимизации последствий крупных радиационных аварий в Украине и для планирования поставочного мониторинга объектов окружающей среды разработана и реализована в виде геоинформационных процедур методология превентивной оценки степени радиоэкологической критичности территории Украины на государственном уровне. При разработке учитывались природные экологические характеристики в рамках гидрографического районирования территории Украины с выделением районов речных бассейнов и суббассейнов. Проведены геоинформационное моделирование и оценка радиоэкологической критичности одной из составляющих водосборных территорий – сельскохозяйственных земель Украины с выделением наиболее критичных зон по формированию дозы радиоактивного облучения ^{137}Cs на население вследствие аварийных ситуаций на атомных электростанциях. Использование методологии позволит принимать оптимальные управленческие решения о внедрении и проведении мероприятий по контролю продукции и защите населения в случае аварийных ситуаций.

Ключевые слова: радиоэкологическая критичность, районирование, бассейновый принцип, геоинформационное моделирование, картографирование.

Вступление. Согласно результатам исследований последствий крупных радиационных аварий, оценка последствий воздействия аварий на население и окружающую среду требует рассмотрения и учета характеристик местности: локальных географических особенностей региона, ландшафтной структуры местности, распределения населения по территории, структуры землепользования, водопользования и сельскохозяйственного производства [1,13]. В Руководстве по безопасности МАГАТЕ № NS-G-3.2 [10] при оценке выполнимости аварийного плана на конкретной атомной электростанции (АЭС) и моделировании дозовых нагрузок на население в случае аварийных ситуаций рекомендуются рассмотрение и учет природных характеристик местности и структуры промышленности и сельского хозяйства в регионе. Однако конкретных методических указаний для реализации рекомендаций не существует.

Как показали последние крупные аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) и АЭС Фукусима, оценку радиационной ситуации и планирование защитных мероприятий для снижения уровней загрязнения продукции и дозовой нагрузки на население проводили по результатам оперативного мониторинга объектов окружающей среды. Для выявления локальных особенностей загрязненной территории и выделения приоритетных районов внедрения реабилитационных мероприятий потребовалось время. Вследствие этого полученные в ходе радиоэкологического мониторинга результаты были запоздалыми и не достаточными для принятия решений. Оперативный мониторинг после аварии должен быть предельно оптимизирован и направлен

в основном на уточнение фактической картины загрязнения местности радионуклидами [13].

Для наиболее быстрого и оптимального управления процессами ликвидации последствий радиационных аварий необходимо изучить и заблаговременно провести анализ и радиоэкологическую оценку природно-географических особенностей территорий вокруг АЭС. Это является неотъемлемой частью процедуры экологической оценки, которая используется в качестве инструмента превентивного экологического регулирования хозяйственной деятельности в странах ЕС [2, 3] и предлагается к использованию в Украине [16].

Цель проведения превентивной радиоэкологической оценки территории по экологическим характеристикам местности – выявление критических особенностей территории для снижения их влияния на формирование дозы облучения населения до аварии на ядерных или радиационных объектах. Использование современных ГИС-технологий позволяет получать пространственно-временную картину формирования радиационной обстановки с учетом местных условий, выявлять наиболее уязвимые районы и эффективно управлять процессами реабилитации загрязненных территорий. В рамках проекта SAVE¹ [17] была проведена идентификация уязвимых областей территории Англии и Уэльса с использованием прогностических (модельных) данных о загрязнении продукции на основе почвенных характеристик по ячейкам регулярной сети 5×5 км и данным осадения ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС. Показано, что если уязвимость оценивается с ис-

¹ Spatial Analysis of Vulnerable ecosystems in Europe: Spatial and dynamic prediction of radiocaesium fluxes into European foods.

пользованием данных о загрязнении сельскохозяйственной продукции, то пространственная картина становится более сложной и зависит от вида продукта питания или кормопроизводства.

В настоящей статье рассмотрена *превентивная* оценка влияния основных экологических факторов на интенсивность миграции радионуклидов в системе почва—растение, обуславливающих потенциальную радиоэкологическую критичность для территории Украины в границах ее гидрографических районов.

Методы, материалы и предмет исследования. Для изучения и оценки степени радиоэкологической критичности территории применяется природно-экологический анализ (ПЭА) свойств и значимости ее компонентов. В ходе такого анализа выявляется интенсивность миграционных процессов для радионуклидов в объектах окружающей среды в случае радиоактивного загрязнения территории, определяются границы этих объектов и устанавливаются приоритеты при планировании и внедрении защитных мероприятий. ПЭА территории основан на бассейново-ландшафтном принципе районирования — выделении крупных водосборных бассейнов, имеющих некоторую природную целостность и общность в структуре природно-экологической организации территории.

Бассейновый принцип деления территории лежит в основе гидрографического районирования² территории, изложенного в Водной Рамочной Директиве ЕС [2] как базового уровня деления территории, имеющего народнохозяйственное значение [5]. Деление территории на гидрографические единицы — районы речных бассейнов (бассейновый уровень) и суббассейнов (суббассейновый уровень), позволяет разрабатывать комплексные планы управления территориями с учетом физико-географических, экологических и социально-экономических условий.

В данной работе бассейн используется в качестве первичной объективно существующей структурной единицы территории, в которой определяются тип ландшафта, тип почвы и тип землепользования — экологические факторы, что дает возможность учесть влияние локальных условий местности на процессы осаждения радионуклидов на подстилающую поверхность, миграцию в системе почва—растение и формирование дозы облучения населения при поступлении радионуклидов в организм животных и человека с продуктами питания. Радиоэкологический анализ территории осуществляется с использованием методов ландшафтно-типологического и экологического картографирования средствами ГИС-технологий и набора показателей, характеризующих радиоэкологические особенности территории³.

² Деление территории на гидрографические единицы — районы речных бассейнов (бассейновый уровень) и суббассейны (суббассейновый уровень).

³ Радиоэкологические особенности территории — степень миграции радионуклидов в системе почва—растения и форми-

Методология проведения превентивной оценки радиоэкологической критичности⁴ гидрографических районов включает в себя [4, 7, 14, 15] радиоэкологическое районирование исследуемой территории на основе бассейново-ландшафтного принципа с использованием ГИС-технологий и превентивную интегральную оценку радиоэкологической критичности указанных районов.

