

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА  
“ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ”

ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА  
БЕЗПЕКА ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

*ВИПУСК 12*

КИЇВ  
2017

**ISSN 2220-8585**

**Головний редактор**  
**ДІВІЗІНЮК Михайло Михайлович**

**Editor-in-chief**  
**Diviziniuk M.M. (Ukraine)**

**Заступник головного редактора:**  
**Забулонів Ю.Л. (Україна)**

**Deputy Editor:**  
**Zabulonov Yu.L. (Ukraine)**

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

Барбашев С.В. (Україна)  
Белєвцев Р.Я. (Україна)  
Бондаренко Г.М. (Україна)  
Верховцев В.Г. (Україна)  
Дівізніук М.М. (Україна)  
Задверніук Г.П. (Україна)  
Коваленко Г.Д. (Україна)  
Ковач В.О. (Україна)  
Ольховик Ю.О. (Україна)  
Покалюк В.В. (Україна)  
Попов О.О. (Україна)  
Тищенко Ю.Є. (Україна)  
Улицький О.А. (Україна)  
Фаррахов О.В. (Україна)  
Чумаченко С.М. (Україна)  
Шабалін Б.Г. (Україна)  
Шмандій В.М. (Україна)  
Яковлев Є.О. (Україна)  
Яцишин А.В. (Україна)

**EDITORIAL BOARD:**

Barbashev S.V. (Ukraine)  
Belevtsev R. Ya. (Ukraine)  
Bondarenko G.M. (Ukraine)  
Verkhovtsev V.G. (Ukraine)  
Zadvernyk G.P. (Ukraine)  
Kovalenko G.D. (Ukraine)  
Kovach V.O. (Ukraine)  
Olkhovik Yu.O. (Ukraine)  
Pokaluk V.V. (Ukraine)  
Popov O.O. (Ukraine)  
Tyshchenko Yu.Y. (Ukraine)  
Ylitskiy O.A. (Ukraine)  
Farrakhov O.V. (Ukraine)  
Chumachenko S.M. (Ukraine)  
Shabalin B.G. (Ukraine)  
Shmandiy V.M. (Ukraine)  
Yakovlev Y.O. (Ukraine)  
Yatsyshyn A.V. (Ukraine)

**ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:**

Войчик В. (Польща)  
Алієв Р. (Азербайджан)  
Калінін М. (Білорусь)  
Єременко В.А. (Росія)

**INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:**

Wojcik W. (Poland)  
Aliiev R. (Azerbaijan)  
Kalinin M. (Belarus)  
Eremenko V.A. (Russia)

**Технічний секретар:** Шкапенко В.В.  
**Редактор-перекладач англійського тексту:** Міщук Н.Б.  
**Редакційна підготовка до друку:** Сорокотяга О.І.  
**Комп'ютерна верстка:** Шкапенко В.В.

**ЗАСНОВНИКИ:**

Національна академія наук України  
Державна служба України з надзвичайних ситуацій  
Державна установа "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України"

**Адреса редакційної колегії:**  
**03680, Київ-142, пр. Палладіна, 34-А**  
ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України",  
Тел. (044) 424 00 29, факс (044) 423 17 96. Електронна пошта: [u-risk@ukr.net](mailto:u-risk@ukr.net)  
Сайт журналу: [tes.igns.gov.ua](http://tes.igns.gov.ua)

Друкується за постановою Вченої ради ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України"  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДЗМІ – серія КВ № 16163-4635Р від 30.12.2009 р.  
Фахова реєстрація у ВАК України в галузі геологічних і технічних наук (екологічна безпека)  
Постанова Президії ВАК України від 23.02.2011 № 1-05/2  
У 2014 р. журнал включений до бібліографічної бази даних наукових публікацій РІНЦ НЕБ (Російський індекс наукового цитування Наукової електронної бібліотеки).

**ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ**

© Державна установа "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України"

## ЗМІСТ

<i>Е.В. Азаренко, Н.А. Бородина, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк, Е.Д. Желяк, Т.В. Качур, О.Н. Мирошник, А.С. Рыжкин, А.П. Фесай</i>	5
Инженерно – технический метод защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности	
<i>Ю.М. Деміхов, В.Г. Верховцев, Ю.О. Фомін, З.М. Кравчук, Н.М. Борисова</i>	14
Методики ізотопно-геохімічних досліджень руд і вміщуючих порід (на прикладі родовищ урану і золота України)	
<i>М.В. Кустов<sup>1</sup>, В.Д. Калугин, В.В. Тютюник, С.В. Ольховиков</i>	24
Функционирование системы обеспечения экологической безопасности атмосферы при возникновении чрезвычайных ситуаций	
<i>М.І. Базалєєв, Б.Б. Бандурян, С.Є. Донець, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко, О.Г. Лисиченко, Є.М. Прохоренко</i>	38
Розробка термографічних методів діагностики та контролю стану матеріалів гідротехнічних споруд	
<i>А.В. Михайлова, С.М. Чумаченко, О.М. Тесленко</i>	44
Використання методів експертної оцінки для оцінювання характеристик інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації	
<i>О.О. Попов, В.О. Ковач</i>	52
Фізична модель розповсюдження токсичних речовин в атмосфері за умов надзвичайної ситуації на хімічно небезпечному об'єкті	
<i>Д. В. Тарадуда</i>	64
Характеристика чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах с аммиачными холодильными установками	
<i>Ярошенко К.К., Колябіна І.Л., Бондаренко Г.М., Кононенко Л.В.</i>	70
Особливості кінетики сорбції стронцію-90 та цезію-137 природними та модифікованими сорбентами з багатокомпонентних розчинів.	
<i>Ольховик Ю.О.</i>	80
Особливості нисхідної міграції техногенних радіонуклідів у піщаних ґрунтах чистогаловської моренної гряди	

## CONTENS

<b><i>E.V. Azarenko, N.A. Borodina, Yu.Yu. Goncharenko, M.M. Дівізінюк, O.Д. Zhelyak, T.V. Kachur, O.N. Miroshnik, A.S. Rizhkin, O.P. Fezay</i></b>	5
Engineering-technical method for protecting people of yourself endurance apis, our applied software programs, viklikaniki emergency attraction of the radio activity of animatic process	
<b><i>Yu.N. Demikhov, V.G. Verkhovsev, Yu.A. Fomin, Z.N. Kravchuk, N.N. Borisova</i></b>	14
Methods of isotopic-geochemical studies of ores and containing rocks (on the example of deposits of uranium and gold of ukraine)	
<b><i>M.V. Kustov, V.D. Kalugin, V.V. Tiutiunyk, S.V. Olhovichov</i></b>	24
The atmospheric ecological safety system performance in emergency situations	
<b><i>M.I.Bazaleev, B.B.Banduryan, S.E.Donets, V.F.Klepikov, V.V.Lytvynenko, O.G.Lysychenko, E.M.Prokhorenko</i></b>	38
The development of thermography methods for diagnostic and control of the gydraulic structures materials	
<b><i>A.V. Mykhailova, S.M. Chumachenko, O.M. Teslenko</i></b>	44
Using methods of expert evaluation for estimation of integrated monitoring systems and notification of threat or emergency situation	
<b><i>O. Popov, V.O. Kovach</i></b>	52
Physical model of toxic substances spreading in the atmosphere during emergency situation on chemically dangerous objects	
<b><i>D. V. Taraduda</i></b>	64
Characteristic of emergency situations at potentially dangerous objects with the ammonia refrigeration units	
<b><i>K.K.Yaroshenko, I.L. Koliabina, G.M. Bondarenko, L.V. Kononenko</i></b>	70
Features of strontium-90 and cesium-137 extraction kinetics on nature and modified sorbents from compounding solutions	
<b><i>Yu. Olkhovyk</i></b>	80
Features of descending migration of technogenic radionuclids in the chistogalov moraine ridge	

**Е.В. АЗАРЕНКО<sup>1</sup>, Н.А. БОРОДИНА<sup>1</sup>, Ю.Ю. ГОНЧАРЕНКО<sup>1</sup>,  
М.М. ДИВИЗИНЮК<sup>1</sup>, Е.Д. ЖЕЛЯК<sup>1</sup>, Т.В. КАЧУР<sup>2</sup>, О.Н. МИРОШНИК<sup>2</sup>,  
А.С. РЫЖКИН<sup>1</sup>, А.П. ФЕСАЙ<sup>1</sup>**

*1 - Государственное предприятие «Институт геохимии окружающей среды  
Национальной академии наук Украины», г. Киев*

*2 - Национальный университет гражданской защиты, г. Харьков.*

## **ИНЖЕНЕРНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ ОТ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВЫЗВАННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ АТМОСФЕРЫ РАДИОАКТИВНЫМИ И ОТРАВЛЯЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ НА ОТКРЫТОЙ МЕСТНОСТИ**

*Рассматривается инженерно-технический метод защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности, на основе которого разрабатываются конкретные методики защиты населения от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы, возникающих при техногенных авариях и катастрофах на охраняемых объектах критической инфраструктуры и чрезвычайных ситуациях террористического характера.*

### **Введение**

Предотвращение чрезвычайных ситуаций террористического характера является актуальной государственной задачей Украины. Она была актуальной в прошлом и особенно актуальна сейчас, в условиях аннексии Крыма и боевых действий на востоке страны. Актуальность этой проблемы сохранится на многие годы в будущем, при этом и ученые, и практические специалисты в области противодействия террору понимают, что для террористов ничего невозможного не существует [1-3].

Для предотвращения террористических актов на объектах критической инфраструктуры, к которым относятся атомные электростанции, металлургические заводы, химические и нефтехимические комбинаты созданы специальные охранные структуры – службы физической защиты [4,5]. Эти службы, наряду с другими подразделениями, так же решают вопросы защиты людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы. Одним из направлений решения этой задачи является укрытие специальных спасательных подразделений от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы во временных укрытиях.

К временным укрытиям на открытой местности относятся специально сделанные защитные средства в виде палаток, снабженных фильтровентиляционными установками с автономными источниками электропитания. Эти временные укрытия обеспечивают относительно непродолжительное укрытие людей, оказавшихся в зоне воздействия поражающих радиоактивных и отравляющих веществ, распространяющихся в атмосфере [6-9]. Поэтому разработка инженерно-технического метода защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности, на основе которого разрабатываются конкретные методики защиты населения от радиоактивного и химического загрязнений атмосферы, возникающих при техногенных авариях и катастрофах, является актуальной научной задачей.

### **Постановка цели и задач научного исследования**

Целью данной работы является разработка инженерно-технического метода защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи. Первоначально проанализировать структуру управляющего алгоритма и блоки, входящие в его состав. Затем рассмотреть инженерно-технический метод защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности, и описание процедур его применения.

### **Структура управляющего алгоритма инженерно-технического метода**

Схема управляющего алгоритма инженерно-технического метода защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности, представлена на рис. 1. Управляющий алгоритм состоит из девяти блоков, размещенных на шести уровнях. Первый уровень алгоритма – ввод исходных данных. На этом уровне располагается четыре блока. Первый – количество укрываемых человек и их месторасположение. Второй – характеристика загрязнения. Третий – гидрометеорологическая обстановка. Четвертый – геоинформационная система региона.

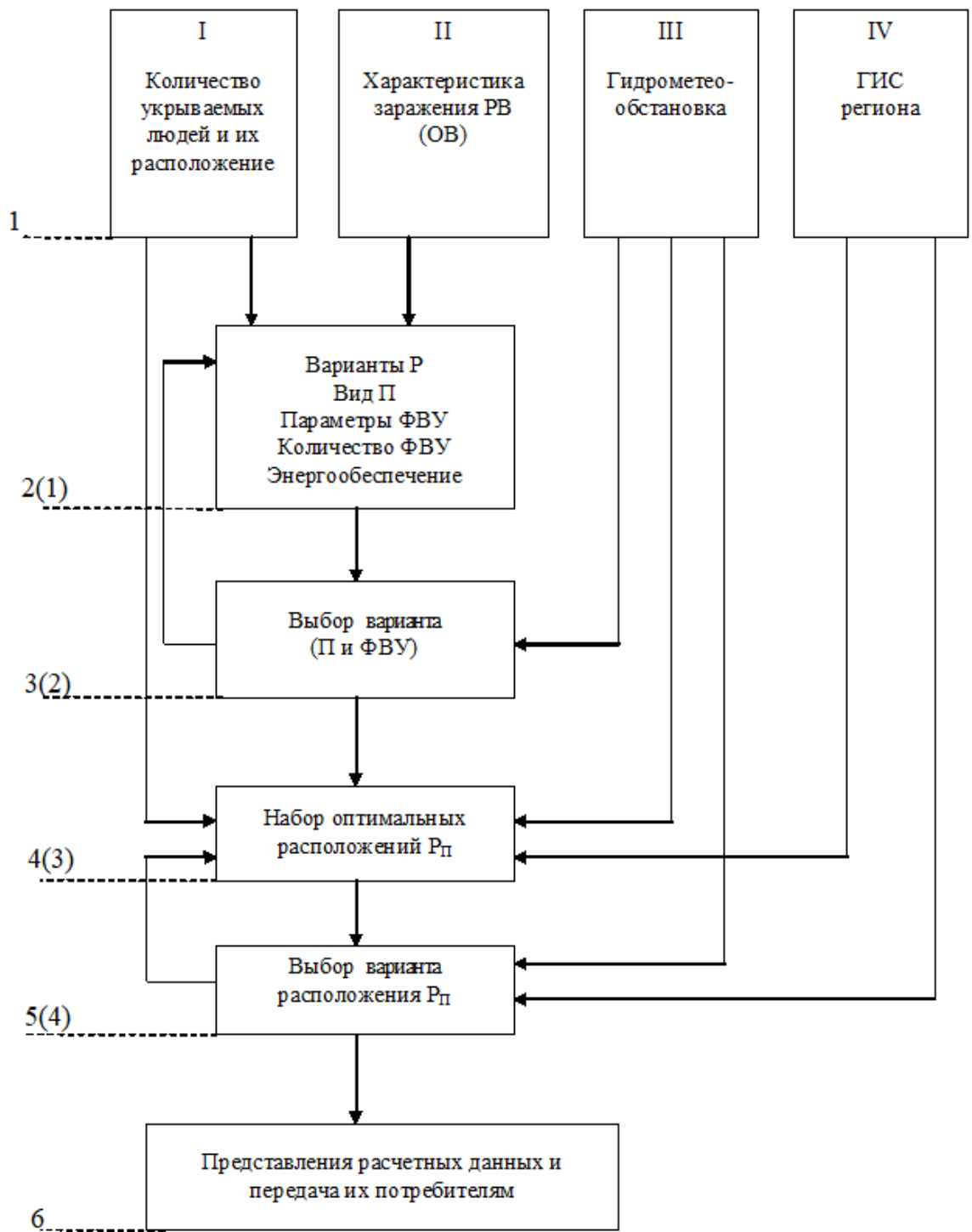
Первый блок исходных данных требует введения числа укрываемых человек, наименования имеющихся у них одежды и снаряжения, а также координаты их местоположения. Если это группа до 20 – 25 человек, то координаты будут точечными, то есть с указанием одной географической точки их месторасположения. В случаях, когда эта группа от 25 – 30 до 90 – 110 человек, то координаты могут быть точечными, в случае их компактного расположения, либо ограничивающими район их расположения, в случае их рассредоточения. Если группа от 110 – 150 человек и более, то координаты будут ограничивать район их расположения.

Второй блок исходных данных определяется характером чрезвычайной ситуации. Это может быть катастрофическое событие в виде взрыва с выбросом отравляющих или высокотоксичных веществ, пожар лесного массива, загрязненного радиоактивными отходами, нештатная ситуация на АЭС, приводящая к выбросу радиоактивных веществ в атмосферу и им подобные. Здесь возможны два варианта ввода данных. Первый, когда вводится вид опасного вещества, его объем и физико-химические характеристики, его источник (координаты выброса) и величина его предельно допустимой концентрации. Второй, когда вводится потенциально опасный объект, располагающийся в пределах рассматриваемого региона, вид аварии и тип выброса опасных веществ в атмосферу.

Третий блок исходных данных определяется фактической или прогнозируемой гидрометеорологической обстановкой. Здесь главными параметрами являются атмосферное давление, направление и сила ветра, температура и влажность атмосферного воздуха, гидрометеорологические явления в виде осадков (дождь, град, снег) и другие (гроза, метель, туман и т.п.) явления.

Четвертый блок исходных данных – это данные, отраженные в геоинформационной системе региона, в котором произошла авария. Основу геоинформационной системы, как правило, составляет трехмерная цифровая карта. Аппаратно программные средства, обеспечивающие работу геоинформационной системы, позволяют не только определять координаты географической точки, ее высоту над поверхностью Земли (или глубину залегания под поверхностью Земли), но и отображать движение воздушных масс, атмосферных фронтов, площадей, покрываемых атмосферными осадками.

Ввод данных



**Рис.1.** Схема управляющего алгоритма

Геоинформационная система решает задачу распространения облака радиоактивных веществ, возникающего при взрыве грязных бомб или аварийных выбросах на ядерных объектах, и графически отображает территорию, которая может быть заражена вследствие выпадения радиоактивных осадков. Аналогичные расчеты и отображение их результатов может производиться в случае химических аварий или пожаров.