Метод радиоэкологического районирования [14, 15] основан на том, что выделенные районы в бассейне (суббассейне) рассматриваются как экологически однородные территории, согласно выделенным типам элементарных ландшафтов, почв, подстилающей поверхности, землепользования и растительности, при этом для определения плотности выпадений радионуклидов и других характеристик допускается усреднение их значений по территории района.

Превентивная оценка радиоэкологической критичности заключается в интегральной оценке экологических параметров, влияющих на процессы миграции радионуклидов из почвы в растения, с учетом вклада каждого параметра в общую суммарную критичность района.

Для территории Украины выполнено гидрографическое районирование в соответствии с методологией, изложенной в статье [5]. Созданная пространственная база данных на основе опубликованных данных и результатов наших исследований [6, 8, 11, 18] с использованием оригинальной информации интернет-портала <http://www.diva-gis.org/gdata> и материалов Национального атласа Украины [9] включает в себя следующие векторные карты:

— *карту бассейнов* с гидрографическим районированием М 1 : 200 000 (рис. 1);

— *карту рельефа* (точечные объекты) — получена путем конвертации растровых данных проекта SRTM⁵ (<http://srtm.csi.cgiar.org/>), разрешение 900×600 м, с помощью средств ГИС ArcGIS;

— *карту почв* [9];

— *карту растительного покрова* — получена путем конвертации растровых данных проекта ЕС “GLC2000 global dataset” (<http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/product.php>) по терминологии LCCS⁶ с помощью средств ГИС ArcGIS;

— *карту плотности населения* (полигональное покрытие) — получена путем конвертации растровых данных проекта “CIESIN, 2000, Global gridded population database”.

На карте гидрографического районирования (рис. 1), построенной согласно методологии [5],

рование дозовой нагрузки на население на основе рационов питания и структуры землепользования.

⁴ Радиоэкологическая критичность — способность ландшафта интенсивно накапливать радионуклиды в растительной продукции и быть источником повышения дозовой нагрузки на население.

⁵ Shuttle radar topographic mission.

⁶ Land Cover Classification Scheme.

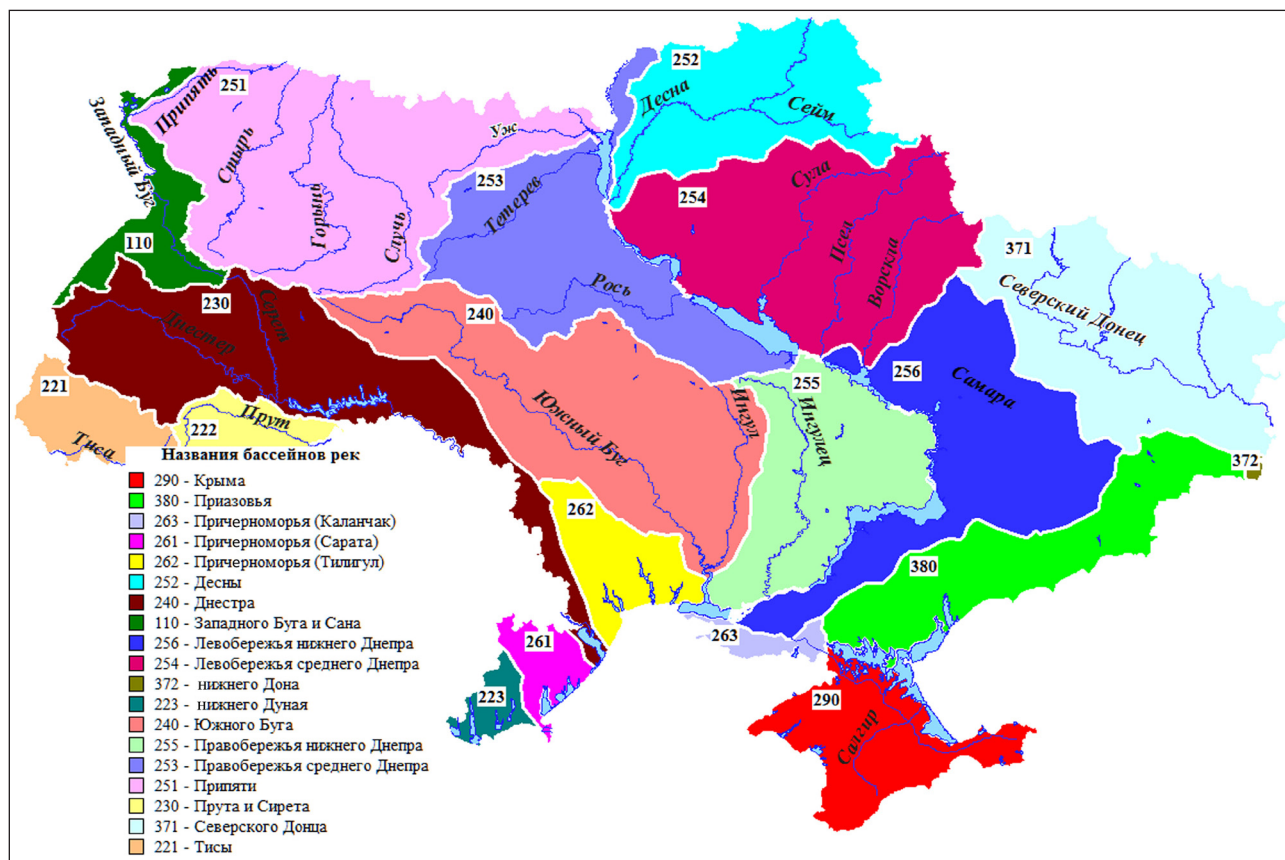


Рис. 1. Гидрографическое районирование Украины

Fig. 1. Hydrographic zoning of Ukraine

выделено 19 районов, равномерно покрывающих территорию Украины, — объектов для оценки радиоэкологической критичности.