На втором уровне управляющего алгоритма располагается первый расчетный блок, который носит название «Варианты Р». В этом блоке, в зависимости от числа укрываемых людей, одежды и снаряжения, данные о которых поступают из первого блока исходных данных, и характеристики заражения, данные о которых поступают из второго блока исходных данных, решается первая расчетная задача. Ее итогом являются три основных параметра. Первый параметр – вид палатки (П). Второй параметр – тип фильтровентиляционной установки и количество этих установок. Третий параметр – энергообеспечение, то есть, какую минимальную электрическую мощность необходимо подвести к палаткам, чтобы обеспечить работу фильтровентиляционных установок в течение времени, необходимого для укрытия людей от поражающего воздействия радиоактивных или отравляющих веществ, распространяющихся в воздушной среде. В результате решения расчетной задачи может быть несколько вариантов. Их число определяется числом видов палаток и числом типов фильтровентиляционных установок, имеющихся в арсенале подразделений, обеспечивающих защиту населения на открытой местности. На количество вариантов также будет оказывать влияние количество и мощность автономных источников электроэнергии.

На третьем уровне управляющего алгоритма располагается второй расчетный блок, который носит название «Выбор варианта». Полученные на первом расчетном уровне варианты проверяются на устойчивость фактическим метеоусловиям, которые транслируются с первого уровня из третьего блока ввода исходных данных. Здесь выбирается вариант, который обеспечивает укрытие людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения в конкретных гидрометеорологических условиях при заданном, как правило, экономном режиме энергопотребления. В случае, если ни один из вариантов не может быть выбран по какому-либо критерию, то обратная связь второго расчетного блока с первым возвращает к решению первоначальной задачи выбора типа укрывающей палатки и вида фильтровентиляционной установки. Полученные новые варианты решений снова поступают на второй расчетный уровень, где опять производится повторный выбор палатки и фильтровентиляционной установки. Выбранный вариант, удовлетворяющий защитным параметрам и внешним погодным условиям, также должен удовлетворять условиям энергообеспечения. Если это обеспечение предоставляется переносной бензиновой или дизельной электрогенераторной установкой достаточной мощности, то время их работы будет определяться запасами топлива. Если же электропитание будет осуществляться аккумуляторными батареями, то их мощность и зарядка должны обеспечить время, достаточное для укрытия людей в защитных палатках. По этому параметру также осуществляется обратная связь второго расчетного блока с первым в интересах получения оптимального расчетного варианта.

На четвертом уровне управляющего алгоритма располагается третий расчетный блок, который носит название «Набор оптимальных расположений защитных палаток». В этот расчетный блок поступают данные из второго расчетного блока об оптимальном расчетном варианте, а также данные о месторасположении людей, которых необходимо защитить от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в воздушной среде. В этот же расчетный блок поступают данные с первого уровня о гидрометеорологической обстановке и данные, необходимые для геометрических расчетов, которые берутся от геоинформационной системы региона. Главный критерий для выбора местоположения защитных палаток – это обеспечение минимального времени пребывания людей в зоне возможного соприкосновения с опасными веществами. Полученный вариант или варианты размещения защитных палаток транслируются в следующий блок, расположенный на пятом уровне.

На пятом уровне управляющего алгоритма располагается четвертый расчетный блок, который носит название «Выбор варианта расположения защитных палаток». В этот блок, кроме вариантов размещения защитных палаток, также транслируются данные от геоинформационной системы и от блока гидрометеорологических данных. Фактически



это последний вариант, который просматривает оператор, решающий задачу по размещению людей в интересах их защиты от поражающих факторов опасных веществ, распыленных в атмосфере. Если по каким-то причинам оператора не устраивает полученный окончательный вариант, то по линии обратной связи решение возвращается с четвертого расчетного уровня на третий, и происходит расчет месторасположения защитных палаток по уточненным критериям. Полученный окончательный вариант, утвержденный оператором, поступает в следующий блок, расположенный на шестом уровне.

На шестом уровне управляющего алгоритма располагается блок, который носит название «Представление расчетных данных и передача их потреби телям». Представление расчетных данных может выполняться в виде отдельных таблиц, специальных формуляров на картах геоинформационной системы, а также в виде формализованных распоряжений и приказов, которые по системам связи передаются в подразделения. Соответственно, их своевременное выполнение обеспечит укрытие и защиту населения от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере.

Таким образом, управляющий алгоритм инженерно-технического метода защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности, состоит из девяти структурных блоков, расположенных на шести иерархических уровнях, соединенных логическими связями. Первоначально он обеспечивает, в зависимости от вида аварии и степени опасности, радиоактивных или отравляющих веществ, распространяющихся в атмосфере, числа укрываемых людей и их экипировки выбрать из арсенала имеемых средств защиты вид защитных палаток, тип фильтровентиляционных установок и способы их энергообеспечения. Затем он позволяет определить оптимальные места расположения защитных палаток и средств энергообеспечения с учетом гидрометеорологической обстановки, особенностей рельефа и местных условий. После принятия решения на укрытие и защиту людей от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере, он обеспечивает доведение принятого решения в виде формализованных распоряжений и приказов исполнителям.

### **Описание инженерно-технического метода защиты людей и процедур его применения**

Инженерно-технический метод защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности, предназначен для выбора видов защитных палаток, типов фильтровентиляционных установок, необходимого энергообеспечения и оптимального размещения средств защиты на местности, с учетом параметров опасного выброса в атмосферу, фактических гидрометеорологических условий, числа укрываемых людей и их экипировки.

Использование метода предусматривает выполнение следующих процедур:

- 1) определение исходных данных;
- 2) ввод исходных данных;
- 3) выбор вида защитной палатки и типа фильтровентиляционной установки;
- 4) выбор оптимального размещения средств защиты на местности;
- 5) принятия решения на укрытие и защиту людей от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере;
- 6) передача расчетных данных потребителям.

**Первая процедура** – определение исходных данных. Она предусматривает определение исходных данных по четырем группам. Первая группа исходных данных включает в себя количество укрываемых людей и их расположение. Как правило, это

число людей, которые могут оказаться на открытой местности вследствие выхода из строя транспортных средств, на которых они передвигались (например, на рейсовых или междугородних автобусах и др.). Это может быть число работников, находящихся на работе в поле, например, на прополке или уборке овощей. Это могут туристы или экскурсанты, интересующиеся природным ландшафтом и любые другие ситуации. Применительно к военнослужащим – это могут быть вполне определенные воинские подразделения, от отделения до батальона, решающие поставленные перед ними служебно-боевые задачи в определенном регионе. Здесь главными данными являются число людей и их экипировка. Расположение людей определяется их географическими координатами или координатами точек, определяющих периметр их местоположения.

Вторая группа исходных данных – это характеристика радиоактивных или отравляющих веществ, распространяющихся в атмосфере. Эти параметры, как правило, определяются заранее, исходя из результатов проектных и запроектных аварий и катастроф, которые могут ожидаться на потенциально-опасных объектах. Фактические количества расплывших в атмосфере веществ могут уточняться стационарными системами радиационного и экологического мониторинга, находящимися в зоне аварий техногенных объектов.

Третья группа исходных данных – это данные о фактической и прогнозируемой гидрометеорологической обстановке, которые позволяют прогнозировать распространение опасных веществ в атмосфере и их выпадение на земную поверхность.

Четвертая группа исходных данных – это данные обо всех особенностях рельефа местности и застройках в рассматриваемом регионе. Геоинформационная система охватывает как техногенный объект, на котором может произойти (или произошла) авария и местность, на которой могут находиться (или находятся) люди, которых необходимо защитить от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения.

**Вторая процедура** – ввод исходных данных. Эта процедура предусматривает первоначальный и уточняющий ввод данных. Первоначальный ввод данных – это превентивная процедура, когда вводятся данные всех проектных и запроектных аварий всех потенциально-опасных и техногенных объектов, находящихся в административном регионе (или регионе, определяемом зоной ответственности соответствующего военного начальника). Все эти данные заранее вводятся в систему и при возникновении фактической аварии лишь уточняются. При наличии уточненных данных производится уточненный ввод, на основании которого корректируются ранее выполненные расчеты.

Первоначальный ввод также относится и к арсеналу средств защиты. Сюда входят сами спасательные палатки, которые могут быть двух-, четырех-, шести- и двенадцатиместными. К четырем видам защитных палаток имеются шесть типов фильтровентиляционных установок. Все из них могут работать от бензо-генераторов, а два типа - от переносных аккумуляторов. Какие именно средства из выше перечисленных имеются в распоряжении административного или военного начальника заранее вводятся в исходные данные. Отсутствие каких-либо из них на момент аварии, а также наличие генераторов, обеспечивающих электроэнергию, и заряженных переносных аккумуляторов уточняется и осуществляется уточненный ввод этих данных.

**Третья процедура** – это выбор вида защитной палатки и типа фильтровентиляционной установки. Фактически, это ключевая процедура всего инженерно-технического метода. Вид защитной палатки тут же определяет количество человек, которые будут в ней укрываться, а также тип фильтровентиляционной установки, которая будет обеспечивать поступление чистого, очищенного от радиоактивных или химических примесей, воздуха. Возможно, что в силу обстоятельств непреодолимой силы, выбранный вид защитной палатки будет единственным. Такой вариант не только возможен, он также предусмотрен разработанным методом. Допускаются все возможные комбинации сопряжения защитных технических средств. Расчеты позволяют определить не только то, какое число людей может быть защищено, но и в течение какого времени

они будут защищены в реальных погодных условиях и при фактическом энергообеспечении.

**Четвертая процедура** – это выбор оптимального размещения средств защиты на местности. Эта процедура выполняется исключительно с использованием геоинформационной системы. Она учитывает все особенности рельефа и местных особенностей, наличие застроек и насаждений, а также передвижение нижних слоев атмосферного воздуха и, соответственно, выпадение радиоактивных и других опасных веществ, попавших в атмосферу в результате аварии. Результат этой процедуры – географические координаты точек, в которых рекомендуется ставить защитные палатки и располагать источники электропитания, обеспечивающие одновременно несколько фильтровентиляционных установок.

**Пятая процедура** – это принятие решения на укрытие и защиту населения и военнослужащих от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере. Подобное решение принимает административный или воинский начальник в соответствии наложенными на него обязанностями и предоставленными правами. С принятием этого решения начинаются фактические действия по развертыванию средств защиты по укрытию и защиты людей от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере.

**Шестая процедура** – это передача расчетных данных потребителям. Она может быть превентивной и фактической. Превентивная форма предусматривает заблаговременное приготовление средств защиты, их комплектацию средствами электропитания, наличие необходимых транспортных средств для их доставки и специально подготовленных людей для их установки. Превентивная форма также предусматривает теоретическое изучение новых средств защиты, проведение тренировок по их использованию, а так же проведение командно-штабных учений с руководителями различного уровня по подготовке к защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера. Фактическая форма – это рассылка формализованных распоряжений и приказов на фактическое развертывание сил и средств защиты по укрытию и защите людей от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере.

Таким образом, инженерно-технический метод защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности, предназначен для выбора видов защитных палаток, типов фильтровентиляционных установок, необходимого энергообеспечения и оптимального размещения средств защиты на местности с учетом параметров опасного выброса в атмосферу, фактических гидрометеорологических условий, числа укрываемых людей и их экипировки. Его применение предусматривает последовательное выполнение шести процедур, а именно: определение исходных данных; ввод исходных данных; выбор вида защитной палатки и типа фильтровентиляционной установки; выбор оптимального размещения средств защиты на местности; принятия решения на укрытие и защиту населения и военнослужащих от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере; передача расчетных данных потребителям.

## **Выводы**

1. Управляющий алгоритм инженерно-технического метода защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности, состоит из девяти структурных блоков, расположенных на шести иерархических уровнях, соединенных логическими связями. Первоначально он обеспечивает, в зависимости от вида аварии и степени опасности, радиоактивных или отравляющих веществ, распространяющихся в

атмосфере, числа укрываемых людей и их экипировки выбрать из арсенала имеющихся средств защиты вид защитных палаток, тип фильтровентиляционных установок и способы их энергообеспечения. Затем он позволяет определить оптимальные места расположения защитных палаток и средств энергообеспечения с учетом гидрометеорологической обстановки, особенностей рельефа и местных условий. После принятия решения на укрытие и защиту людей от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере, он обеспечивает доведение принятого решения в виде формализованных распоряжений и приказов исполнителям.

2. Инженерно-технический метод защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами на открытой местности, предназначен для выбора видов защитных палаток, типов фильтровентиляционных установок, необходимого энергообеспечения и оптимального размещения средств защиты на местности, с учетом параметров опасного выброса в атмосферу, фактических гидрометеорологических условий, числа укрываемых людей и их экипировки. Его применение предусматривает последовательное выполнение шести процедур, а именно: определение исходных данных; ввод исходных данных; выбор вида защитной палатки и типа фильтровентиляционной установки; выбор оптимального размещения средств защиты на местности; принятие решения на укрытие и защиту людей от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере; передача расчетных данных потребителям.

1. Кулаков М.А. Цивільна оборона. – Харків: НТУ-ХП, 2005. – 125 с.
2. Кодекс Цивільного захисту України (КЦЗУ). – 2016. Доступ: [www.urist-ua.net](http://www.urist-ua.net)
3. Гончаренко Ю.Ю. Структура контура управління інформаційною безпекою підприємства / Ю.Ю. Гончаренко // “Економіка і управління”. – №5. – Симферополь: НАПКС, 2012. – С. 97 – 101.
4. Гончаренко Ю.Ю. Оценка эффективности управления чрезвычайной ситуацией / Ю.Ю. Гончаренко, Е.В. Азаренко, Ю.В. Браславский и др. // Сб. науч. Тр. СНУЯЭиП. – Вып. 2 (38). – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – С. 239 – 245.
5. Гончаренко Ю.Ю. Защита информации – как один из ключевых аспектов предотвращения чрезвычайных ситуаций / Ю.Ю. Гончаренко, Е.Е. Смычков, В.В. Рыбко // Зб. наук. праць СНУЯЕтаП. – Вип. 1 (41). – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2012. – С. 207 – 211.
6. Гончаренко Ю.Ю. Теоретическое решение задачи защиты людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы / Ю. Ю. Гончаренко, О. М. Мирошник, О. А. Высотенко, Т. В. Качур, А. С. Рыжкин // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2017. – № 3 (59). – С. 127 – 132.
7. Азаренко Е.В. Характеристика информации о ситуационном фоне около охраняемого объекта критической инфраструктуры (на примере автомобильных транспортных средств) / Е. В. Азаренко, Н. А. Бородин, Н. В. Касаткина, Г. В. Камышенцев, С. В. Лазаренко, Е.А. Рыбка // Науково-технічний збірник «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні» – Київ: Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України, НТУУ «КПІ», 2017. – Вип. 1 (33). – С. 39 – 51.
8. Азаренко Е.В. Математическая модель выявления признаков чрезвычайных ситуаций террористического характера против объектов критической инфраструктуры с использованием автомобильных транспортных средств / Е. В. Азаренко, Н. А. Бородин, О.А. Высотенко, М.М. Дивизинюк, Н. В. Касаткина, С. В. Лазаренко // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних

процесах». – Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2017. – № 2 (58). – С. 194 – 169.

9. Азаренко Е.В. Математическая модель выявления нештатных ситуаций террористического характера с использованием образов людей, находящихся около объектов критической инфраструктуры / Е.В. Азаренко, Н.А. Бородина, М.М. Дивизинюк, Н.В. Касаткина, С.В. Лазаренко, Е.А. Рыбка // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2017. – № 3 (59). – С. 141-145.

**Е.В. Азаренко, Н.А. Бородина<sup>1</sup>, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дівізінюк, О.Д. Желяк, Т.В. Качур, О.Н. Мирошник, А.С. Рижкін, О.П. Фесай**

**ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕТОД ЗАХИСТУ ЛЮДЕЙ ВІД ВРАЖАЮЧИХ ФАКТОРІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ВИКЛИКАНИХ ЗАБРУДНЕННЯМ АТМОСФЕРИ РАДІОАКТИВНИМИ Й ОТРУЙНИМИ РЕЧОВИНАМИ НА ВІДКРИТІЙ МІСЦЕВОСТІ**

*Розглядається інженерно-технічний метод захисту людей від вражаючих факторів надзвичайних ситуацій, викликаних забрудненням атмосфери радіоактивними і отруйними речовинами на відкритій місцевості, на основі якого розробляються конкретні методики захисту населення від вражаючих факторів радіоактивного та хімічного забруднення атмосфери, що виникають при техногенних аваріях і катастрофах на об'єктах, критичної інфраструктури що охороняються і надзвичайних ситуаціях терористичного характеру.*

**E.V. Azarenko, N.A. Borodina<sup>1</sup>, Yu.Yu. Goncharenko, M.M. Дівізінюк, О.Д. Zhelyak, T.V. Kachur, O.N. Miroshnik, A.S. Rizhkin, O.P. Fezay**

**ENGINEERING-TECHNICAL METHOD FOR PROTECTING PEOPLE OF YOURSELF ENDURANCE APIS, OUR APPLIED SOFTWARE PROGRAMS, VIKLIKANIKI EMERGENCY ATTRACTION OF THE RADIO ACTIVITY OF ANIMATIC PROCESS**

*The technical method of defence of people is examined from the striking factors of the emergencies caused by contamination of atmosphere by radioactive and poisonous substances on the stretch of open country, on the basis of that certain methodologies of defence of population are developed from the striking factors of radioactive and chemical contamination atmospheres that arise up at technogenic accidents and catastrophes on objects, critical infrastructure that guarded emergencies of terrorist character.*

**Ю.М. ДЕМІХОВ, В.Г. ВЕРХОВЦЕВ, Ю.О. ФОМІН, З.М. КРАВЧУК,  
Н.М. БОРИСОВА**

*ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»*

## **МЕТОДИКИ ІЗОТОПНО-ГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РУД І ВМІЩУЮЧИХ ПОРІД (НА ПРИКЛАДІ РОДОВИЩ УРАНУ І ЗОЛОТА УКРАЇНИ)**

*На основі багаторічного особистого досвіду розглянуто методи вимірювання легких ізотопів, а саме сірки, вуглецю, кисню та водню, які використовуються лабораторією ізотопних досліджень ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» при вивченні як природних, так і техногенних об'єктів. Багато з цих методів розроблені безпосередньо в лабораторії або, принаймні, пристосовані для її умов і потреб. Серед природних об'єктів України найважливішими є родовища урану та золота. Поряд з породами, рудами, мінералами та газопо-рідкими включеннями в мінералах увага приділяється також специфіці ізотопного вивчення органічних речовин (нафти, бітумів, біологічних об'єктів).*

### **Вступ**

Ізотопно-геохімічні дослідження сприяють вирішенню таких найважливіших проблем рудогенезу, як джерело і природа рудогенних елементів, склад рудоутворюючих флюїдів, фізико-хімічна обстановка рудного середовища, хід рудоутворюючих процесів, їх спрямованість і полістадійна зміна при метаморфічних та гідротермально-метасоматичних перетвореннях порід і руд. Важливе значення вони мають і при вирішенні різноманітних проблемних питань техногенно-екологічної безпеки.

Більшість хімічних елементів складається з суміші ізотопів, які мають однаковий заряд, але різні маси. Вони знаходяться в різних процентних співвідношеннях. Практично при вивченні рудних родовищ досліджують лише деякі з них (свинець, сірка, вуглець, кисень, дейтерій). Ці елементи або безпосередньо входять до складу рудних мінералів, або надходять до мінералів, що знаходяться в парагенетичних асоціаціях з останніми. У процесі рудогенезу відбувається фракціонування ізотопів. Маємо підкреслити, що ізотопно-геохімічний аналіз базується на попередньому мінералого-петрографічному вивченні рудовміщуючих порід і руд, в яких, особливо при їх мікроскопічному дослідженні, намічається певна стадійність рудного процесу.

Відмінності в складі стабільних ізотопів знаходять застосування в різних галузях науки, техніки та медико-біологічних дослідженнях, зокрема:

– в геохімічних дослідженнях, при з'ясуванні генезису природних вод, мінералів, гідротермальних і рудних флюїдів; органічної речовини, зокрема, вуглеводнів;

– в геології, де зміни ізотопного складу вуглецю використовуються для вирішення питань, що стосуються джерела рудоутворюючих розчинів і генезису мінералів, порід та руд. Дослідження ізотопного складу вуглецю дають важливі відомості для вивчення генезису родовищ нафти, газу, а також для розробки геохімічних методів пошуків цих родовищ, для реконструкції умов осадконакопичення та ін. Саме дані з ізотопного аналізу вуглецю дозволили обґрунтувати припущення про глибинне походження алмазів і карбонатитів, про наявність графітів, що утворилися з органічної речовини і з карбонатів, про органічне походження деяких уранових мінералів. Фракціонування ізотопів вуглецю в природних умовах пов'язане з ізотопно-обмінними реакціями, що приводять до переважного накопичення важкого ізотопу  $^{13}\text{C}$  в карбонатах, і кінетичними ефектами у біологічних процесах, е т.ч. при фотосинтезі, в результаті яких легким ізотопом  $^{12}\text{C}$  збагачується органічна речовина рослинного і тваринного походження;

– відмінності у ізотопному складі кисню дозволяють відрізнити магматичні,

метаморфічні, осадові і т.п. породи, а також їх взаємну асиміляцію; виявляти взаємозв'язок між різними типами природних вод, а також між гідротермальними розчинами та гірськими породами; вони використовуються і в геотермометрії при палеотемпературних дослідженнях, тобто дозволяють розрахувати температури утворення порід;

– ізотопний склад водню та кисню в гірських породах дозволяє визначити співвідношення вода/порода в ході гідротермальних перетворень;

– ізотопний склад сірки дозволяє: відрізнити мантийні та корові породи; визначити фізико-хімічні, а саме окислювально-відновні та кислотно-лужні умови гідротермальних процесів, та послідовність мінералоутворення; на основі ізотопних даних сірки отримані важливі відомості про утворення нафти та газу;

– різні ізотопи використовуються при проведенні медико-біологічних досліджень в якості відповідної мітки;

– при екологічних дослідженнях забруднень атмосфери також широко використовуються відмінності в ізотопному складі хімічних елементів;

У статті розглянуто методи вимірювання легких ізотопів, які використовуються лабораторією ізотопних досліджень ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» при вивченні як природних, так і техногенних об'єктів.

Багато з цих методів розроблені безпосередньо в лабораторії або, принаймні, пристосовані для її умов і потреб. Враховуючи цільове призначення ізотопних досліджень, засноване на досить тонких порівняннях, особливу увагу слід приділяти ретельності підбору матеріалу і ступеня його чистоти. Нижче наводяться вимоги, які пропонуються до матеріалу для ізотопних аналізів, методи підготовки матеріалу для аналізу та безпосередньо аналізу. Види ізотопних аналізів можуть бути згруповані в наступні напрямки (види аналізів):

**1. Сірка.** Сірка може входити до складу гірських порід у вигляді сульфідів, сульфатів, самородної сірки і сірки органічної речовини. Розроблено методи визначення ізотопного складу будь-якої форми сірки, виділеної з породи у вигляді монофракцій.

**Стандарт.** При вивченні розподілу стабільних ізотопів легких елементів у природних об'єктах велике значення має вибір стандарту, з яким порівнюють всі зразки. В лабораторії за стандарт приймається сірка троїліту Сіхоте-Алінського метеориту, відношення  $S^{32}/S^{34}$  для якого було прийнято рівним 22,20.

При цьому добре відома (доведена) велика однорідність ізотопного складу сірки троїліту для всіх метеоритів.

Сірка сульфату сучасного океану через невеликий діапазон змін її ізотопного складу також іноді використовується як стандарт [1, 2]. Тому за стандарт сульфату нами прийнято сульфат Індійського океану:  $\delta^{34}S = +19,7 \pm 0,5 \text{ ‰}$ .

Доречно зазначити, що визначення різниці в ізотопному складі сірки метеориту і сульфату сучасного океану є своєрідним критерієм правильності методики пробопідготовки і роботи мас-спектрометра.

### **1.1. Виділення сірки для вимірювання її ізотопного складу з сульфідів.**

Сірка сульфідів (піриту, сфалериту, галеніту та ін.) переводиться в  $SO_2$  шляхом окислення твердим окислювачем  $CuO$  (ч. д. А) у вакуумній установці при  $t = 770-810^\circ C$ . Для видалення всіх газоподібних домішок  $CuO$  попередньо прожарюють у вакуумі протягом 10 год. при  $820-850^\circ$ . Домішки, що виділяються, конденсуються в пастці рідким азотом.

Для аналізу беруть наважку сульфїду, що містить приблизно 8 мг сірки; це забезпечує достатню кількість газу  $SO_2$ , при якому не позначається присутність незначних домішок сторонніх газів при мас-спектрометричному визначенні ізотопного складу сірки. Наважку сульфїду ретельно розтирають в агатовій ступці з певною кількістю  $CuO$  (дивись табл. 1) і поміщають у фарфоровий човник. Човник ставлять у кварцову трубку, і всю систему відкачують форвакуумним насосом (до 5 Па). На кварцову трубку насувають



трубчасту піч, де суміш за  $t = 300^{\circ}\text{C}$  піддається дегазації в вакуумі протягом 20 хв. Потім систему відключають від вакуумного насоса краном, піч з кварцовою трубкою зрушують і піднімають температуру печі до  $770\text{--}810^{\circ}$ . На пастку надягають дьюар з рідким азотом, а на кварцову трубку насувають нагріту піч;  $\text{SO}_2$ , що виділяється, збирається в пастку при температурі рідкого азоту. Спалювання триває 20-30 хв. при  $770\text{--}810^{\circ}$ . Після закінчення реакції діоксид сірки розморожують, вимірюють його об'єм по ртутному манометру і виморожують в ампулі, яку після відпаювання направляють на мас-спектрометр.

### **1.2. Виділення сірки для вимірювання її ізотопного складу з сульфатів.**

Сульфатну сірку неможливо за допомогою однієї реакції кількісно перевести в двоокис сірки, який би мав стандартний ізотопний склад кисню. Тому сульфат попередньо відновлюють в сульфід.

В лабораторії використовується залізо, з допомогою якого за високих температур сульфати відновлюються до сульфідів. Відновлення проходить повністю, якщо плав відбувається протягом 30 хв: для  $\text{CaSO}_4$  і  $\text{SrSO}_4$  при  $750^{\circ}$ , а  $\text{BaSO}_4$  при  $950^{\circ}$ . Наважку (100-200 мг) прожареного сульфату ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{SrSO}_4$  або  $\text{BaSO}_4$ ) змішують з порошком заліза (300-600 мг), що не містить помітних домішок сульфідної і сульфатної сірки, поміщають в фарфоровий човник. Човник вставляють в кварцову трубку, приєднану до вакуумної установки і нагрівають у вакуумі (5 Па) протягом 30 хв. за зазначених вище температур.

Після охолодження до кімнатної температури сплав в приладі для розкладання сульфідів обробляють  $\text{HCl}$ , розбавленою у відношенні 1:2, сірководень, що виділяється, витісняється азотом у дві поглинальні склянки з розчином ацетату цинку [ $15\text{ г}$  в  $1\text{ л}$   $\text{Zn}\cdot(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{ мл}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$ ] або кадмію. Розкладання проводять з нагріванням, в результаті чого весь сплав розчиняється. Розчин контролюється на іон  $\text{SO}_4^{2-}$ , тому що невелике (неповне) відновлення сульфату призводить до фракціонування ізотопів сірки. Вміст поглинальних колб зливають разом,  $\text{ZnS}$  фільтрують, промивають водою і спиртом і висушують при кімнатній температурі. Чистий сульфід переводять у  $\text{SO}_2$  за описаною вище (дивись розділ 1.1) схемою.

#### **1.2.1. Виділення сірки для вимірювання її ізотопного складу з сульфату магнію.**

Оскільки сульфату магнію властива відносно велика розчинність у воді, а саме при  $20^{\circ}\text{C}$  –  $36\text{ г}/100\text{ г}$  води, при  $100^{\circ}\text{C}$  –  $68\text{ г}/100\text{ г}$  води, тому виділення сірки з сульфату магнію можна виконати наступним чином. Зразок перемелюють у порошок у агатовій ступці, потім  $100\text{ мг}$  порошку розчиняють у дистильованій гарячій воді (близько  $200\text{ мл}$ ). Після повного розчинення сульфатів розчин профільтровують і за допомогою додавання  $30\text{ мл}$   $5\%$  розчину  $\text{BaCl}_2$  та кількох крапель  $\text{HCl}$ , осаджують  $\text{BaSO}_4$ . Осад промивався дистильованою водою до усунення хлоридів, потім осад висушувався при  $105^{\circ}\text{C}$ . Порошок  $\text{BaSO}_4$  додатково очищувався в електричній печі при температурі  $500^{\circ}\text{C}$ . Виділення сірки з чистого сульфату барію проводилося за вище описаною методикою для сульфатів (дивись розділ 1.2).

### **1.3. Виділення сірки для вимірювання її ізотопного складу з самородної сірки.**

Самородна сірка може бути переведена в діоксид сірки методом прямого окислення її киснем і твердими окислювачами. Для цього наважку самородної сірки в кварцовому човнику присипають оксидом міді і поміщають в кварцовий реактор, через який пропускають кисень. Реактор нагрівають трубчастою електропіччю. Діоксид сірки, що виділяється, заморожують в пастці і по закінченню реакції аліквотну частину його переводять в ампулу.

### **1.4. Виділення сірки для вимірювання її ізотопного складу з сірки органічної.**

Сірка органічної речовини (нафта, бітум, вугілля) може бути переведена в діоксид шляхом спалення в атмосфері кисню. Для цього наважка органічної речовини поміщається в кварцовий човник, присипається зверху оксидом міді і поміщається в кварцовий реактор, нижня частина якого також заповнена оксидом міді. Через реактор пропускають кисень, реактор повільно нагрівають до температури  $900^{\circ}\text{C}$  і органічна



речовина згоряє або обвуглюється. Отримані гази пропускаються через два розміщених послідовно барботери, заповнені перекисом водню ( $H_2O_2$ ).

Закінчивши спалювати зразок, розчин з обох барботерів зливається в одну ємкість, в яку додається  $HCl$  до слабокислої реакції (перевіряти індикатором). Кислоту потрібно додавати до припинення виділення кисню.

Отриманий розчин розбавляється дистильованою водою, після чого його нагрівають і в цей теплий розчин вливають гарячий розчин  $BaNO_3$ ; сумісь залишають на ніч. Наступного дня  $BaSO_4$  відфільтровують, промивають, висушують за  $t = 105^\circ C$ . Надалі з  $BaSO_4$  виділяють  $SO_2$  за описаною вище схемою для сульфатів.

**2. Вуглець.** Ізотопний склад вуглецю (валовий і за формами його перебування у геосфері) служить одним із критеріїв, що пояснюють генезис порід та мінералів. Відрізняються такі форми вуглецю: вуглець графітостої речовини; вуглець (кахигений), що знаходиться у зв'язаному стані з воднем і гетероатомами; вуглець у вигляді алмазів і вуглець карбонатної речовини.

Більшість методів визначення вмісту або виділення для ізотопного аналізу вуглецю і окремих його форм ґрунтується на окислюванні вуглецевої речовини киснем або твердим окислювачем за високих температур. Незалежно від форми (вільний або зв'язаний) вуглець перетворюється на вуглекислий газ, який аналізується різними методами: хімічними, фізико-хімічними та фізичними. Розкладання карбонатів крім термічного методу може проводитися реакцією їх взаємодії з ортофосфорною кислотою у вакуумі.

На точність визначення вуглецю, чутливість методів і відтворюваність результатів впливає ряд факторів, а саме: правильність відбору проб, хімічний склад аналізованого зразка, його однорідність, температура, час випалювання та ін.

Основна маса елементів, з яких складаються гірські породи, знаходиться у вигляді оксидів, з якими кисень не взаємодіє. Вплив  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  та інших оксидів проявляється тільки в тих випадках, коли частинки графіту чи карбонатів «упаковані» в масі оксидів, які ускладнюють кисню доступ до них. Усунути це можна тонким стиранням зразка перед аналізом. Присутність фосфатів у зразку може вплинути на точність визначення вуглецю, спотворюючи результати в бік збільшення. Це можна усунути шляхом промивання пічних газів із подальшою фільтрацією через скляну вату.

Визначенню вуглецю заважає і сірка, яка зустрічається в гірських породах і мінералах. При спалюванні зразка гірничої породи в струмі кисню за високих температур відбувається окислення сульфідної, в тому числі піритової, кахигенової і елементарної сірки, а також розкладання сульфатів. Утворений сульфід сірки  $SO_2$ , потрапляючи в прилад для визначення вуглецю разом з  $CO_2$ , викривляє результати в бік збільшення. Для очищення пічні гази пропускають через шар діоксиду марганцю, гідропіриту і хромової суміші.

Визначення ізотопного складу вуглецю виконується з вуглекислого газу. Незалежно від форми знаходження вуглецю в породі, він повинен бути кількісно переведений в  $CO_2$ , очищений від летючих домішок, головним чином від  $H_2O$  і  $SO_2$  та ін., і зібраний в ампулу.

Ізотопному аналізу піддаються як монофракції вуглецьвміщуючих мінералів (кальцит, доломіт, сидерит, інші карбонати, антраксоліт, бітумоїди, графіт, вугілля, рідкі та газоподібні органічні речовини, а також газово-рідкі включення і т.п.), так і породи, що містять вуглець декількох форм.

**Стандарт.** Для вуглецю застосовується ізотопний стандарт PDB, назва якого походить від белемнітів з формації Peedee в Південній Кароліні (США). Ці белемніти були обрані як стандарт з причини дуже однорідного ізотопного складу. Для стандарту PDB абсолютне значення  $^{13}C/^{12}C = 1123,72 \times 10^{-5}$ , це значення прийняте за нуль для варіації ізотопного складу вуглецю  $\delta^{13}C = 0 \text{ ‰}$  [4, 5]. В лабораторії ізотопної геохімії також використовуються ізотопні стандарти вуглецю: кальцит КН-2 (Німеччина) з варіацією ізотопного складу вуглецю відносно стандарту PDB  $\delta^{13}C_{КН-2} = +1,97\text{‰}$ , та стандарт поліетиленової плівки РЕФ-1 (Німеччина) з варіацією ізотопного складу вуглецю відносно

стандарту PDB  $\delta^{13}\text{C}_{\text{REF-1}} = -31,62 \text{ ‰}$  [6].

### **2.1. Виділення вуглецю для вимірювання його ізотопного складу з мономінеральної фракції карбонатів.**

Для чистих карбонатних мінералів використовується метод термічної дисоціації у вакуумі. Для цього наважка карбонату 5-10 мг поміщається в кварцовий реактор, який за допомогою шліфа приєднується до вакуумної установки. При досягненні потрібного вакууму (5 Па) на реактор насувають трубчасту електричну піч і підвищують температуру до 900-950°C. Вуглекислий газ, що виділився, виморожується в пастку.

Також для чистих карбонатів можливе застосування методу розкладання карбонатів (10-30 мг) ортофосфорною кислотою за методом Мак-Крі.

### **2.2. Виділення вуглецю для вимірювання його ізотопного складу з валового вуглецю породи.**

Виділення вуглецю для визначення ізотопного складу валового вуглецю породи, вуглецю мономінеральної фракції карбонатів або органічної складової породи проводиться за методикою спалюванням зразка. Для породи треба знати вміст вуглецю. Наважка породи береться більше від наважки мономінерального зразка, пропорційно вмісту карбонатної та органічної складових породи так, щоб вміст вуглецю в зразку досягав 3-10 мг.