Созданные векторные карты с нанесенной классифицированной и закодированной атрибутивной информацией объединены на регулярной сетке с шагом 2×2 км ($\approx 150\,000$ ячеек), покрывающей территорию Украины. Сеточные данные об экологических характеристиках территории сведены в одну таблицу с присвоением объединенного уникального кода гидрографической единицы. Код состоит из кодов моря, основной реки, ее первого притока и является объединяющим элементом при геоинформационной обработке цифрового картографического материала и тематическом картографировании с созданием оценочных и ситуационных карт.

Выбор экологических характеристик территории и их классификация. Для радиоэкологической оценки территории гидрографических районов на государственном уровне выбраны следующие экологические характеристики, которые влияют на формирование индивидуальной дозы облучения населения: высота рельефа и структура гидрографической сети, тип почвы, структура природопользования. Демографические характеристики территории определяют величину коллективной дозы.

Первый этап районирования территории — обработка и анализ исходного картографического материала. С этой целью проводились укрупнение, груп-

пировка и оптимизация характеристик территории для описания типологических классов. На втором этапе по кодам гидрографического района и почвы выполнялась группировка пространственных объектов — ячеек сетки, что позволило выделить однородные типологические объекты в рамках бассейна. Карта однородных типологических объектов строилась с использованием автоматизированной ГИС-процедуры MapInfo, которая средствами языка MapBasic в автоматическом режиме группировала и объединяла ячейки сетки в отдельные полигоны по заданным критериям. Карта состоит из 167 типологических объектов (рис. 2), классифицированных и оцененных по степени радиоэкологической критичности.

Величина радиоэкологической критичности (*REC*) для каждого выделенного типологического объекта оценивалась как суммарный эффект влияния экологических параметров на процессы миграции радионуклидов в системе почва—растение—человек, экспертно оцененных с использованием весового вклада каждого параметра в сумму критичности. Показатель радиоэкологической критичности рассчитывается с использованием взвешенной суммы значений параметров⁷:

$$REC = \sum_{i=1}^4 Vkw_i \cdot x_i^j, \quad (1)$$

⁷ <http://матметоды.пф/author/pichugin/>

где Vkw_i – весовой коэффициент вклада i -го экологического параметра w_i в интегральный показатель REC (сумма всех весовых коэффициентов равна единице, табл. 1); x_i^j – весовой вклад j -го класса критичности i -го экологического параметра w_i (табл. 2).

Вклад каждого экологического параметра w_i в интегральном показателе REC зависит от его роли в миграционных процессах переноса радионуклидов из почвы в растения. Комплексная оценка экологических параметров проводилась с использованием накопленного аналитического и экспериментального материала о поведении ^{137}Cs в разных почвах, его поступлении в растения и накоплении в урожае на загрязненных после аварии на ЧАЭС сельско-

хозяйственных территориях Украинского Полесья [12, 19]. По данным сети многолетнего радиоэкологического мониторинга проводился сравнительный анализ коэффициентов перехода ^{137}Cs в системе почва–растения для разных типов почв, видов растений при различной структуре ведения сельского хозяйства.

Весовой вклад класса критичности параметров x_i^j рассчитывался на основе системы весовых коэффициентов Фишберна – ранжирование экологических параметров в порядке установленного класса радиоэкологической критичности:

$$x_i^j = \frac{j}{1+2+\dots+j}, \quad (2)$$

где j – количество классов критичности для экологических параметров; вес последующего класса будет иметь тот же знаменатель, но в числителе будет стоять $j-1$. Первый класс наиболее критичный при минимальном весовом коэффициенте.

Пространственный анализ территории и комплексная оценка параметров позволяют выделить и ранжировать классы экологических параметров в порядке уменьшения их критичности: природопользования – 4 класса, почв – 20, перепада высот – 9, плотности населения – 5 классов (табл. 2).

В разделе классы почв наиболее критичны (классы 1, 2) торфяно-болотные, почвенные комплексы с торфяно-болотными почвами, а наиме-

Таблица 1. Экспертная оценка вклада экологических параметров в интегральный показатель радиоэкологической критичности REC

Table 1. Expert assessment of the environmental parameters contribution in the integrated value radioecological criticality REC

Экологический параметр w_i	Vkw_i^* , доли единицы
Тип природопользования, Fl	0,40
Тип почвы, Sl	0,35
Высота рельефа, Elev	0,15
Плотность населения, Pop	0,10

* Вклад экологического параметра в интенсивность процесса миграции радионуклидов из почвы в растения.

Таблица 2. Классификация и ранжирование экологических факторов по классам критичности и весовому вкладу

Table 2. Classification and ranking of environmental factors by class of criticality and weight

Класс почв	Классы критичности почв							
	Fl		Sl		Elev, м		Pop, чел·км ⁻²	
	Тип ландшафта	Вес*	Тип почвы	Вес*	Градация	Вес*	Градация	Вес*
1	Лес	0,04	Торфяно-болотная	0,0017	0–50	0,0033	>100	0,0067
2	Луга и болотные территории	0,08	Почвенные комплексы с торфяно-болотными почвами	0,0033	50–100	0,0057	60–100	0,0133
3	Городская застройка	0,12	Дерновая	0,0050	100–150	0,0100	40–60	0,0200
4	Агроландшафт	0,16	Лугово-болотная	0,0067	150–200	0,0133	20–40	0,0267
5	–	–	Аллювиальная луговая	0,0083	200–250	0,0167	0–20	0,0333
6	–	–	Дерново-подзолистая	0,0100	250–300	0,0200	–	–
7	–	–	Серая лесная	0,0117	300–600	0,0233	–	–
8	–	–	Солонец	0,0133	600–1000	0,0267	–	–
9	–	–	Бурозем	0,0150	1000–1710	0,0300	–	–
....								
20	–	–	Чернозем типичный	0,0333	–	–	–	–

* Весовой вклад класса критичности экологического параметра.