Наважку зразка поміщають у фарфоровий човник, перемішують з надлишком твердого окислювача (CuO), вводять в реактор з окисом міді, через який пускають гелій, розкладають при температурі печі 1100-1200°C протягом 10 хв.

### **2.3. Виділення вуглецю для вимірювання його ізотопного складу з карбонатної складової породи.**

**2.3.1 Термічний метод.** Для визначення ізотопного складу вуглецю карбонатної складової породи необхідно визначити процентний вміст вуглецю в породи. Наважку зразка породи беруть з розрахунку 5-10 мг карбонату.

Методика виділення вуглецю карбонатної складової породи аналогічна методиці виділення валового вуглецю породи. Але при наявності в породи органічної складової від неї позбуваються, для чого наважку зразка змішану з окисом міді попередньо прогривають при температурі 420°C.

### **2.4. Виділення вуглецю для вимірювання його ізотопного складу з органічних речовин (нафта, бітум, біологічні об'єкти і т.п.).**

Для виділення CO<sub>2</sub> з кам'яного вугілля, антраксоліту, графіту, бітумоїдів та інших мінералів, де вуглець знаходиться у вільному стані або у вигляді органічної речовини, застосовується метод спалення. Окислювачами служать оксиди важких металів. Деякі зразки, що надходять на дослідження, крім органічної складової можуть містити значну кількість карбонатів, останні при нагріванні в реакторі до температури 900°C починають розкладатися з виділенням вуглекислого газу. В цьому випадку попередньо добре розтертий зразок обробляється 10 %-вим розчином соляної кислоти з нагріванням на водяній бані, потім промивається, висушується і може бути підданий окисленню.

Виділення вуглецю для вимірювання його ізотопного складу з органічної складової породи в струмі інертного газу проводиться аналогічно виділенню валового вуглецю породи. Наважка породи розраховується на 5-10 мг органічної складової.

**3. Кисень.** Для аналізу ізотопного складу кисню мас-спектрометричним методом в лабораторії ізотопної геохімії використовується діоксид вуглецю CO<sub>2</sub>. Кисень необхідно виділити з мінералу і перевести в CO<sub>2</sub>. В лабораторії ізотопний склад кисню досліджують з таких об'єктів: карбонатів, оксидів (крім силікатів та алюмосилікатів) та води.

**Стандарт.** Основним міжнародним стандартом, який використовується при аналізі ізотопного складу кисню, є стандарт середньої океанічної води (SMOW). В лабораторії також використовується як ізотопний стандарт кисню кальцит KH-2 (Німеччина) з варіацією ізотопного складу кисню відносно стандарту SMOW  $\delta^{18}\text{O}_{\text{KH-2}} = +27,81 \text{ ‰}$  [6].

### **3.1. Виділення кисню для вимірювання його ізотопного складу з карбонатів.**

Для виділення кисню у формі  $\text{CO}_2$  з карбонатів широко застосовується метод їх кислотного розкладання ортофосфорною кислотою (метод Мак-Крі). Мас-спектрометр налаштовується на одночасне визначення ізотопного складу вуглецю і кисню в  $\text{CO}_2$ , який виділяється з однієї наважки карбонатів.

### **3.2. Виділення кисню для вимірювання його ізотопного складу з оксидів та води.**

Для виділення кисню з оксидів та води у формі  $\text{CO}_2$  застосовують метод взаємодії оксидів та води з гідрохлоридом гуанідину [3, 7, 8]. Наважка зразка складає 3-10 мг.

**4. Водень.** Основні форми присутності водню в природному і зокрема в геологічному середовищах:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}_2$ , та  $\text{CH}_4$ . У лабораторії вивчається ізотопний склад водню: природної та техногенної (важкої, легкої) води, гідроксилвмісних мінералів, органічних речовин.

**Стандарт.** Основним міжнародним стандартом при аналізі ізотопного складу водню і кисню є стандарт середньої океанічної води (SMOW). Абсолютний вміст у SMOW дейтерію дорівнює  $0,0158 \pm 0,0002$  ат. %. Нами також використовується як ізотопний стандарт водню поліетиленова плівка PEF-1 (Німеччина), варіація ізотопного складу водню її відносно стандарту SMOW  $\delta D_{\text{PEF-1}} = -98,8$  ‰ [6].

#### **4.1. Виділення водню для вимірювання його ізотопного складу з води.**

Виділення водню з води (наважка 5-10 мг) здійснюється при взаємодії водяної пари з активними металами (цинком, магнієм, хромом) у спеціальних ампулах або реакторах при  $t = 400^\circ\text{C}$  [9].

#### **4.2. Виділення водню для вимірювання його ізотопного складу з гідроксилвмісних мінералів.**

Визначення ізотопного складу водню гідроксилвмісних мінералів проводять після виділення води з мінералу за вищеописаним методом. Для цього наважку досліджуваного мінералу (яка містить близько 5 мг води) поміщають в кварцову трубу і нагрівають її в струмі сухого гелію, який виносить пари води, що виділилася, в пастку, яка охолоджується рідким азотом.

#### **4.3. Виділення водню для вимірювання його ізотопного складу з органічних речовин.**

Ізотопний склад водню органічних речовин визначають після спалення їх у струмі кисню над твердими окислювачами ( $\text{CuO}$ ,  $\text{Ag}_2\text{O}$ ). Пари води, що утворилися, збирають в пастки.

**5. Газово-рідкі включення.** Газово-рідкі включення (ГРВ) виділені в окремий розділ, оскільки їх ізотопно-геохімічні дослідження потребують самостійних методів як кількісного визначення компонентів у складі рудоутворюючого флюїду, так і підготовки рудного матеріалу для відповідних аналітичних робіт.

##### **5.1. Визначення кількості води і $\text{CO}_2$ в газово-рідких включеннях.**

Як зазначалося, співвідношення води і вуглекислого газу в мінералоутворюючому розчині є важливою характеристикою умов рудо- і мінералоутворення. Тому визначення кількості води і вуглекислого газу, що містяться у газово-рідких включеннях може надати дуже важливу і потрібну інформацію.

Мас-спектрометр дозволяє проводити кількісний аналіз [10]. Тому при вивченні ізотопного складу елементів включень можливе вимірювання кількості води та  $\text{CO}_2$ , що виділилися з включень. Кількість  $\text{CO}_2$  визначалась за інтенсивністю лінії 44 маси. Газ виділявся при взаємодії відомої наважки кальциту з ортофосфорною кислотою; кількість газу розраховувалась. Кількість води визначалась за інтенсивністю піка  $\text{H}_2$ . Розкладання води на водень здійснювалося на цинку, за стандартною методикою [9]. При застосовуваній методиці домішка атмосферної вологи може становити 0.20-0.05 мг. Тому при малих наважках води (менше 2-1 мг) доважка атмосферної води може вплинути на результат виміру ізотопного складу водню.

## **5.2. Підготовка зразків для вивчення кількості та ізотопного складу компонентів газОВО-рідких включень.**

Точність, необхідна при вимірюванні кількості та ізотопного складу компонентів газОВО-рідких включень, пред'являє досить жорсткі вимоги до підбору мінералів. Пов'язані такі вимоги з тим, що продукти розкладу мінералів та виділення сорбованих мінералами газів або сорбція досліджуваних компонентів може повністю викривити результати вимірювання [11].

Проба подрібнюється до фракції 3-5 мм, після чого проводиться візуальний відбір зерен основного мінералу, позбавлених домішок інших мінералів. Після подальшого подрібнення і відбору на ситах досліджуваної фракції виконується остаточний контроль її чистоти під мікроскопом.

Остаточний розмір зерен досліджуваної фракції визначається експериментально по максимальному виходу летючих компонентів із газОВО-рідких включень. Розмір зерна залежить від розмірів включень, а при термічному руйнуванні ГРВ – і від співвідношення газової фази і води у включеннях (із збільшенням вмісту води збільшується розмір зерна).

Нами для виділення вмісту газОВО-рідких включень використовувалася фракція розміром 0,5÷1,0 мм. Для видалення домішки карбонатів в зразках, фракція кип'ятилася в соляній кислоті протягом години. Використовувалася розбавлена в співвідношенні 1:1 кислота. Для видалення кислоти, після кип'ятіння зерна кварцу промивалися кілька разів дистильованою водою до нейтральної реакції з подальшою сушкою при 105°C.

### **5.3. Методи руйнування газОВО-рідких включень.**

Найширше використовується термічний метод руйнування газОВО-рідких включень в мінералах, менше – механічний [12].

Поширенню термічного метода руйнування включень сприяли відносна простота устаткування і методики. Нагрівання мінералу вище температури гомогенізації газОВО-рідких включень призводить до різкого збільшення тиску у включенні і розриву його стінок [13]. При ступінчастому нагріванні з'являється можливість селективного виділення вмісту різних генетичних генерацій включень, необхідно зазначити, що суттєво газові включення витримують значний перегрів вище температури гомогенізації без порушення їх герметичності [11], що пояснюється більш повільним зростанням в них тиску з підвищенням температури. Руйнування таких включень має здійснюватися механічним подрібненням.

Термічне руйнування включень проводять з мінералів, які при нагріванні не розкладаються з виділенням води і газоподібних продуктів. Це відноситься в рівній мірі як до досліджуваного мінералу, так і до домішок у ньому. Видалення домішок зазвичай досягається кип'ятінням в соляній кислоті фракції мінералу, що досліджується. Хоча така підготовка не гарантує повного очищення від карбонатів, і не усуває органічні домішки.

При механічному руйнуванні ГРВ розкладання мінералів і домішок на леткі компоненти не відбувається. Проведені нами дослідження [14] показали, що величина сорбції CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O мінеральним порошком не настільки велика, як передбачалося [15]. Тому при вивченні основних компонентів включень у мінералах, які зазвичай представлені H<sub>2</sub>O і CO<sub>2</sub>, може бути застосований метод механічного руйнування включень.

### **5.4. Джерела і оцінка похибок кількісного та ізотопного аналізу CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O газОВО-рідких включень.**

Похибки вимірювання кількості CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O в газОВО-рідких включень і визначення ізотопного складу С, О і Н можна умовно поділити на обумовлені: 1) методом руйнування включень; 2) процесом вимірювання; 3) чистотою зразка.

Найбільш істотними нами вважаються помилки, виникнення яких обумовлено методом руйнування включень. Однак причини появи помилок взаємопов'язані і виділити їх у чистому вигляді часто буває важко.

Так, наприклад, домішка карбонату в кварці є однією з тих, що часто зустрічається.

Видалення карбонатів зазвичай досягається кип'ятінням досліджуваної фракції в соляній кислоті. Необхідно відзначити, що подібна підготовка все ж не гарантує повного очищення, тому що домішка видаляється з поверхні зерна, а не з його об'єму. За температура більше 350°C починається помітне розкладання карбонатів. Для кальциту величина рівноважного парціального тиску вуглекислого газу при 500°C становить 14,7 Па.

Можна оцінити необхідний ступінь очищення кварцу від домішки карбонату. Практичний вміст CO<sub>2</sub> в газово-рідких включеннях може становити 5-100 мг на 1 кг кварцу. Така ж кількість виділиться при термічному розкладанні, відповідно, 11-230 мг кальциту. Інакше кажучи, достатня домішка 0,001-0,02 % карбонату в кварці, щоб при термічному руйнуванні вдвічі збільшити вихід CO<sub>2</sub>. Ця ж домішка карбонату в кварці при застосуванні механічного методу руйнування не даватиме добавки CO<sub>2</sub>. Тому при визначенні кількості та ізотопного складу вуглецю і кисню включень слід віддати перевагу механічному методу руйнування. Тим більше, що, як виявилось, не тільки домішки карбонатів є джерелом помилок при вивченні ізотопного складу компонентів включень.

При порівнянні мас-спектрів вмісту включень, отриманих термічним і механічним методами, крім ліній CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O були виявлені лінії, що відповідають вуглеводням аж до пентану, а сліди і в більш високих масах. Продукти деструкції високомолекулярних вуглеводнів служать джерелом підвищеного виходу летких вуглеводнів.

Як нами раніше показано [14], основну і дуже суттєву помилку в визначенні ізотопного складу вуглецю CO<sub>2</sub> вносить домішка пропану, кількість якого при нагріванні зростає в кілька разів. Ця помилка обумовлена тим, що C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> і CO<sub>2</sub> мають рівні масові числа і при вимірюванні на мас-спектрометрах середньої дисперсії їх лінії накладаються.

Помилка у визначенні ізотопного складу вуглецю в CO<sub>2</sub> ГРВ, що обумовлена навіть незначною домішкою пропану, може істотно перевищувати природні варіації. Багаторазова дистиляція суміші CO<sub>2</sub> і C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> у вакуумі при низьких температурах дозволяє знизити частку домішки пропану, однак повне очищення цим методом утруднене, тому що тиск насичених парів цих газів дуже близький у всьому діапазоні температур [11].

З вище сказаного можна зробити висновок, що при термічному руйнуванні ГРВ джерелом помилок визначення кількості CO<sub>2</sub> є розкладання розсіяних карбонатів, а помилка у визначенні ізотопного складу вуглецю – деструкції органічних речовин. При застосуванні механічного руйнування включень обидві ці похибки усуваються. У величину ізотопного складу вуглецю і кисню CO<sub>2</sub> вносить спотворення лише домішка у включеннях вуглеводнів і насамперед пропану.

Спотворення результатів вимірювання  $\delta^{13}\text{C}$ , домішкою вуглеводнів, особливо пропану, можна зменшити попереднім переведенням їх в CO<sub>2</sub> спалюючи на окису міді. Після цього обов'язково треба проводити очищення продуктів реакції від води, що утворюється при окисленні органічних речовин, яке може бути здійснено безпосередньо в системі напуску мас-спектрометра дистиляцією води та CO<sub>2</sub> при -75°C. При цьому вимірюється ізотопний склад валового вуглецю компонентів газово-рідких включень.

Відсутність деструкції твердих вуглеводнів при механічному подрібненні дозволяє виключити вплив нелетких в нормальних умовах органічних речовин.

Тонке подрібнення мінералу при подрібненні у вакуумній ступці призводить до різкого збільшення поверхні мінеральних часток, що може викликати підвищену сорбцію компонентів включень [12, 15]. Вивчення сорбції кварцовим пилом з розміром частинок 5-10 мкм показують, що в перерахунку на 1 кг адсорбується в середньому: при 20°C 300 ± 150 мг води; при 170°C 30 ± 5 мг води. Причому втрата води на сорбцію не залежить від вихідної кількості води. Тому, необхідно вважати обов'язковим прогрів вакуумної ступки до 170°C.

При вмісті води у включеннях в 1 кг кварцу більше 300 мг результати визначення кількості та ізотопного складу водню води, отримані при термічному і механічному

руйнуванні включень практично збігаються. При меншій насиченості достовірні відомості дає термічне руйнування.

1. *T.A. Rafter, S.H. Wilson, W.B. Shilton.* Sulfur isotopic variation in nature. Part 5. – Sulfur isotopic variation in New Zealand geothermal bore waters. – N.Z.J. Sci, 1958. – v.1, P. 154-171.
2. *H. Sakai.* Fractionation of sulfur isotopes in nature. – Geochim. et Cosmochim. Acta, 1957. – V.12, P. 150-169.
3. *Boyer P.D., Graves D.G., Suelter C.H., Dempsly M.E.* Simple procedure for Conversion for Oxygen of Orthophos – phate or Water to Carbon Dioxide for Oxygen-18 Determination. – Anal. Chem., 1961, v. 33, N 13. – P. 1906-1909.
4. *McCrea J.M.* The isotopic Chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. J. Chem. Phys. 18: 849, 1950.
5. Справочник по изотопной геохимии / Под. ред. Э.В. Собоновича и др. – М.: Энергоиздат, 1982. –240 с.
6. *H. Gerstenberg, H. Herrman.* Report on the Intereomparison for the Isotope Standards KN<sup>2</sup> and PEF-1. – 18 p.
7. *Березовский Ф.И., Демихов Ю.Н., Коростышевский И.З., Люта Н.Н.* Взаимодействие гидро-галогенидов гуанидина с кислородсодержащими веществами – метод выделения кислорода для изотопного анализа // Журнал аналитич. химии. – Т. 40.– № 10, 1985. – С. 1848-1853.
8. *Березовский Ф.И., Коростышевский И.З., Демихов Ю.Н., Люта Н.Н. Авт. свид. СССР № 1112260.* – Бюл. изобр., 1984. – № 33.
9. *И.З. Коростышевский, Ю.Н. Демихов, Ф.И. Березовский* Источники и оценка погрешности масс-спектрометрического изотопного анализа водорода в природных водах / Isotopenpraxis Bd 18, N1, 1982: Изд-во АН ГДР, Берлин. – С. 10-15.
10. *Т.М. Суцевская.* Применение высокочувствительных инструментальных методов к анализу состава включений в минералах / Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. – М.: Недра, 1982. – С. 6-14.
11. *В.А. Кормушин.* Методика исследования газово-жидких включений в минералах. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 154 с.
12. *О.Ф. Миронова.* Состояние методов анализа валового состава газовой фазы включений / Использование методов термобарогеохимии. – М.: Недра, 1982. – С. 58-64.
13. *А.И. Тугаринов, В.Б. Наумов.* Зависимость температур декрепитации от состава газово-жидких включений и от прочности минералов. – ДАН СССР, 1970. – Т. 195. – № 1. – С. 43-47.
14. *Ю.Н. Демихов, И.З. Коростышевский, Ф.И. Березовский.* Достоверность определения изотопного состава водорода, углерода и кислорода в H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> из газово-жидких включений в минералах метаморфогенных месторождений / IX Всесоюзный симпозиум по стабильным изотопам в геохимии. – Тез. докл. – М., 1982. – С. 492-494.
15. *Г.Б. Наумов, А.Н. Салазкин, О.Ф. Миронова, Н.И. Савельева.* Методы изучения флюидных ореолов при поисках гидротермальных руд. – М.: ГЕОХИ, 1963. – 75 с.