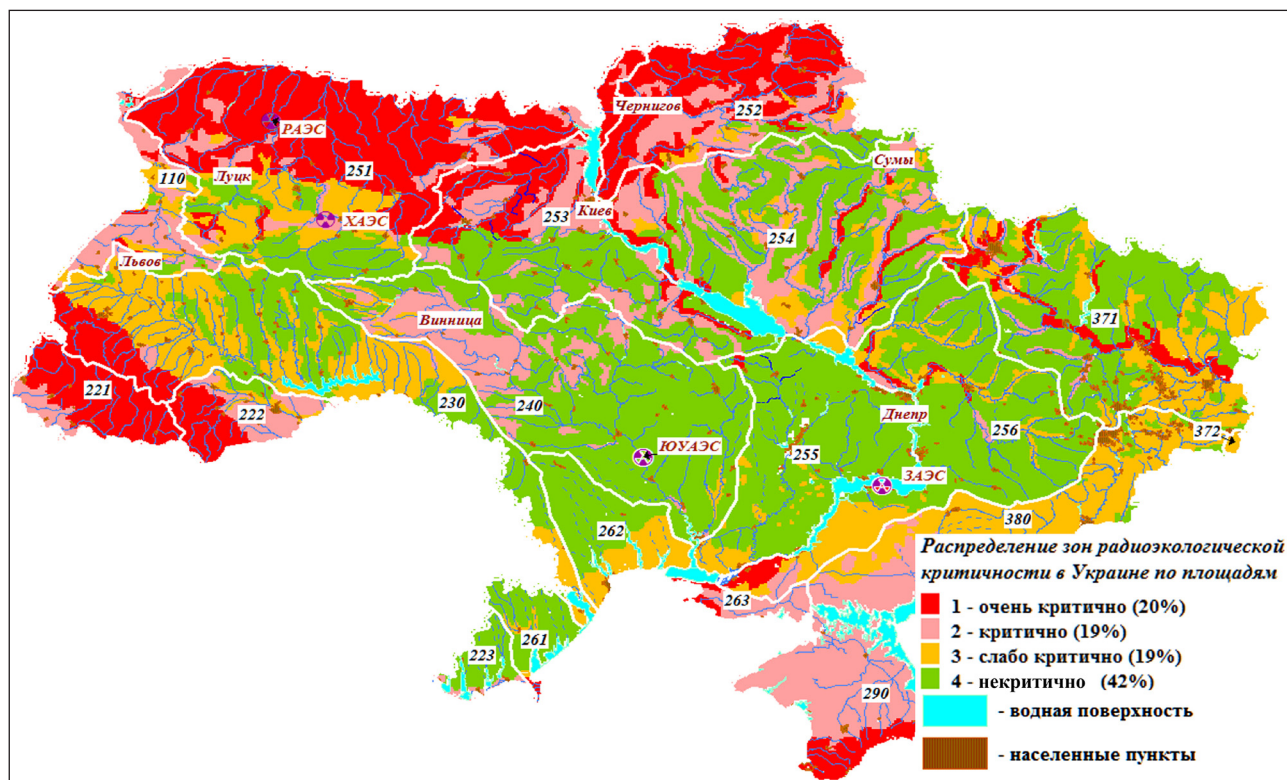


Рис. 3. Распределение зон радиоэкологической критичности по гидрографическим районам территории Украины

Fig. 3. Distribution of radioecological criticality zones by hydrographic areas of the Ukraine territory

который большой вклад вносят тип природопользования и тип почвы, что обеспечивает высокие коэффициенты корреляции;

— коэффициенты вариации (C_{var}) характеризуют степень пространственной однородности выбранных параметров, что позволяет выделить тип почвы и перепад высот наиболее неоднородными параметрами по сравнению с типом природопользования и плотностью населения;

— коэффициенты детерминации (R^2), характеризующие различие параметров по отдельным классам критичности, имеют высокие значения для параметров FI, SI, REC, т. е. вариации этих параметров на 60–70 % обусловлены различиями в сгруппированных классах критичности. Низкие значения R^2 для параметра Pop свидетельствуют о том, что только около 30 % вариаций этого параметра обусловлено вариациями выбранных экологических параметров, а остальные — влиянием других факторов.

Статистический анализ входных данных подтвердил правомерность использования выбранных параметров для проведения радиоэкологической оценки территории по интегральному показателю радиоэкологической критичности REC с последующим разделением территории гидрографических районов на классы критичности.

Классификация пространственных данных по ячейкам сетки (1-й способ) и типологическим единицам в рамках гидрографического района (2-й способ) по величине радиоэкологической критичности проводится средствами тематического картографирования с использованием ГИС-процедур: ArcGIS (“Analysis of grouping”) и MapInfo (классификация методами “Quantile” и “Natural Break”). Результаты классификации сравнивались. Для каждой переменной по группам (классам) вычислялось значение коэффициента детерминации R^2 , которое отражает, в какой степени вариация в исходных

Таблица 3. Статистические характеристики экологических параметров по 167 типологическим единицам

Table 3. The statistical characteristics of environmental parameters by 167 typological units

Параметр	Коэффициенты корреляции					C_{var}	R^2
	FI	SI	Elev	Pop	REC		
FI	1,00	0,52	–0,15	0,05	0,93	0,19	0,68
SI	0,52	1,00	0,13	0,14	0,76	0,55	0,74
Elev	–0,15	0,13	1,00	–0,30	0,10	0,59	0,64
Pop	0,05	0,14	–0,30	1,00	0,03	0,29	0,26
REC*	0,93	0,76	0,10	0,03	1,00	0,20	0,74

* Интегральный показатель радиоэкологической критичности рассчитан по трем параметрам (FI, SI, Elev).