**Ю.Н. Демихов, В.Г. Верховцев, Ю.А. Фомин, З.Н. Кравчук, Н.Н. Борисова**  
**МЕТОДИКИ ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУД И**  
**ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА И ЗОЛОТА**  
**УКРАИНЫ)**

*На основе многолетнего личного опыта рассмотрены методы измерения легких изотопов, а именно серы, углерода, кислорода и водорода, которые используются лабораторией изотопных исследований ГУ «Института геохимии окружающей среды НАН Украины» при изучении как природных, так и техногенных объектов. Многие из этих методов разработаны непосредственно в лаборатории или, по крайней мере, приспособленные для ее условий и потребностей. Среди природных объектов Украины важными являются месторождения урана и золота. Наряду с породами, металлами, минералами и газовой-жидкими включениями в минералах внимание уделяется также специфике изотопного изучения органических веществ (нефти, битумов, биологических объектов).*

**Yu.N. Demikhov, V.G. Verkhovsev, Yu.A. Fomin, Z.N. Kravchuk, N.N. Borisova**  
**METHODS OF ISOTOPIC-GEOCHEMICAL STUDIES OF ORES AND CONTAINING**  
**ROCKS (ON THE EXAMPLE OF DEPOSITS OF URANIUM AND GOLD OF UKRAINE)**

*Based on many years of personal experience, methods for measuring light isotopes, namely sulfur, carbon, oxygen and hydrogen, are used by the Isotope Research Laboratory of the Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine for the study of both natural and man-made objects. Many of these methods are developed directly in the laboratory or, at least, adapted to its conditions and needs. Among the natural objects of Ukraine, the most important are deposits of uranium and gold. Along with rocks, ores, minerals and gas-liquid inclusions in minerals, attention is also given to the specifics of the isotopic study of organic substances (oil, bitumen, biological objects).*



**М.В. КУСТОВ<sup>1</sup>, В.Д. КАЛУГИН<sup>1</sup>, В.В. ТЮТЮНИК<sup>1</sup>, С.В. ОЛЬХОВИКОВ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Национальный университет гражданской защиты Украины

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба

## **ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АТМОСФЕРЫ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

*Разработаны алгоритм и схема построения системы обеспечения экологической безопасности воздушной среды региона при возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Система основана на принципах организации мониторинга чрезвычайной ситуации, прогнозирования возможных последствий загрязнения атмосферы и осаднения загрязнения с помощью разработанных методов искусственного инициирования осадков. Рассмотрены существующие системы и технические комплексы проведения мониторинга зоны атмосферного загрязнения и определена наиболее эффективная система оперативного мониторинга. Разработан программный комплекс для повышения оперативности принятия управленческого решения, который позволяет обобщать полученную мониторинговую информацию и прогнозировать ситуацию при выборе антикризисного решения.*

### **Введение**

Проблема обеспечения экологической безопасности атмосферы при возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера является важной государственной задачей, а ее актуальность обусловлена как природными катастрофами, так и эксплуатацией широкого спектра предприятий тяжелой, химической и атомно-энергетической промышленности [1 – 3].

Даже при нормальной работе промышленных предприятий в окружающую среду выбрасывается большое количество опасных химических веществ. Особо масштабные выбросы происходят при возникновении на таких объектах крупных, аварий. За счёт мощных воздушных потоков в тропосфере эти выбросы легко распространяются как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях, что приводит к значительным размерам зоны загрязнения. По причине больших масштабов зон атмосферных загрязнений, локализация и ликвидация последствий техногенных аварий представляет значительные трудности и требует привлечения большого количества сил и средств. При контакте с газообразными продуктами атмосферы некоторые газы, образованные при горении, вступают с ними в реакцию с образованием новых химически активных соединений, способных к конденсации в атмосферных условиях. Особую опасность представляют аварии на объектах атомной промышленности. Практически единственным методом очистки воздуха от продуктов горения является вымывание их атмосферными осадками.

Однако многофакторность параметров, влияющих на состояние атмосферы, не позволяет с использованием существующих на сегодняшний день методов и способов успешно решать задачи прогнозирования интенсивности вымывания загрязняющих веществ из атмосферы, выбора эффективного способа искусственного инициирования осадков, расширения диапазона метеорологических условий, обеспечивающего успешное протекание процессов искусственного осадкообразования и др.

### **Анализ последних достижений и публикаций**

Природа загрязняющего атмосферу вещества зависит от вида чрезвычайной ситуации. На территории Украины размещено 1823 предприятия, на которых



используются или производятся химически опасные вещества [4]. При возникновении техногенных аварий (с возникновением пожара и без) в атмосферу выбрасывается большое количество аммиака, хлора, сероводорода, галогенводородов, сажи, золы и еще ряда особо опасных веществ [5]. При возникновении крупных аварий на объектах атомной энергетики возможен выброс в атмосферу радиоактивных веществ. Наиболее масштабными авариями за всю историю являются аварии на Чернобыльской АЭС в Украине и на АЭС в провинции Фукусима в Японии, вследствие которых в атмосферу было выброшено большое количество газообразных и аэрозольных радиоактивных веществ [6]. Под действием конвективных воздушных потоков радиоактивные вещества попадают в верхние слои тропосферы и распространяются на большие расстояния. Радиус зоны радиоактивного загрязнения в результате Чернобыльской аварии составил около 1500 км [7], при аварии в Фукусиме размеры зоны загрязнения составляют 150 км [8].

Существующие системы направлены на предотвращение опасных выбросов в атмосферу и не позволяют обеспечить экологическую безопасность в случае критического выброса веществ в атмосферу при возникновении ЧС. Общая структура системы обеспечения экологической безопасности состоит из четырех основных блоков: объект воздействия (зона экологического загрязнения), система мониторинга, система поддержки принятия решения и система исполнения решения [9 – 11].

При создании системы экологической безопасности нижней атмосферы особую роль приобретают методы искусственного осадкообразования над зоной загрязнения, которые в зависимости от своей природы, делятся на химические и электрофизические. Современные методы искусственного инициирования осадков при различных условиях рассмотрены в работе [12].

В связи со сказанным возникает потребность в создании комплексной системы экологической безопасности атмосферы при возникновении чрезвычайных ситуаций, включающей эффективные комплексы мониторинга и поддержки принятия управленческого решения.

### **Постановка задачи и её решение**

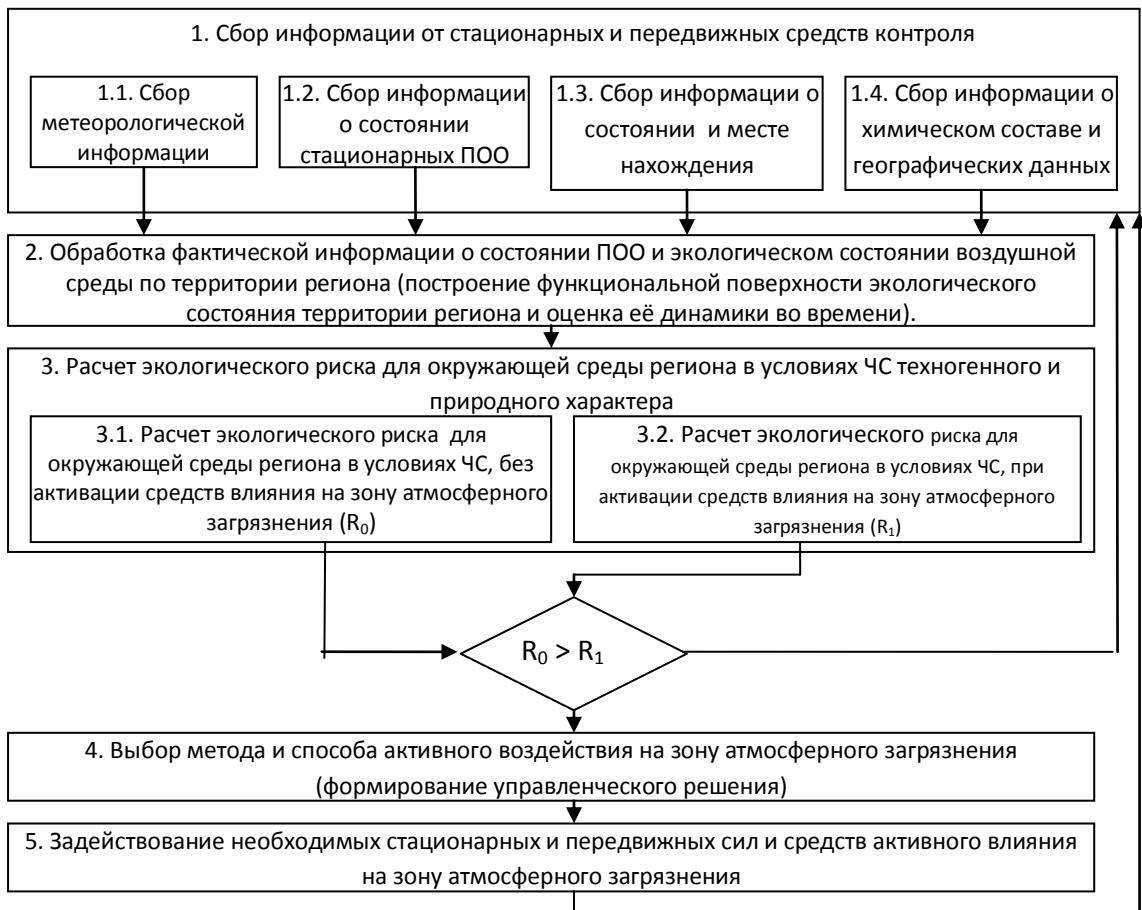
Для реализации основных положений Закона Украины «Про охорону навколишнього середовища» [13] и Закона Украины «Про охорону атмосферного повітря» [14] по обеспечению экологической безопасности, т.е. обеспечения такого состояния окружающей среды, при котором гарантируется предотвращение ухудшения экологической ситуации (для воздушной среды одним из критериев безопасности является предельно допустимая концентрация опасных веществ) и здоровья человека. На обеспечение этого состояния направлена разрабатываемая система экологической безопасности атмосферы.

Алгоритм функционирования предложенной системы экологической безопасности воздушной среды региона в условиях проявления ЧС на стационарных и/или передвижных потенциально опасных объектах (ПОО) представлен на рис. 1. Схема реализации данной системы представлена на рис. 2.

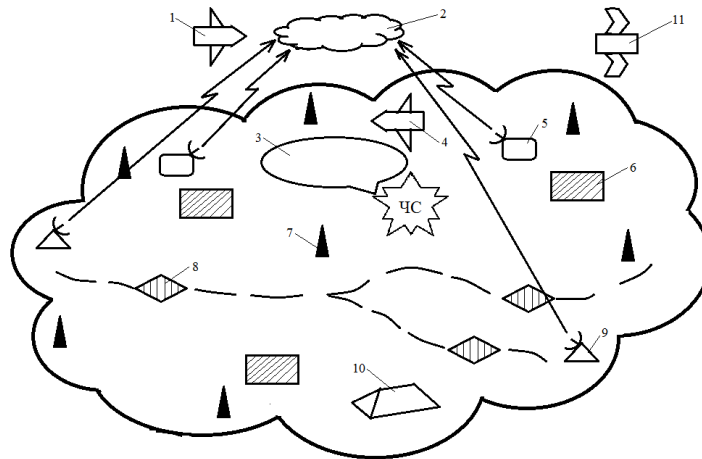
Предложенная система согласно рис. 1 и рис. 2 предполагает взаимосвязь между центром мониторинга и выработки антикризисных решений и всеми элементами системы.

Система экологического мониторинга по структуре адекватна структуре мониторинга чрезвычайных ситуаций и поэтому структурно так же состоит из трех уровней [10, 11, 15 – 17].

К первому классу систем относятся космические аппараты дистанционного зондирования Земли [18, 19]. Дистанционное зондирование Земли с использованием искусственных спутников обеспечивает возможность получения информации об экологическом и метеорологическом состоянии зоны загрязнения и прилегающей территории в глобальном масштабе с высоким уровнем пространственно-временного распознавания.



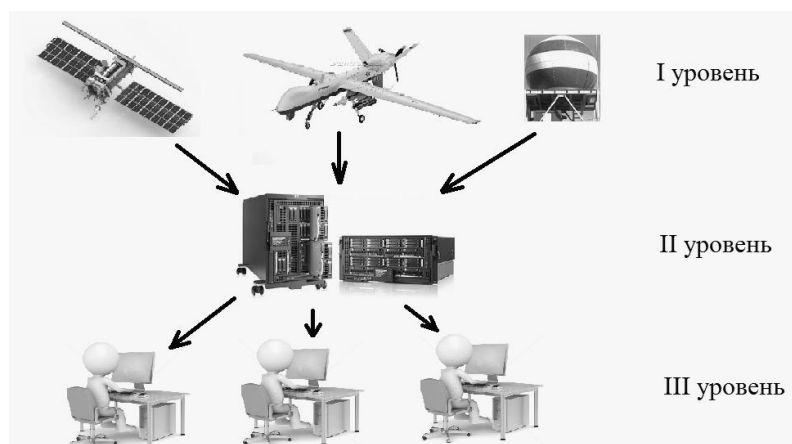
**Рис. 1.** Алгоритм функционирования системы экологической безопасности воздушной среды региона в условиях проявления ЧС



**Рис. 2.** Схема реализации системы экологической безопасности воздушной среды региона в условиях проявления ЧС: 1 – летательный аппарат для доставки реагента; 2 – дождевое облако; 3 – зона атмосферного загрязнения; 4 – летательный аппарат для проведения мониторинга; 5 – передвижные станции СВЧ электромагнитного излучения; 6 – стационарные ПОО; 7 – стационарные пункты мониторинга; 8 – передвижные ПОО; 9 – стационарные станции СВЧ электромагнитного излучения; 10 – центр мониторинга и выработки антикризисных решений; 11 – космические средства мониторинга

Однако как алгоритмы построения системы каждого уровня, так и их техническая реализация имеют существенные различия и спецификацию. Кроме градации по уровням систему мониторинга можно разделить и по основным принципам сбора информации (рис. 3).

При этом контролируются физические, химические, биологические и геометрические параметры зоны мониторинга [20, 21].



**Рис. 3.** Классификация систем мониторинга зоны ЧС и метеообстановки

Из-за жестких массогабаритных ограничений искусственных спутников Земли (ИСЗ) функции анализа полученной информации переложены на наземный сегмент общей системы мониторинга.

В области разработки и использования космических средств мониторинга атмосферы передовую позицию занимают Соединенные Штаты Америки. В США реализована спутниковая метеорологическая система, которая находится в рамках программы NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) и имеет на полярных орбитах спутники «NOAA» и геостационарные спутники «GEOS». Кроме того, министерством обороны США запущена спутниковая метеорологическая система DMSP (Defense Meteorological Satellite Project) [22]. Использование в системе DMSP микроволновых радиометров в качестве всепогодных измерителей параметров атмосферы позволяет реализовать круглосуточный мониторинг гидрометеорологических явлений стран-членов WMO (Всемирной метеорологической организации).

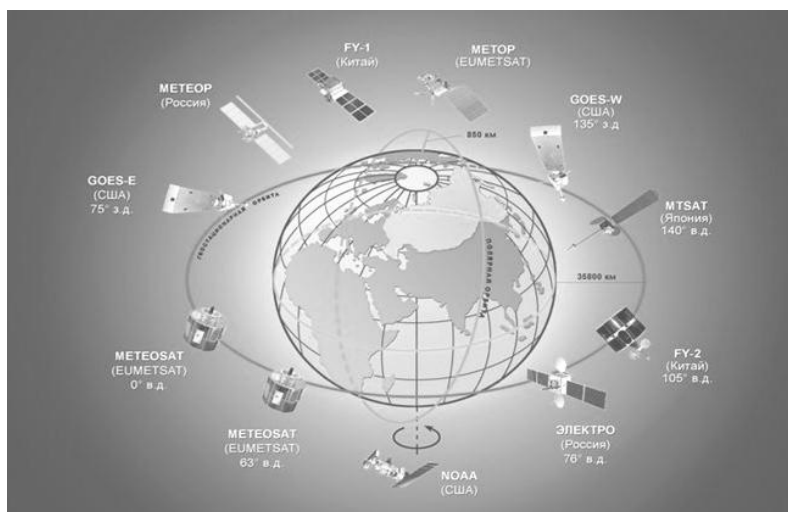
Американским правительством принято также решение о создании Национальной спутниковой системы мониторинга окружающей среды с полярной орбиты «NPOESS» (National Polar-Orbiting Operational Environment Satellite System). Данная система координирует работу военной (DMSP) и гражданской (NOAA) спутниковых систем, а также включает исследовательские спутники «Wind», «Coriolis», «Terra», «Aqua» [22, 23].

Кроме США разработка спутниковых систем мониторинга проводится и в Европейском союзе по программе GMES, которая использует спутники «Envisat» и «Metop». Канадская система мониторинга использует спутники «Radarsat». Также активно работает японская спутниковая система мониторинга атмосферы на базе аппаратов «ADEOS» и индийская система IRS. Среди космических систем гидрометеорологического мониторинга следует выделить комплексы «Метеор-3М» и «Метеор-МП».

Украина не обладает собственными спутниками космической системы мониторинга.