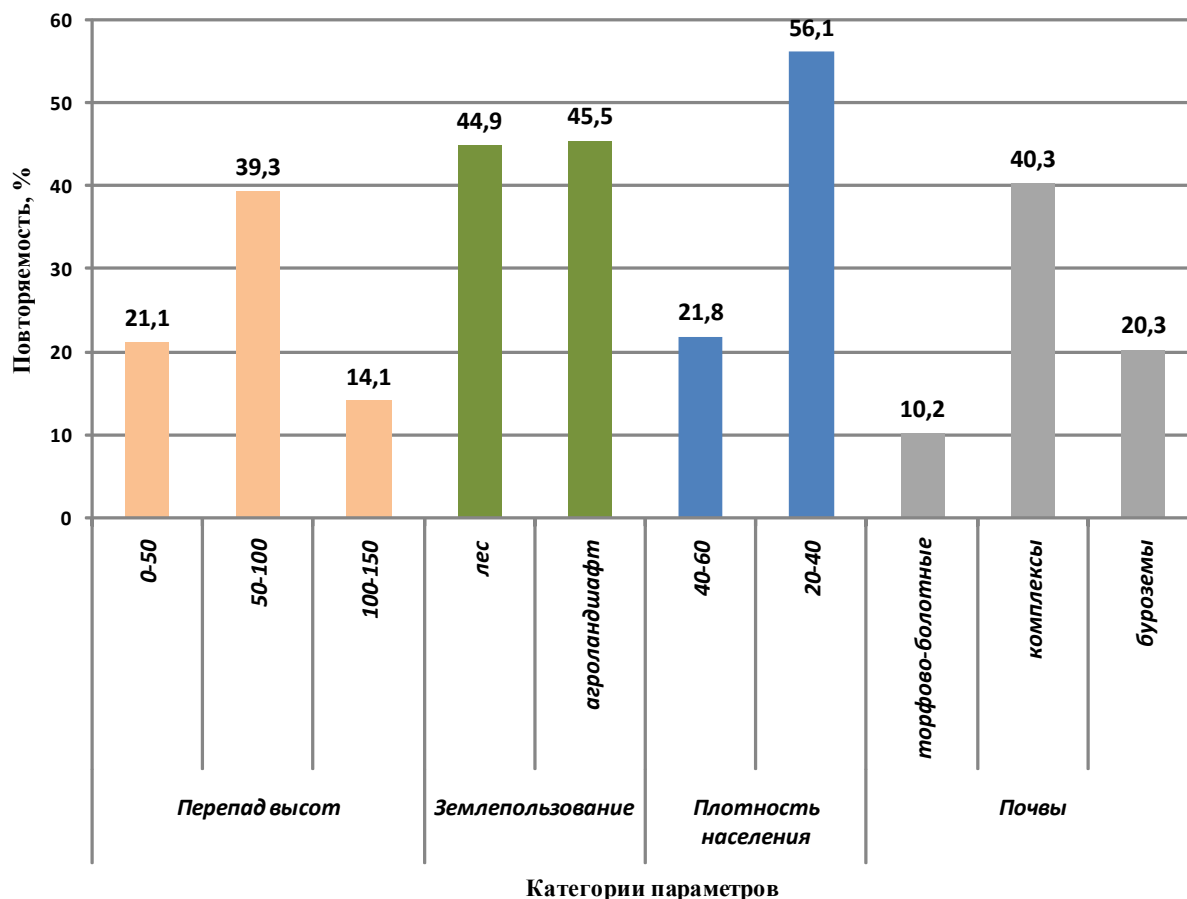


Рис. 4. Повторяемость экологических факторов для класса “очень критично”

Fig. 4. Frequency of environmental factors for the class “very criticality”

данных была сохранена в процессе группировки. Чем больше значение R^2 для определенной переменной, тем лучше переменная делится на группы. Значения R^2 изменяются от 0,64 для высоты рельефа до 0,79 для типа почвы в отдельных группах.

Таким образом, средствами геоинформационного картографирования проведена оценка степени критичности территории Украины с построением карты распределения радиоэкологической критичности по гидрографическим районам (рис. 3).

Пространственный анализ классов радиоэкологической критичности по территории Украины. По результатам тематического картографирования и анализа группировки экологических параметров средствами ГИС выделены классы критичности по градациям интегрального показателя REC с расчетом занимаемых площадей (% от всей площади Украины): 1-й – “очень критично” (19,8 %); 2-й – “критично” (19,2 %); 3-й – “слабо критично” (18,7 %); 4-й – “некритично” (42,2 %).

Получено распределение классов экологических параметров (в %) по классам степени радиоэкологической критичности, для каждого класса критичности рассчитана повторяемость категорий экологических факторов. Для класса “очень критично” (рис. 4) часто встречаются критические сочетания малонаселенных территорий с лесом и агроландшафтом на пониженном рельефе с поч-

венными комплексами, включающими торфяные и болотные почвы.

Пространственная картина распределения классов критичности по данным статистического анализа позволяет выделить наиболее критичные районы. На рис. 5 видно, что из 20 % территории Украины, лежащей в классе “очень критично”, 45,5 % площади занимают земли сельскохозяйственного назначения.

Геоинформационный и физико-статистический анализ гидрографических районов позволил интегрально оценить степень их радиоэкологической критичности. В табл. 4 цветом показаны наиболее критичные (красный цвет) гидрографические районы. На территории, составляющей почти 1/5 территории Украины и отнесенной к 1-му классу “очень критично”, проживает около 6 % населения страны. Так, густонаселенные территории гидрографических районов 253, 254 и 371 с численностью населения от 23 % попадают в классы “критично” и “очень критично”, их площади достигают 50 %. Как правило, эти критические районы лежат в поймах рек, на пониженных болотных или лесных территориях.

Таким образом, тематическое картографирование с созданием ситуационных карт и табличного статистического материала по превентивной радиоэкологической оценке территорий позволяет

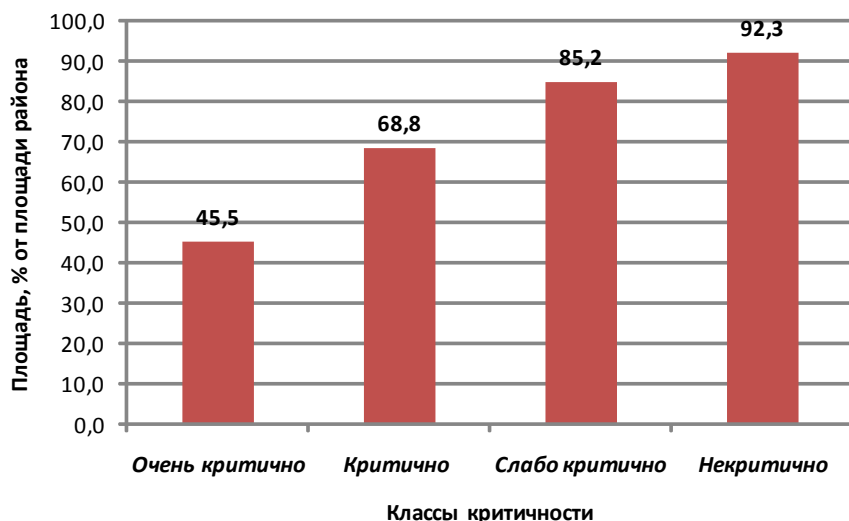


Рис. 5. Распределение площадей агро-ландшафта по классам критичности
Fig. 5. Distribution of agrolandscape area by criticality classes (%)

Таблица 4. Распределение площадей бассейнов (S) и плотности населения в гидрографических районах Украины по классам радиоэкологической критичности, %
Table 4. Distribution of area basins (S) and population density in the hydrographic regions of Ukraine by classes of radioecological criticality

REC	Номер и название бассейна рек	S бассейна*	Очень критично		Критично		Слабо критично		Некритично	
			S	Население	S	Население	S	Население	S	Население
Очень критично	221 – Тисы	2,2	83	0,7	17	0,8		0,0		0,0
	251 – Припяти	11,4	60	3,1	10	0,9	15	0,6	15	1,7
	252 – Десны	5,6	60	2,1	28	0,3	4	0,4	8	0,1
	222 – Прута и Сирета	1,9	42	0,2	40	0,9	10	0,3	8	0,1
	Сумма	21,1		6,1		2,9	–	1,3		1,9
Критично	253 – Правобережье среднего Днестра	7,5	27	1,0	29	9,6	–	–	44	3,5
	290 – рек Крыма	4,6	22	1,3	78	2,4	–	–	–	–
	263 – рек Причерноморья (р. Каланчак)	0,8	18	–	82	0,1	–	–	–	–
	110 – Западного Буга и Сана	2,2	8	0,0	60	0,8	22	0,5	10	2,4
	Сумма	15,1		2,3		12,9		0,5	–	5,9
Слабо критично	230 – Днестра	9,2	12	0,1	2	0,1	50	3,7	36	2,0
	371 – Северского Донца	9,1	11	1,9	5	5,9	29	4,7	55	3,7
	254 – Левобережье среднего Днестра	10	7	0,6	34	3,9	10	0,1	49	1,1
	380 – рек Приазовья	5,7		0,0	26	0,7	69	8,2	5	1,2
	240 – Южного Буга	10,4		0,0	23	4,0	3	0,1	74	3,7
	Сумма	44,4		2,6		14,6		16,8		11,7
Некритично	256 – Левобережье нижнего Днестра	8,5	5	0,3	3	0,2	22	0,9	70	4,9
	261 – рек Причерноморья (р. Сарата)	1,3	4	0,0		0,0	10	0,1	86	0,1
	223 – нижнего Дуная	0,9	<<1	0,0	13	0,1		0,0	87	0,3
	372 – нижнего Дона	0,1		0,0		0,0	98	0,1	2	0,0
	262 – рек Причерноморья (р.Тилигул)	2,5		0,0		0,0	33	3,1	67	0,2
	255 – Правобережье нижнего Днестра	6,1		0,0		0,0	8	1,2	92	8,6
	Сумма	19,4		0,3		0,3		5,4		14,1

*S бассейна — площадь бассейна относительно площади территории Украины, для классов критичности S — площадь относительно площади отдельного бассейна.

более детально и пространственно оценить гидрографические районы на государственном уровне. Представленные материалы дают возможность учесть радиоэкологическую составляющую (зоны радиоэкологической критичности) при хозяйственном планировании и управлении водными ресурсами с использованием бассейнового принципа для гидрографических районов Украины.

Выводы. Выполнена превентивная оценка потенциальной радиоэкологической критичности гидрографических районов Украины с использованием бассейново-ландшафтного принципа районирования территории по природным экологическим характеристикам. Показано, что для наиболее оптимального и эффективного управления процессами ликвидации последствий радиационных аварий от АЭС на территориях сельскохозяйственного назначения выделенных гидрографических районов Украины необходимо заранее провести геоинформационное картографирование территории Украины с выделением наиболее критичных зон по формированию дозы облучения на население. Использование современных геоинформационных систем (ArcGIS, MapInfo, Surfer), актуального картографического материала и баз данных радиоэкологического мониторинга сельскохозяйственных территорий после аварии на ЧАЭС дало возможность провести на уровне гидрографических районов территории Украины радиоэкологическое районирование, оценить и выделить зоны с разной степенью радиоэкологической критичности; выполнить достаточно детальный статистический анализ территорий по объектам (гидрографическим районам) и классам критичности, выделить их на карте с обозначением определенного статуса.

Применение методологии превентивной оценки радиоэкологической критичности территории Украины на уровне гидрографических районов позволит предохранить население от дозы радиоактивного облучения ^{137}Cs в случае аварийной ситуации на АЭС путем оптимизации радиоэкологического мониторинга и контроля территории, оценки радиационной ситуации и принятия решений о проведении защитных мероприятий на территориях сельскохозяйственного производства.