Необходимо отметить, что космические системы мониторинга обладают рядом существенных недостатков применительно к вопросам ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Чаще всего это невозможность нахождения спутника непосредственно над зоной возникновения чрезвычайной ситуации в необходимый промежуток времени, существенное влияние облачности на результаты мониторинга, узкий спектр измеряемых параметров и низкая точность измерения по высоте над уровнем Земли.

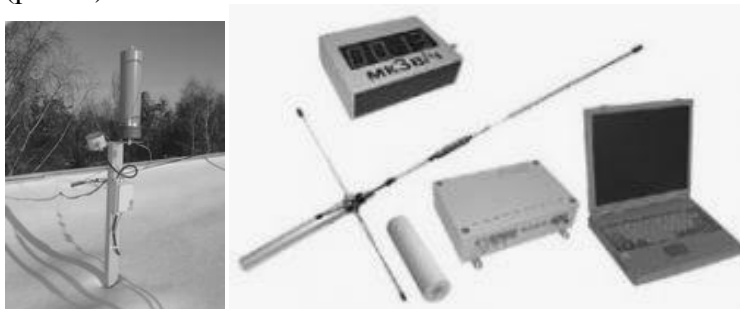
Исключить недостатки космических систем мониторинга позволяет использование наземных систем мониторинга. Кроме того, использование таких систем имеет значительное экономическое преимущество при эксплуатации оборудования.



**Рис. 4.** Международная группировка метеоспутников

Основой системы наземного мониторинга метеорологической обстановки являются метеорологические радиолокаторы (МРЛ), которые позволяют зондировать параметры атмосферы в радиусе 200 км [24]. МРЛ позволяют получать данные о горизонтальных и вертикальных координатах облачности, обводненности облака, интенсивности осадков, скорости ветра и температуре. Данные комплексы разрабатываются в разных странах. В Великобритании используется радиолокатор «Siemens Plessey 45С». В США для штормоповещения, метеорологического обеспечения авиации и измерения осадков используется радиолокатор WSR-88D. В Германии используются радиолокаторы «DWD». Также существуют МРЛ итальянского производства («ALENIA-SMA» и «EEC-ERICSSON») и производства Японии (марка «Mitsubishi»). На территории Украины применяются МРЛ, разработанные в России (МРЛ-2, МРЛ-5). В последнее время разработан автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс АМРК «Метеоячейка», который позволяет производить дистанционное управление радиолокатором, автоматическую обработку данных и сопоставление полученных данных с картой местности.

Отдельный класс систем наземного мониторинга составляют приборы контроля радиационного, химического и биологического загрязнения. Одним из примеров таких средств контроля является автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО) (рис. 5).



**Рис. 5.** Приборная база АСКРО

Комплекс АСКРО предназначен для осуществления непрерывного контроля радиационной обстановки на объектах атомной энергетики, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения. Измерительная аппаратура размещается по периметру зоны контроля, после чего осуществляются сбор и передача данных в реальном времени. Кроме данных радиационной обстановки данная система проводит мониторинг основных метеорологических параметров атмосферы в точке измерения. В большинстве стран, где эксплуатируются атомные электростанции, создана Единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки (ЕГАСКРО), контрольные измерения которой поступают в общую базу данных [25].

Стационарные системы мониторинга химического загрязнения имеют некоторые особенности, которые связаны с необходимостью распознавания природы веществ с широким разнообразием свойств опасных веществ. Поэтому любая система контроля химического загрязнения предназначена для обнаружения четко определенного перечня химически опасных веществ. Если организуется система мониторинга на предприятии, то устанавливается приборная база для контроля опасных веществ, которые обращаются в технологических циклах на этом предприятии. Система экологического мониторинга в рамках ГСМОС устанавливается в крупных населенных пунктах и производит контроль содержания в воздухе таких газов, как: монооксиды углерода и азота, диоксиды азота и серы, пыли, паров формальдегида ( $H_2CO$ ), свинца, бенз(а)пирена и др. В отдельных случаях может производиться контроль дополнительного перечня веществ.

Наиболее перспективным на сегодняшний день является создание автоматизированной измерительной системы производственно-экологического мониторинга (АИСПЭМ).

Основным недостатком стационарных систем экологического мониторинга является возможность контроля параметров только в точке измерения. Поэтому для более качественного мониторинга необходима разработка мобильных систем, таких как автоматизированная система экологического мониторинга мобильного комплекса аварийного реагирования (АСЭММКАР), которая разрабатывается и внедряется в Российской Федерации.

Наиболее эффективными средствами мониторинга зоны загрязнения и метеорологической обстановки, которые позволяют устранить недостатки работы космической и наземной систем мониторинга, являются летательные аппараты. При этом наиболее перспективными являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [26].

Среди преимуществ БПЛА можно отметить: рентабельность; возможность контроля параметров в широком диапазоне высот; получение данных в точно заданных координатах в точно указанное время; оперативность включения в работу системы; возможность использования в опасной зоне без риска для жизни и здоровья пилотов.

БПЛА бывают самолетного и вертолетного типов. Каждый тип имеет свои преимущества и недостатки, которые и определяют специфику их использования для экологического мониторинга. БПЛА самолетного типа могут быть использованы для мониторинга радиационной обстановки. В данном случае реализуются такие качества данного типа БПЛА, как высокая скорость и дальность полета (соответственно большая площадь мониторинга), при этом данные характеристики не снижают качество радиационного контроля. В качестве примеров таких БПЛА можно привести аппараты фирмы ZALA (рис. 6) [27].

Аппараты такого типа могут нести до 10 кг полезной нагрузки, что позволяет использовать достаточно широкий спектр контрольно-измерительного оборудования. Беспилотные самолеты оснащаются системой автоматического управления (автопилот), навигационной системой с инерциальной коррекцией (GPS/ГЛОНАСС), встроенной цифровой системой телеметрии, навигационными огнями, встроенным трехосевым магнитометром, модулем удержания и активного сопровождения цели, цифровым

встроенным фотоаппаратом, цифровым широкополосным видеопередатчиком, дозиметрами, радиометрами.



**Рис. 6.** БПЛА самолетного типа ZALA-421-16EM

Однако при мониторинге химического загрязнения и некоторых метеорологических параметров высокая скорость полета приводит к значительным погрешностям измерения, поэтому в данном случае целесообразно использовать БПЛА вертолетного типа (рис. 7).

Грузоподъемность БПЛА вертолетного типа выше, чем самолетного и достигает 50 кг полезной нагрузки. Это дает возможность использовать достаточно мощную приборную базу. Для целей мониторинга химического загрязнения могут применяться компактные лидарные комплексы. Лидарные комплексы оснащаются набором излучателей в широком спектральном диапазоне излучения (от ультрафиолетового до дальнего инфракрасного).



**Рис. 7.** БПЛА вертолетного типа

Аэрозольный лидар определяет местоположение и отслеживает эволюцию естественных и искусственных аэрозольных образований в атмосфере, а также оценивает характерный размер частиц. Поляризационный лидар исследует их агрегатное состояние и физическую структуру (твердые или жидкие). Differential absorption lidar (DIAL) измеряет концентрацию в атмосфере изотопов йода, которые могут использоваться для контроля уровня радиационного загрязнения. Лидар по измерению воздушных турбулентностей позволяет прогнозировать направление и скорость распространения облака загрязнения. Использование инфракрасного лидара позволяет определять зону горения в случае ликвидации природных пожаров. Для более точного определения химической природы опасных газов можно применять Фурье-спектрометр.

На основе анализа различных систем экологического мониторинга, которые могут быть использованы для решения поставленной в работе задачи, предложен наиболее эффективный способ мониторинга метеорологической обстановки и зоны загрязнения, в котором используются БПЛА различного типа. Высокие темпы разработки новых моделей БПЛА с улучшенными летными качествами и новых малогабаритных и высокоточных

образцов измерительного оборудования позволяют постоянно совершенствовать данный способ мониторинга. При этом необходимо особо отметить, что для повышения эффективности проведения экологического мониторинга при ликвидации крупномасштабных чрезвычайных ситуаций необходимо создание общей системы сбора и анализа данных от космических, наземных и мобильных средств мониторинга.

Далее данные поступают на второй и третий уровни системы мониторинга, где происходит их обработка, анализ и систематизация.

Подготовленные результаты мониторинга поступают в систему поддержки принятия управленческого решения, где происходит оценка целесообразности функционирования разработанной системы экологической безопасности. Критерием целесообразности является отношение экологических рисков от последствий ЧС без активации ( $R_0$ ) и при активации разработанного комплекса мер по обеспечению экологической безопасности ( $R_1$ ).

Экологические риски ( $R$ ) определяются произведением вероятности события ( $Z$ ) и ущерба от последствий ( $A$ ):

$$R = Z \cdot A. \quad (1)$$

Так как оцениваются риски от одного и того же события (ЧС), то вероятности равны ( $Z_0=Z_1$ ). Соответственно риски ( $R_0, R_1$ ) будут определяться соответствующими ущербами ( $A_0, A_1$ ).

Согласно утвержденной Кабинетом Министров Украины Методике, оценки убытков от последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера рассчитываются по формуле [25]:

$$A = N_p + M_p + P_{c/x} + P_{л/x} + P_{p/x} + P_{рек} + P_{пзф} + A_\phi + B_\phi + Z_\phi, \quad (2)$$

где  $N_p$  – потеря жизни и здоровья населения;  $M_p$  – разрушение и повреждение основных фондов, уничтожение имущества;  $P_{c/x}$  – удаление или нарушение сельскохозяйственных угодий;  $P_{л/x}$  – потери древесины и других лесных ресурсов;  $P_{p/x}$  – потери рыбного хозяйства;  $P_{рек}$  – уничтожение или ухудшение качества рекреационных зон;  $A_\phi$  – загрязнения атмосферного воздуха;  $B_\phi$  – загрязнение поверхностных и подземных вод и источников, внутренних морских вод и территориального моря;  $Z_\phi$  – загрязнение земель несельскохозяйственного назначения;  $P_{пзф}$  – ущерб, нанесенный природно-заповедному фонду.

Процедура расчета каждого параметра изложена в Методике [28], однако основными факторами, определяющими большинство параметров, являются размеры зоны загрязнения, химический состав и количество загрязняющих веществ. При сравнении рисков рассматривается одна чрезвычайная ситуация, поэтому химический состав и количество загрязняющих веществ для  $R_0$  и  $R_1$  будет одинаковым (за исключением случая использования искусственно инициированных осадков при тушении масштабных пожаров). Соответственно риски  $R_0$  и  $R_1$  определяются только размером зон загрязнения.

При выборе химического метода воздействия негативным экологическим влиянием можно пренебречь, так как концентрация вводимых реагентов на 2-3 порядка ниже их предельно допустимых концентраций.

При выборе электрофизического метода искусственного инициирования осадков негативным воздействием обладает СВЧ электромагнитное излучение. Согласно [29], ЭМИ относится к неаккумулируемым загрязнениям, соответственно расчет ущерба производится по мощности излучения и количеству живых организмов, попавших в зону воздействия. Так как для искусственного инициирования осадков применяются излучатели направленного действия, то в зону воздействия электромагнитного излучения могут попасть только птицы и насекомые, летающие в атмосфере.

При условии  $R_0 \leq R_1$  активация системы нецелесообразна, однако ситуация развивается во времени, поэтому необходим постоянный контроль мониторинговых параметров для отслеживания момента возможного изменения ситуации. При условии  $R_0 > R_1$  происходит активация основных систем поддержки принятия решения, где на основе полученных данных с использованием разработанного комплекса расчетных инструментов проводится прогнозирование интенсивности осадков, которые определяют скорость выведения загрязнения из нижней атмосферы. В свою очередь, скорость осаждения загрязнения определяет развитие экологического состояния района проведения оперативных мероприятий по очистке атмосферы.

Для выработки правильного решения при ликвидации атмосферного загрязнения необходимо собрать, обработать и проанализировать большой массив разноплановой информации. Задача дополнительно усложняется при использовании различных методов искусственного влияния на атмосферные процессы. Как рассматривалось выше, вопросы достаточно точного прогнозирования развития аварии, а также физико-химических и термодинамических процессов в атмосфере, решаются с применением сложных математических моделей и расчетных комплексов.

Исходя из этого, в соответствии с разработанной схемой функционирования системы (рис. 1), для автоматизации подсистемы поддержки принятия управленческого решения оперативными сотрудниками, задействованными на ликвидации атмосферного загрязнения, необходимо создать автоматизированное рабочее место (АРМ), которое позволит оперативно обобщить мониторинговую информацию и проводить прогнозирование развития событий при принятии тех или иных решений.

Основной задачей, которая ставится перед АРМ, является определение возможности и эффективного использования того или иного метода искусственного осадкообразования для очистки нижней атмосферы от конкретного загрязняющего вещества в условиях определенных метеорологических условий.

Для решения этой задачи первостепенным является полный мониторинг зоны загрязнения, который включает:

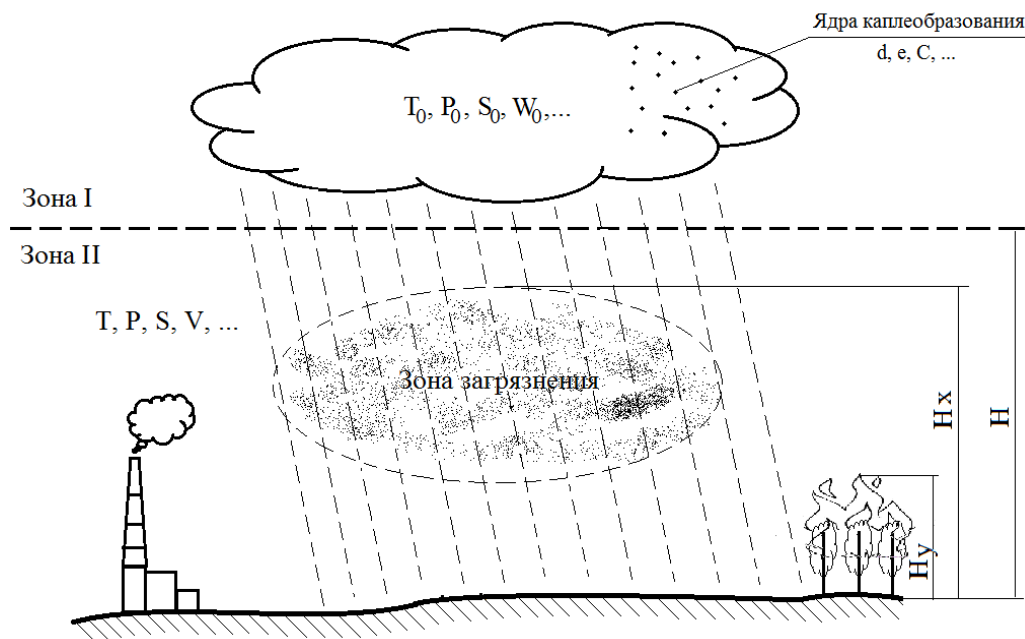
- определение химической природы загрязняющего вещества и распределения его по концентрации в зоне загрязнения;
- определение геометрических размеров и географических координат зоны загрязнения;
- мониторинг метеорологической ситуации, как в зоне загрязнения, так и над ней до высот 5–7 км (скорость и направление ветра, влажность и температура воздуха, атмосферное давление, влагозапас облака и др.).

Для реализации данных функций могут быть задействованы все виды мониторинга (спутниковые, БПЛА, наземные автоматизированные системы контроля).

На основе собранной информации руководитель ликвидации загрязнения атмосферы принимает решение о способе искусственного инициирования осадков над/в зоне загрязнения. В случае, когда метеоусловия и характер загрязнения позволяют использовать летательные аппараты, для доставки реагента в зону воздействия рекомендуется использовать пилотируемые или беспилотные летательные аппараты, которые позволяют проводить засев активной зоны с высокой точностью на значительных площадях. При неблагоприятных условиях для доставки реагента могут использоваться малогабаритные ракеты. Однако следует отметить, что данный способ малоэффективен при значительных масштабах загрязнения. В этом случае наиболее универсальным по условиям применения, размерам зоны загрязнения и имеющего большую эффективность, является электрофизический метод искусственного инициирования осадков с использованием многопозиционных источников СВЧ электромагнитного излучения.

Вторым этапом работы АРМ является прогнозирование интенсивности осадков над зоной загрязнения при установленных параметрах. Для этого условно зона загрязнения и часть атмосферы над ней разбиваются на две зоны (рис. 8).





**Рис. 8.** Условная схема основных процессов в атмосфере, определяющих интенсивность осадков

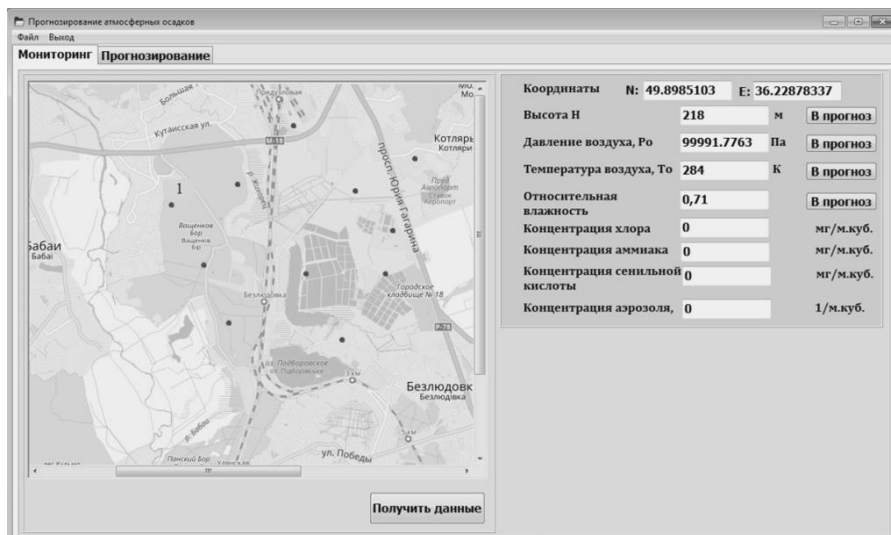
Для описания процессов в первой зоне (зоне осадкообразования) используются модели интенсивности каплеобразования в облаке при различных свойствах ядер конденсации и различных метеоусловиях. При моделировании учитываются поверхностные свойства ядер конденсации, их размер, электрический заряд и концентрация. Эти параметры вводятся руководителем в программный комплекс с учетом выбранного им способа искусственного осадкообразования и химического состава реагента.