Список библиографических ссылок

1. Адаменко Я.О. Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2010. Вип. 2. С. 58–63.
2. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. К. 2006. 240 с.
3. Вайнер Г.Д. Оценка воздействия на окружающую среду, как одно из необходимых условий принятия решения о начале хозяйственной деятельности. URL: <http://jurnal.org/articles/2008/ekol3.html>.
4. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск: Ойкумена. 2002. 145 с.
5. Гребінь В.В., Яцюк М.В., Чунарьов О.В. Гідрографічне районування території України: принципи, критерії, порядок здійснення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2013. Т. 1 (28). С. 6–16.
6. Лев Т.Д., Пискун В.Н., Виноградская В.Д., Тищенко О.Г. Создание и организация взаимодействия комплекса пространственных баз данных для решения задач численного моделирования и оценки радиационной ситуации в системах противоаварийного реагирования. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2016. Вип. 26. С. 103–112.
7. Лев Т.Д., Пристер Б.С., Виноградская В.Д. Превентивная интегральная оценка радиоэкологической критичности сельскохозяйственных территорий для целей эффективного управления процессами ликвидации последствий радиационных аварий. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2016. Вип. 26. С. 113–121.
8. Лев Т.Д., Тищенко О.Г., Пискун В.Г. Информационно-аналитическое и картографическое обеспечения систем аварийного реагирования АЭС. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2011. Вип. 16. С. 17–26.
9. Национальный атлас Украины. URL: <http://www.isgeo.com.ua>.
10. Общее руководство по безопасности № GSG-2. Критерии для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. Вена: Международное агентство по атомной энергии. 2011. 96 с.
11. Пристер Б.С. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС: Методические рекомендации по проведению комплексного (радиоэкологического, химического) мониторинга почв и ландшафтов в окрестностях АЭС. Л.: Гидрометеиздат. 1990. С. 239–249.
12. Пристер Б.С., Виноградская В.Д. Кинетическая модель поведения ^{137}Cs в системе “почва–растение”, учитывающая агрохимические свойства почвы. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2011. Вип. 16. С. 151–161.
13. Пристер Б.С., Ключников А.А., Шестопалов В.М., Кухарь В.П. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля. *Чернобыль*. 2013. 200 с.
14. Пристер Б.С., Гаргер Е.К., Талерко Н.Н., Виноградская В.Д., Лев Т.Д. Радиоэкологическое районирование и модель территории для целей мониторинга агросферы после тяжелой аварии на АЭС. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2015. Вип. 25. С. 54–65.
15. Пристер Б.С., Гаргер Е.К., Талерко М.М., Виноградская В.Д., Лев Т.Д. Модель районування території за різних рівнів можливого радіоактивного забруднення агросфери. *Землеробство*. 2015. Вип. 2. С. 79–86.
16. Семерак О. Процедура стратегической экологической оценки при планировании хозяйственности будет введена через полгода. URL: <http://interfax.com.ua/news/economic/376228.html>.

17. Gillett A.G., Crout N.M., Absalom J.P., Wright S.M., Young S.D., Howard B.J., Barnett C.L., McGrath S.P., Beresford N.A., Voigt G. Temporal and spatial prediction of radiocaesium transfer to food products. *Radiat Environ Biophys.* 2001. V. 40, iss. 3. P. 227–235.
18. Prister B., Talerko M., Garger E., Vinogradskaja V., Lev T. Methodology for long-term radiation monitoring for dose assessments using radiological zoning and modeling of radionuclides migration in environmental and food chains - Countermeasures of Cesium Uptake by Farm Crops and Livestock. *Proceeding of the Final ISTC/STCU Technical Review Committee Meeting of Fukushima Initiative "On the Environmental Assessment for Long Term Monitoring and Remediation in and around Fukushima"*, November 5-6. 2015, Tokyo, Japan.
19. Prister B.S., Barjakhtar V.G., Perepelyatnikova L.V. et al. Experimental Substantiation and Parameterization of the Model Describing ^{137}Cs and ^{90}Sr Behavior in a Soil-Plant System *Environ. Sci. and Pollut. Res. Special Issue 1.* 2003. P. 126–136.

Поступила в редакцію 06.02.2017 г.

ОЦІНЮВАННЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОЇ КРИТИЧНОСТІ ТЕРИТОРІЇ ГІДРОГРАФІЧНИХ РАЙОНІВ УКРАЇНИ

Т.Д. Лев, Б.С. Прістер, В.Д. Виноградська, О.Г. Тищенко, В.М. Піскун

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12/106, м. Київ, 03028, Україна, e-mail: tdlev@isnpp.kiev.ua, bprister@gmail.com, vinvd@rambler.ru, otischenko@isnpp.kiev.ua, pvniskun@mail.ru

З метою мінімізації наслідків великих радіаційних аварій в Україні і планування поставарійного моніторингу об'єктів навколишнього середовища розроблено та реалізовано у вигляді геоінформаційних процедур методологію превентивного оцінювання ступеня радіоекологічної критичності території України на державному рівні. Методологію розроблено з урахуванням природних екологічних характеристик у межах гідрографічного районування території України з виділенням районів річкових басейнів і підбасейнів. Проведено геоінформаційне моделювання та оцінювання радіоекологічної критичності однієї зі складових водозбірних територій – сільськогосподарських земель України з виділенням найкритичніших зон з формування дози радіоактивного опромінення ^{137}Cs на населення внаслідок аварійних ситуацій на атомних електростанціях. Використання методології дасть змогу ухвалювати оптимальні управлінські рішення щодо впровадження та проведення заходів стосовно контролю продукції і захисту населення в разі аварійних ситуацій.

Ключові слова: радіоекологічна критичність, районування, басейновий принцип, геоінформаційне моделювання, картографування.

ESTIMATION OF RADIOECOLOGICAL CRITICALITY OF HYDROGRAPHIC REGIONS OF UKRAINE

T.D. Lev, B.S. Prister, V.D. Vinogradskaya, O.G. Tishchenko, V.N. Piskun

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, 12/106, Lysogirska Str., Kyiv, 03028, Ukraine, e-mail: tdlev@isnpp.kiev.ua, bprister@gmail.com, vinvd@rambler.ru, otischenko@isnpp.kiev.ua, pvniskun@mail.ru

Purpose. The purpose of the article is to develop a methodology of preventive assessment of potential radioecological criticality (landscape ability to intensive accumulation of radionuclides in plant products), and to apply it in hydrographic zones in Ukraine at the state level, using GIS; to minimize the consequences of a large radiation accident in Ukraine by allocating radio-ecologically dangerous areas to monitor the environment in real-time and implementing priority rehabilitation steps on agricultural land. The use of modern GIS technologies allows us to preliminary obtain a spatial presentation of the potential radiation situation formation, taking into account the influence of the territory local features on the processes of transport, deposition and migration of radionuclides by the food chain, and the formation of internal dose exposure for the population.