В процессе конденсации и коагуляции размер и масса капли растут и при достижении критических значений конвективные потоки воздуха не в состоянии удерживать капли на весу, и они выпадают из зоны осадкообразования.

Вторая зона представляет собой зону выпадения осадков, где происходит испарение капель дождя. Моделирование динамики испарения капли при ее падении проведено ранее в [30]. Исходными параметрами для описания процессов в данной области является интенсивность капельного потока, выпавшего из зоны I и попавшего в зону II, данные о метеоусловиях в указанной области, а также температура пожара (при его наличии).

Описанный выше алгоритм реализован в виде программного продукта «ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ», разработанного в программной среде Delphi (рис. 9).

Интерфейс программы состоит из двух разделов (вкладок) – «МОНИТОРИНГ» и «ПРОГНОЗИРОВАНИЕ». Вкладка «МОНИТОРИНГ» (рис. 9) создана для удобной обработки информации, полученной в результате мониторинга зоны загрязнения и метеорологической обстановки. Разработанная программа ориентирована на проведение мониторинга зоны загрязнения с использованием БПЛА, которые оснащены приборной базой для автоматического мониторинга необходимых параметров и беспроводной передачей их на АРМ.

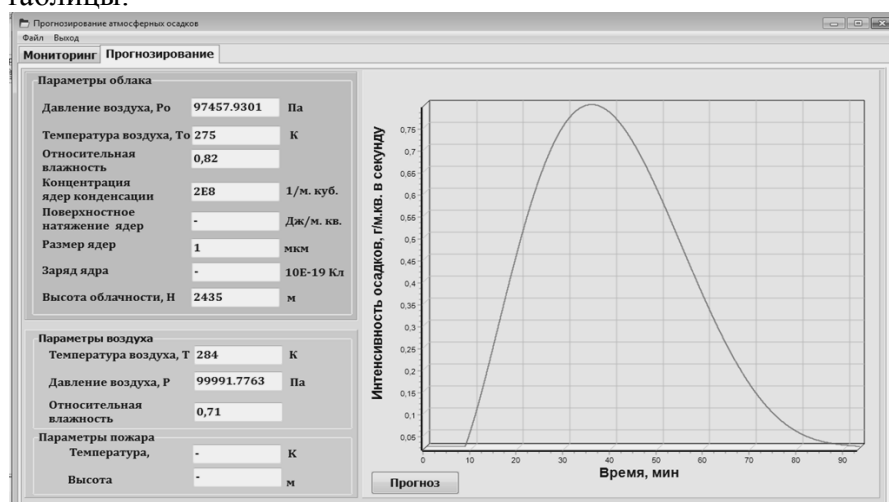


**Рис. 9.** Вкладка «МОНИТОРИНГ» интерфейса АРМ «ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ»

В левой части данной вкладки размещена карта местности, над которой существует загрязнение атмосферы. Конкретный регион и масштаб карты выбирает оператор (перемещением соответствующих курсоров). По переданным от БПЛА координатам в режиме реального времени на карте размещаются точки передачи данных от БПЛА.

Непосредственно переданные от БПЛА-разведчика данные, привязанные к точке на карте, отображаются в правой части вкладки. Руководитель ликвидации загрязнения анализирует полученные данные и в случае необходимости может сразу их отправить для проведения прогнозирования.

Вторая вкладка «ПРОГНОЗИРОВАНИЕ» (рис. 10.) состоит из области ввода исходных параметров расчета и вывода полученных данных. Область ввода исходных параметров, в свою очередь, также разделена на две части, куда вносятся параметры зоны осадкообразования (I) и зоны выпадения (II), соответственно. Данные, которые не удалось получить в результате мониторинга, оператор вносит вручную, основываясь на полученной другим способом информации. После нажатия на кнопку «ПРОГНОЗ» производится расчет интенсивности осадков, результаты которого выводятся в виде графика или таблицы.



**Рис. 10.** Вкладка «ПРОГНОЗИРОВАНИЕ» интерфейса АРМ «ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ»

Используя разработанное АРМ руководитель ликвидации загрязнения сможет оперативно получить информацию о возможности искусственного вызывания осадков тем или иным способом при существующих атмосферных условиях. В случае, когда определена теоретическая возможность искусственного инициирования осадков над зоной

загрязнения с использованием АРМ «ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ», можно определить наиболее эффективный способ воздействия, оценить интенсивность прогнозируемых осадков в тот или иной промежуток времени и общую прогнозируемую продолжительность осадков.

### **Выводы**

В работе предложены алгоритм функционирования системы обеспечения экологической безопасности атмосферы при возникновении ЧС и схема его реализации с использованием современных методов искусственного инициирования осадков. В качестве перспективного пути развития систем мониторинга обстановки для обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы, предложено создание автоматизированного комплекса мониторинга, который позволит получать и обобщать данные со спутниковых, наземных стационарных и мобильных систем мониторинга. Для получения оперативной и достоверной информации о параметрах зоны загрязнения и состоянии атмосферы в данной зоне предложено использовать БПЛА с необходимой измерительной аппаратурой, основу которой составляют лидары различного частотного диапазона. Разработан программный комплекс автоматизированного рабочего места (ПКАРМ) руководителя ликвидации загрязнения, как составляющая системы поддержки принятия управленческого решения. ПКАРМ руководителя совместно с техническими системами мониторинга позволяет быстро и надежно отображать полученную в результате мониторинга информацию, а также проводить оперативное прогнозирование основных параметров искусственно инициируемых осадков (на основе полученных данных мониторинга и выбранного способа воздействия).

1. Андронов В.А. Природні та техногенні загрози, оцінювання небезпек / В.А. Андронов, А.С. Рогозін, О.М. Соболев, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2011. – 264 с.

2. Калугін В.Д. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204 – 216.

3. Андронов В.А. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні / В.А. Андронов, М.М. Дівізінюк, В.Д. Калугін, В.В. Тютюник. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 319 с.

4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році. [Електронний ресурс]. Режим доступа:

[http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2013.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html)

5. Кустов М.В. Химически опасные выбросы в атмосферу при техногенных авариях на предприятиях Украины / М.В. Кустов // Безопасность в техносфере. – М., 2015. – № 3. – С. 16 – 21.

6. UNSCEAR 2000. Exposures and effects of the Chernobyl accident (Annex J). New York: United Nations [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.unscear.org/docs/reports/annexj.pdf>

7. Yoshenko V.I. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl exclusion zone, Part II: Modeling the transport process / V.I. Yoshenko et al. // J. Environ. Radioactiv. – 2006. – № 86. – pp. 260-278.

8. Yamauchi M. Settlement process of radioactive dust to the ground inferred from the atmospheric electric field measurement / M. Yamauchi, M. Takeda, M. Makino, T. Owada, I. Miyagi // Ann. Geophys. – 2012. – № 30. pp. 49-56.

9. Кудинов В.А. Современные концепции глобальной экологической безопасности / В.А. Кудинов, Е.С. Бабий, А.В. Кудинова // Проб. Одес. політех. ун-ту. – 2012. – Вип.1. – С. 276-281.
10. Азаренко Е.В. Проблема управления экологической безопасностью прибрежных вод и пути ее решения / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2012. – Вип. 2(100). – С. 271-275.
11. Болотских М.В. Научные основы эффективного предупреждения и борьбы с чрезвычайными ситуациями и стихийными бедствиями/ М.В. Болотских, М.В. Орешкин, П.В. Шелихов, Е.П. Луганцев. – Луганск: ЛНАУ. – 2004. – 34 с.
12. Кустов М.В. Современные способы искусственного инициирования осадков для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций / М.В. Кустов // Харьков. – 2016. – 130 с.
13. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст.546 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
14. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 50, ст.678 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>
15. Калач А.В. Интеллектуальная интегрированная система безопасности / А.В. Калач, В.И. Савинова, Е.В. Калач // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – Вып. 5(45). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2012-1/05-05-12.ttb.pdf>
16. Крутков В.А. Геоинформационное обеспечение мониторинга окружающей среды и климата / В.А. Крутков, Ю.М. Полищук // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – № 1. – С. 12-20.
17. Лисиченко Г.В. Про вдосконалення системи моніторингу довкілля в світлі задач сталого розвитку / Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, В.А. Бабинець [та інш.] // Зб. Тр. Севастоп. Нац. ун-ту ядерної енергії і промисловості. №14. – Севастополь, 2005. – С. 50-59.
18. NASA Launches Advanced Landsat Earth-Watching Satellite Into Orbit by Mike Wall [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.space.com/19728-nasa-launches-landsat-earth-satellite-ldcm.html>
19. Dubrov M.N. Excitation of the Earth surface and ionosphere recorded simultaneously by laser strainmeter and GPS data processing / M. N. Dubrov, V.M. Smirnov // XXIII General Assembly of the Int. Union of Geodesy and Geophysics (IUGG2003), Sapporo, Japan, 2003. – p. 7.
20. Oberstadler R. Assessment of the mapping capabilities of ERS-1 SAR data for flood mapping / R. Oberstadler, H. Hoensh, D. Huth // A case study in Germany 2nd ERS Applications workshop, 1995. – pp. 237-255.
21. Prinnet V. A framewok: for flood assessment using satellite images / Prinnet V., Zhou Z.X., Songde M.A. // TRGASS'1998, Seattle, 1998, – pp. 1123-1131.
22. Dowty P.A. Theoretical Investigation of Fire Detection with AVHRR Data / Dowty P.A. // M.S. Thesis, Department of Environmental Sciences, University of Virginia, Charlottesville, Virginia, 1993. – p. 89.
23. Flannigan M.D. Forest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR / Flannigan M.D., Vonder Haar T.H. // Canadian Journal of Forest Research. – 1986. – Vol.16. – pp. 975-982.
24. Калинин Н.А. Исследование атмосферы с помощью импульсных метеорологических радиолокаторов / Н.А. Калинин. Перм. ун-т, Пермь, 2000. – 295 с.

25. Барбашев С.В. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки: принципы построения и методы реализации. / С.В. Барбашев, Б.С. Пристер // Ядерна та радіаційна безпека, 2013. – №1(57). – С. 41-47.

26. Proceedings of International Conference "Unmanned Aircraft Systems - Towards Civil Applications". 2009. Graz, Austria. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.fh-johanneum.at/aw/home/Studienangebot/fachbereich\\_information\\_design\\_technologien/lav/News\\_Events/lav\\_events/~bshr/lav-ev-/?lan=de](http://www.fh-johanneum.at/aw/home/Studienangebot/fachbereich_information_design_technologien/lav/News_Events/lav_events/~bshr/lav-ev-/?lan=de)

27. Группа компаний ZALA AERO [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zala.aero>

28. Постанова Кабінету Міністрів України від 15.02.2002 року № 175 „Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру” [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-p>

29. Сподобаев Ю.М. Основы электромагнитной экологии / Ю.М. Сподобаев, В.П. Кубанов. – М.: Радио и связь, 2000. – 240 с.

30. Шаршанов А.Я. Моделирование атмосферных осадков для определения их противопожарного потенциала /А.Я. Шаршанов, М.В. Кустов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – Вып. 34. – С. 186-193.

**М.В. Кустов<sup>1</sup>, В.Д. Калугін<sup>1</sup>, В.В. Тютюник<sup>1</sup>, С.В. Ольховіков<sup>2</sup>**

**ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АТМОСФЕРИ ПРИ ВИНИКНЕННІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

*Розроблено алгоритм та схему побудови системи забезпечення екологічної безпеки повітряного середовища регіону при виникненні надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Система заснована на принципах організації моніторингу надзвичайної ситуації, прогнозування можливих наслідків забруднення атмосфери та осадження забруднення за допомогою розроблених методів штучного ініціювання опадів. Розглянуто існуючі системи та технічні комплекси проведення моніторингу зони атмосферного забруднення та визначена найбільш ефективна система оперативного моніторингу. Розроблено програмний комплекс для підвищення оперативності прийняття управлінського рішення, який дозволяє узагальнювати отриману моніторингову інформацію та прогнозувати ситуацію при виборі антикризового рішення.*

**M.V. Kustov, V.D. Kalugin, V.V. Tiutiunyk, S.V. Olhovikov**

**THE ATMOSPHERIC ECOLOGICAL SAFETY SYSTEM PERFORMANCE IN EMERGENCY SITUATIONS**

*The algorithm and the scheme of creation of the system of providing a safety ecological air environment of the region in case of emergency situations of natural and technogenic nature have been developed. This system is based on the principles of the emergency situation monitoring organization and forecasting of possible consequences of the atmosphere pollution, and also sedimentation of pollution by means of the developed methods of artificial precipitation initiation. The existing systems and technical complexes of carrying out zone monitoring of atmospheric pollution have been considered. The most effective system of operational monitoring has been determined. The program complex has been developed for increase in efficiency of acceptance management decision. This complex allows to generalize the acquired information of monitoring and to predict a situation in case of the crisis choice response solution.*

**М.І. БАЗАЛЄСВ, Б.Б. БАНДУРЯН, С.Є. ДОНЕЦЬ, В.Ф. КЛЕПШКОВ,  
В.В. ЛИТВИНЕНКО, О.Г. ЛИСИЧЕНКО<sup>1</sup>, Є.М. ПРОХОРЕНКО**

*Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України*

*<sup>1</sup>Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України*

## **РОЗРОБКА ТЕРМОГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА КОНТРОЛЮ СТАНУ МАТЕРІАЛІВ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД**

*Розглядається процедура застосування експрес-методу оцінки впливу руйнівних факторів на матеріали гідротехнічних споруд. Процедура заснована на дистанційному вимірюванні розподілу теплового поля на поверхні досліджуваного об'єкту з застосуванням тепловізійної техніки. Аналізуються процеси, здатні впливати на формування теплового поля – вологопроникність та компонентний склад природніх ґрунтів.*

### **Вступ**

Оцінка стану матеріалу залізобетонних споруд електрогенеруючих та розподільчих потужностей є неодмінною складовою комплексу заходів, що забезпечують сталість постачання електроенергії в загальнодержавну енергетичну мережу, дотримання норм радіаційного та теплового навантаження на довкілля, виконання функцій фізичного захисту технологічного обладнання енергетичного комплексу, забезпечення надійних умов експлуатації обладнання, яке є джерелом вібрацій та ін. Разом з тим, матеріал залізобетонних конструкції піддається впливові природних та технологічно зумовлених чинників, який призводить до зниження його експлуатаційних характеристик. У залежності від призначення залізобетонної конструкції джерелом руйнівного впливу можуть виступати технологічна вода та, відповідно, коливання її температури, що в найбільшій мірі стосується залізобетонних конструкцій маневруючих потужностей, фундаменти насосного устаткування піддаються вібраційним впливам, фундаменти капітальних споруд та захисні оболонки перебувають під впливом ґрунтових вод та метеорологічних чинників. Достатньо довготривалі процеси, що відбуваються на мікро- та макрорівнях в компонентах бетону та арматури, здатні призвести до якісних перетворень та втрати експлуатаційних властивостей. Таким чином, задача розробки експрес методів оцінки стану та ресурсу залізобетонних споруд є нагальною, а необхідність комплексності її вирішення є так само обґрунтованою, як для проблем оцінки стану електричного та енергомеханічного обладнання.

### **Аналіз наявних методів контролю**

На теперішній час існує низка методів, які дозволяють здійснювати контроль та оцінку стану залізобетонних споруд. Наведемо їх короткий огляд, користуючись роботою [1]. Механічні методи полягають в ударному або пластичному впливові на певну ділянку конструкції з подальшим визначенням її пружних або пластичних характеристик та дослідним встановленням міцнісних характеристик. Радіаційні методи засновані на одержанні внутрішньої структури досліджуваного об'єкту в рентгенівських променях або на оцінці гальмівної здатності опромінюваної речовини. Ультразвуковий імпульсний метод застосовується для визначення міцнісних характеристик, контролю набору міцності в процесі затвердіння конструкції, визначення несучої здатності залізобетонних конструкцій та характеристик довговічності бетону. Акустико-емісійний метод заснований на здатності акустичних хвиль ініціювати додаткове фононне випромінювання в місцях динамічної перебудови структури твердих діл, яка відбувається саме в місцях локалізації дефектів. Застосування спеціальних обчислювальних методів аналізу акустичного поля дозволяє ідентифікувати місця розташування дефектів.