Design/methodology/approach. The methodology was developed based on the basin-landscape principle, taking into account the environmental and natural features of the territory. We used the results of the geo-information analysis of digital maps (relief, basin, underlying surface, land use, etc.) and environmental parameters that determine the radio-ecological characteristics of the area. Assessment of the degree of criticality zone was carried out using a complex integral index, which is calculated as the sum of weighted average radio-ecological parameters for the selected typological objects (type of soil in each basin).

Findings. We have prepared the thematic maps with the assessment of the degree of potential radio-ecological criticality of Ukraine, and the tables showing a complex index for hydrographic regions, areas of the criticality classes, and the population of these areas. The developed method allows us to analyze land use at different spatial scales with the expansion of the number of environmental parameters and spatial specification.

Practical value/implications. GIS modeling and a radio-ecological criticality assessment of the catchment areas components – agricultural land in Ukraine – permit to define the most critical areas for the formation of a radiation dose

of ^{137}Cs for the population due to a nuclear disaster at the power plant. The obtained findings on the radio-ecologically potentially dangerous areas (the basins of the Pripyat and Desna rivers) can help to create the optimal environmental conditions for economic activities and provide safety of the native environmental objects in the regions.

Keywords: Radioecology criticality, zoning, basin principle, GIS modeling, mapping

References:

1. Adamenko Ya.O. Otsinka vplyviv tekhnohennno nebezpechnykh ob'ektiv na navkolyshnie seredovyshche. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia*. 2010. Iss. 2. pp. 58-63 [in Ukrainian].
2. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Definitions of Main Terms. Kyiv, 2006, 240 p. [in Ukrainian].
3. Vayner G.D. Otsenka vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredyu, kak odno iz neobkhodimykh usloviy prinyatiya resheniya o nachale khozyaystvennoy deyatel'nosti. URL: <http://jurnal.org/articles/2008/ekol3.html>. [in Russian].
4. Glazovskaja M.A. Geochemical basics of natural landscapes research typology and methodology. Smolensk: Ojkumena, 2002, 145 p. [in Russian].
5. Grebin V.V., Yatsiuk M.V., Chunaryov O.V. Hydrographic zoning of Ukraine's territory: principles, criterions, methodology for realization. *Gidrologiya. gidrokhimiya i gidroekologiya*, 2013, vol. 1, pp. 6-16 [in Ukrainian].
6. Lev T.D., Piskun V.N., Vinogradskaya V.D., Tishchenko O.G. Design and organization of complex spatial databases interaction for numerical modeling and assessment of the radiation situation for emergency response system. *Problems of nuclear power plants' safety and of Chornobyl*, 2016, iss. 26, pp. 103-112 [in Russian].
7. Lev T.D., Prister B.S., Vinogradskaya V.D. Preventive integral estimates of agricultural areas radioecological criticality for effective management the processes of radiation accident consequences liquidation. *Problems of nuclear power plants' safety and of Chornobyl*, 2016, iss. 26, pp. 113-121 [in Russian].
8. Lev T.D., Tishchenko O.G., Piskun V.N. Information-analytical and mapping ensure of NPP emergency response systems. *Problems of nuclear power plants' safety and of Chornobyl*, 2011, iss. 16, pp. 17-26 [in Russian].
9. National Atlas Ukraine. URL: <http://www.isgeo.com.ua>.
10. General Safety Standards GSG-2. Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. Vienna, IAEA, 2011, 96 p. [in Russian].
11. Prister B.S. Guide to the organization of environment state controls in areas location of NPP: Methodological recommendations for conducting complex (radioecology, chemical) soil and landscape monitoring in location NPP. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1990, pp. 239-249 [in Russian].
12. Prister B.S., Vinogradskaya V.D. The kinetic model ^{137}Cs behavior in the system "soil-plant" accounting of agrochemical soil properties. *Problems of nuclear power plants' safety and of Chornobyl*, 2011, iss. 16, pp. 151-161 [in Russian].
13. B.S. Prister, A.A. Kluchnikov, V.M. Shestopalov, V.P. Kukhar. The safety problems of the nuclear power. The lessons of Chernobyl. *Chernobyl*, 2013, 200 p. [in Russian].
14. Prister B.S., Garger E.K., Talerko N.N., Vinogradskaya V.D., Lev T. D. Radioecological zoning of territory and territory model for monitoring of aerosphere after heavy accident at the NPP. *Problems of nuclear power plants' safety and of Chornobyl*, 2015, iss. 25, pp. 54-65 [in Russian].
15. Prister B.S., Garger E.K., Talerko M.M., Vinogradskaya V.D., Lev T.D. Model of zoning at different levels of possible radioactive contamination of agrosphere. *Zemlerobstvo*, 2015, iss. 2, pp. 79-86 [in Ukrainian].
16. Semerak O. Protsedura strategicheskoy ekologicheskoy otsenki pri planirovanii khozdeyatel'nosti budet vvedena cherez polgoda. URL: <http://interfax.com.ua/news/economic/376228.html>.
17. Gillett A.G., Crout N.M., Absalom J.P., Wright S.M., Young S.D., Howard B.J., Barnett C.L., McGrath S.P., Beresford N.A., Voigt G. Temporal and spatial prediction of radiocaesium transfer to food products. *Radiat Environ Biophys*, vol. 40, iss. 3, pp. 227-235.
18. Prister B., Talerko M., Garger E., Vinogradskaya V., Lev T. Methodology for long-term radiation monitoring for dose assessments using radiological zoning and modeling of radionuclides migration in environmental and food chains. Countermeasures of Cesium Uptake by Farm Crops and Livestock. *Proceeding of the Final ISTC/STCU Technical Review Committee Meeting of Fukushima Initiative "On the Environmental Assessment for Long Term Monitoring and Remediation in and around Fukushima" November 5-6, 2015. Tokyo, Japan*. 2015.
19. Prister B.S., Barjakhtar V.G., Pereplyatnikova L.V. et al. Experimental Substantiation and Parameterization of the Model Describing ^{137}Cs and ^{90}Sr Behavior in a Soil-Plant. *System Environ. Sci. & Pollut. Res.* Special issue 1, 2003, pp. 126-136.

Received 06/02/2017