З огляду на необхідність вищезазначеної комплексності у підході до оцінки стану ресурсу залізобетону, безумовно, застосування кожного з вказаних методів є обґрунтованим і має потенціал до вдосконалення. Разом з особливістю контролю за станом залізобетону є достатньо великі площі контролю та локальний характер утворення дефектних областей. Нами були проведені дослідження з апробації застосування тепловізійних методів контролю, оскільки вони дозволяють оперативно обстежувати великі за площею об'єкти, про що також свідчить аналіз власних результатів попередніх тепловізійних вимірювань на Новодністровській ГАЕС. Відомо, що тепловізійний (термографічний) контроль (ТК) є таким, що найбільш активно розвивається в теперішній час, та знаходить застосування при діагностиці теплотехнічного та електротехнічного обладнання, матеріалів авіаційної та космічної техніки, будівництва, машинобудування та ін. [2]. Відомо, що він заснований на дистанційному вимірюванні розподілу температури на поверхні досліджуваного об'єкту, подальшому аналізі особливостей розподілу та інтерпретації результатів з точки зору наявності дефектних зон, оцінки ресурсу, відповідності технічним умовам. Розширення сфер застосування ТК зумовлено удосконаленням технологій виготовлення неохолоджуваних детекторів інфрачервоного (ІЧ) випромінювання (тепловізійних матриць), з високим просторовим (240x320 та більше) і температурним (0,025 К) розрізненнями. Зазначимо низку деталей, розгляд яких показує доцільність та необхідність впровадження в процес діагностики методів, заснованих на тепловізійному контролі: необхідною передумовою проведення контролю та діагностики є візуальний огляд та документування повної площі усїєї конструкції (сучасні тепловізори здійснюють одночасну зйомку в видимому та ІЧ діапазоні); місця, які підлягають контролю, не завжди є легко доступними для безпосереднього контакту, або ж конструкція має доступ тільки з боку однієї з поверхонь; процеси, які передують виникненню умов деградації на мікрорівні, не завжди ідентифікуються вищезазначеними методами через локальність їх прояву; процеси, що призводять до деградації залізобетону, вказують на наявність неоднорідних полів тепломасопереносу, зумовлених явищами різного походження, але, разом з тим, можна констатувати можливість їх ідентифікації засобами неруйнівного тепловізійного контролю.

## **1. Моделі тепломасопереносу в залізобетоні та їх прояв в інфрачервоному діапазоні**

Серед основних чинників деградації властивостей залізобетону найбільш значимими є вплив напірної фільтрації ґрунтової води, води технологічних водоймищ та природних опадів; циклічні навантаження, які спричиняються роботою технологічного обладнання; температурні коливання; повітряна ерозія тощо. Фізичний механізм пошкоджуваності полягає в збільшенні пористості, відшаруванні бетону від арматури, цементної маси від наповнювача тощо. Це в подальшому призводить до підвищення воломісткості, що спричиняє інтенсифікацію руйнівних процесів при коливанні температури, особливо в околі точки замерзання води. Хімічні процеси руйнівного впливу відрізняються ще більшим різноманіттям. Серед них слід відзначити вплив лужних та кислих середовищ, сульфату магнію та інших сполук, що містяться в ґрунтових водах, осадах, технологічній воді та дезактивууючих розчинах.

Отже, постає задача ідентифікації місць із підвищеною пористістю, шпаруватістю та схованими порожнинами. Очевидно, що їм властива відмінність теплофізичних характеристик, таких як теплоємність та теплопровідність, але, разом із тим, кількісний температурний прояв на поверхні досліджуваного об'єкту буде ще на первинній стадії зародження дефекту, як правило, недостатнім для його ідентифікації тепловізором у режимі одноразової зйомки (пасивної термографії). Це зумовлено не тільки об'єктивним значенням температурного розрізнення приладу, але й наявністю джерел похибок, які є співвимірними або більшими за величину температурного градієнту, зумовлено власне дефектністю зразка. Особливістю тепловізійної діагностики масивних конструкцій є

ускладненість застосування активних методів дослідження з використанням штучних засобів активації температурного поля. Тому найбільш доцільним є використання природних коливань значень зовнішніх факторів: вологості, швидкості вітру, температури. Таким чином, одним із шляхів виявлення корисного сигналу при проведенні діагностичних вимірювань повинен бути більш детальний аналіз процесів тепломасообміну в залізобетонному виробі. Одним із механізмів теплообміну є випаровування води з бетону. Вплив цього механізму на величину зміни температури визначається ступенем зволоженості. Місткість води в бетоні може коливатись також в залежності від температури оточуючого повітря, але за даними роботи [3] ці коливання знаходяться в межах 0,2 – 0,6% від маси наповнювача бетону при зміні температур від 20 до 80°C. В той же час у випадку фільтраційного проникнення на поверхню бетону води, її вплив на процеси теплообміну можуть бути більш суттєвими, особливо під час збільшення швидкості вітру. В загальному випадку одномірне рівняння фільтраційного потоку рідини записується таким чином [4]:

$$j = -D\gamma_0 \left[ \left( 1 - \frac{u}{RT} \frac{dU}{du} \right) \frac{du}{dx} + \frac{uU}{RT^2} \frac{dT}{dx} + \frac{uV}{RT} \frac{dP}{dx} \right], \quad (1)$$

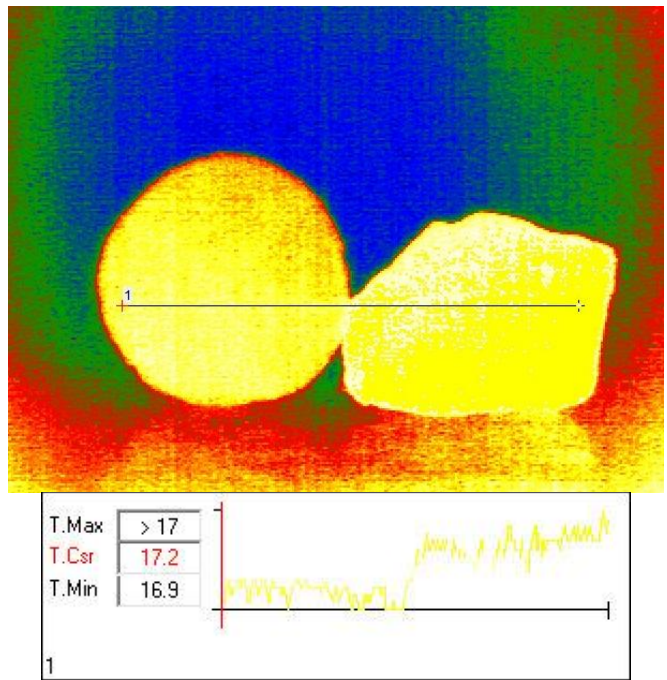
де  $D = \left[ (\delta\alpha^2) / (6\tau_0) \right] \exp(-E/RT)$  – коефіцієнт дифузії,  $\alpha$  – відстань стрибка молекули води,  $\tau_0$  – період теплових коливань,  $E$  – енергія активації стрибків одного кіломоля молекул рідини, в т.ч. з урахуванням гідростатичного та інших тисків,  $U$  – енергія зв'язку молекул води з матеріалом бетону,  $T$  – температура;  $u$  – вологомісткість бетону;  $\gamma_0 = \gamma / (1 + u)$  – густина вологого бетону.

## 2. Вплив неоднорідності ґрунтового масиву

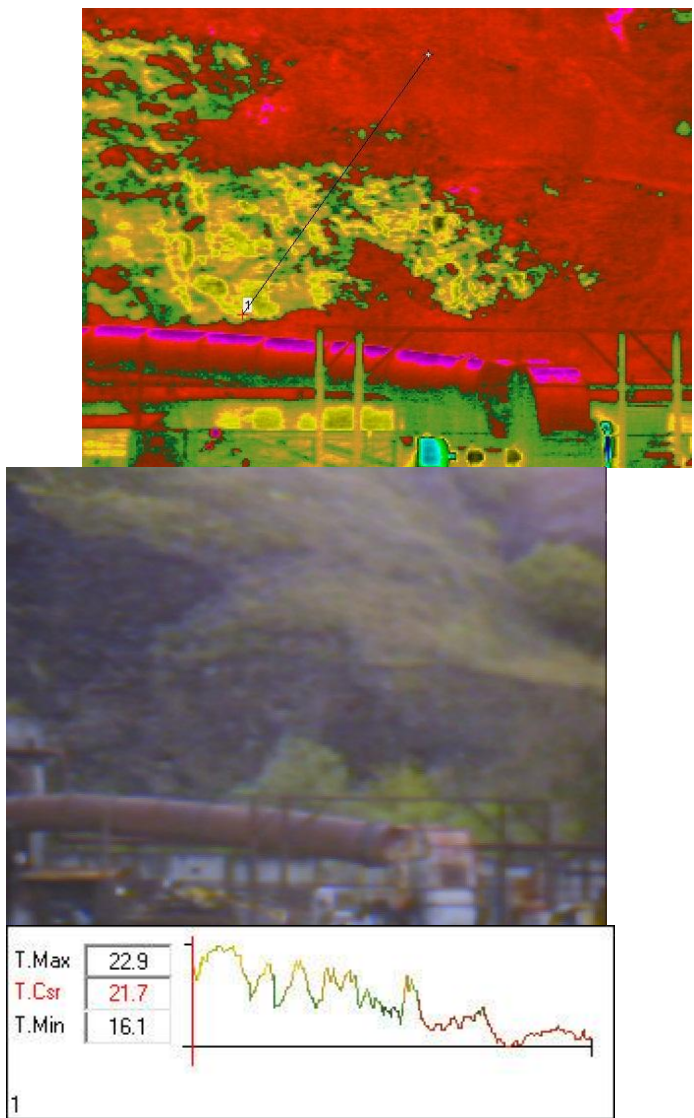
Оскільки протягом доби температура ґрунтового масиву змінюється, ми аналізуємо постійно змінюване поверхнєве температурне поле, фактично реалізуючи режим активної термографії, в якому активуючими факторами виступають природні потоки повітря та сонячні промені. Інформацію про наявність аномальних зон, що можуть негативно проявитись у вигляді підвищених механічних впливів на підземні споруди або зсувів, можна одержати шляхом порівняння значень зміни температури на різних ділянках поверхні досліджуваного об'єкту  $\Delta T_{i,m}(r) / (t_i - t_{i-1})$ . Виникнення виражених температурних градієнтів на поверхні досліджуваного об'єкту в процесі охолодження або нагрівання є ознакою неоднорідності його внутрішньої будови. Враховуючи макромасштаби діагностованого об'єкту, нами були також в лабораторних умовах вивчені особливості теплових режимів окремих геологічних зразків, що були одержані з відвалу ґрунту, в якому будується технологічний тунель водоводу. Зважаючи на те, що на процеси тепломасообміну впливає режим насичення водою порід, ми витримували в камері зі 100% вологістю глинистий ґрунт та зразок породи оргаліту, після чого поміщали їх в камеру для НВЧ опромінення. Як видно з рис. 1, оргаліт, як менш водонепроникна речовина, в меншій мірі накопичив вологу (на рисунку зліва) і, відповідно, менш нагрівався під дією НВЧ випромінювання, тоді як глинистий ґрунт (на рисунку справа) містив більше води, і за той же час його температура підвищилась на більшу величину. Отже, вологомісткість та вологопроникність суттєво впливатимуть на розподіл теплового поля в ґрунтовому масиві, де відбувається монтаж залізобетонної споруди.

Як видно з рис. 2, різноманітний геологічний склад порід, що знаходяться на поверхні схилів, також є причиною візуально спостережуваних температурних відмінностей.





**Рис. 1** Теплові зображення зразків різних гірничих порід, що витримувались в лабораторних умовах при однаковій температурі та профіль розподілу температури



**Рис.2.** Термограма схилу над споруджуваним технологічним тунелем при будівництві водоводу.

Разом з тим, коректна методологія проведення досліджень дозволяє встановити природу виникнення температурних аномалій, а їх спостереження в часі дозволяють зробити висновок про стабільність структури укріплення. Системні дослідження дають можливість встановити характер протікання процесів, що відповідальні за стійкість ґрунтових мас, ерозію та порушення рівноваги. Оскільки ерозія є довготривалим процесом, її проявлення на тепловізійному зображенні є більш очевидним через відмінність рослинного покриву, зволоженості ґрунту, орієнтації площин спостережуваної поверхні.

Як бачимо в рівнянні (1), перший член відображає дифузійний механізм вологопереносу, другий член зумовлений температурним градієнтом, а третій – наявністю тиску.

Термографічний контроль залізобетонних споруд дозволяє визначити динаміку добової зміни температури, виявити місця несучільної укладки бетону, виникнення порожнин у дефектних швах, зони надмірної фільтрації, рівня герметизуючої мастики, термонапруженого стану болтових кріплень, стану нагрівальних елементів та ін. На рис. 2 зображено термограму схилу технологічного тунелю при спорудженні водоводу.

Термограми були одержані в денний період за температури довкілля близько 23°C в умовах освітлення сонячними променями. Як видно з профілеграм на рис. 2, відмінність між температурами на поверхні складає близько 1 - 2°C., що може свідчити як про особливості внутрішньої будови залізобетонної конструкції та/або про різноплощинність укладки облицювальних матеріалів, так і про певні вади. З'ясування істинних причин виникнення температурних аномалій потребує застосування описаної вище методології спостереження протягом певного часу. Але в даному випадку сонячна освітленість та зовнішні фактори виступають джерелами активуючого температурного впливу. Авторами роботи [5] викладено особливості методів дослідження залізобетонних конструкцій з застосуванням активної термографії, але ними пропонувалося штучне джерело активації, що є доцільним при порівняно невеликій товщині конструкцій (30-50 см) та у випадках поблочного виготовлення елементів конструкції. У випадку суцільного лиття та великих масштабах такий спосіб може виявитись високовартісним та важким у реалізації. Тому для одержання більш об'єктивних даних доцільно проводити зйомку в різні періоди доби, використовуючи як температурний активатор природне сонячне освітлення.

### **Висновки**

Термографічний метод контролю стану залізобетонних конструкцій є таким, що добре себе зарекомендував у будівельній галузі. Разом з тим, застосовуючи його для контролю стану та умов експлуатації гідротехнічних споруд слід зважати на властивості природних ґрунтів до насичення вологою. Для цього доцільно проводити попередній відбір характерних зразків геологічних порід та оцінювати їх водомісткі властивості, застосовуючи запропоновану методику зволоження, впливу НВЧ випромінювання та оцінки радіаційної температури.

1. Бакиров М.Б. Оценка технического состояния железобетонных строительных конструкций энергоблоков АЭС// пресс – релиз Центра материаловедения и ресурса ВНИИАЭС . – 2004.
2. Тепловизионный мониторинг технического состояния компрессорного и энергетического оборудования как метод эффективного решения проблемы энергосбережения / Базалеев Н.И., Бандурян Б.Б., Клепиков В.Ф., Литвиненко В.В.// Компрессорное и энергетическое машиностроение.-№1(3).-2006. – с.60-65.
3. Кириенко И.А. Новые данные по технологии бетона. \ \ Строительная промышленность, 1933 г., №7.
4. Гамаюнов Н.И. Процессы переноса энергии и вещества. Тверь: ТГТУ, 2004. – 284 с.

5. Ch. Maierhofer, H. Wiggenger, A. Brink, M. Rholig /Quantitative numerical analysis of transient IR-experiments on buildings// Infrared Physics & Technology 46 (2004) 173–180.
6. М.І.Базалєєв, Б.Б.Бандурян, В.В.Литвиненко, В.Ф.Клепиков, О.Г.Лисиченко / Тепловізійний метод оцінки зсувонебезпеки в зоні розташування гідротехнічних споруд енергетичного комплексу // Науковий збірник «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист». – в.5.-2012. – с.88-94.

**Н.І.Базалєєв, Б.Б. Бандурян, С.Е.Донец, В.Ф.Клепиков, В.В.Литвиненко, А.Г.Лисиченко<sup>1</sup>, Е.М.Прохоренко**

**РАЗРАБОТКА ТЕРМОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

*Рассматривается процедура применения экспресс-метода оценки влияния разрушающих факторов на материалы гидротехнических сооружений. Процедура основана на дистанционном измерении теплового поля на поверхности исследуемого объекта с применением тепловизионной техники. Анализируются процессы, способные влиять на формирование теплового поля – влагопроницаемость и компонентный состав естественных грунтов.*

**М.І.Базалєєв, В.В.Бандурян, С.Е.Донец, В.Ф.Клепиков, В.В.Литвиненко, О.Г.Лисиченко, Е.М.Прохоренко**

**THE DEVELOPMENT OF THERMOGRAPHY METHODS FOR DIAGNOSTIC AND CONTROL OF THE HYDRAULIC STRUCTURES MATERIALS**

*The procedure for applying an express method for estimating the influence of destructive factors on materials of hydraulic structures is considered. The procedure is based on remote measurement of the thermal field on the surface of the object under study using thermal imaging technology. The process, capable of influencing the formation of the thermal field - moisture permeability and component composition of natural soils is analyzed.*

**А.В. Михайлова<sup>1</sup>, С.М. Чумаченко<sup>2</sup>, О.М. Тесленко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> – Український науково-дослідний інститут цивільного захисту (Київ, Україна),

<sup>2</sup> – Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища» НАН України (Київ, Україна)

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТА ОПОВІЩЕННЯ ПРО ЗАГРОЗУ АБО ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ**

*У роботі наведено коротку інформацію щодо стану системи моніторингу та оповіщення в державі. Здійснено аналіз методів експертних оцінок та визначено найоптимальніші для оцінювання характеристик інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації. Визначено пріоритетні атрибути інтегральної системи моніторингу та оповіщення методом аналізу ієрархій*

**Постановка проблеми.** Згідно з [1], моніторинг та оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій (далі – НС) є одним із питань компетенції ДСНС України. Статистика виникнення НС різного походження в нашій країні [2] свідчить про високий рівень небезпеки та ризику. Саме тому система моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС повинна працювати налагоджено, безперебійно та максимально надійно. У зв'язку з цим, технічні характеристики до неї, а також стан самої системи моніторингу та оповіщення повинні бути науково обґрунтованими та практично верифікованими.

Зауважимо, що ситуація з існуючими системами моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС, що застосовується в Україні, досить сумна. Це пов'язано з повним вичерпанням ресурсу їх використання, відсутністю апаратури для заміни, що унеможливорює здійснення переоснащення.

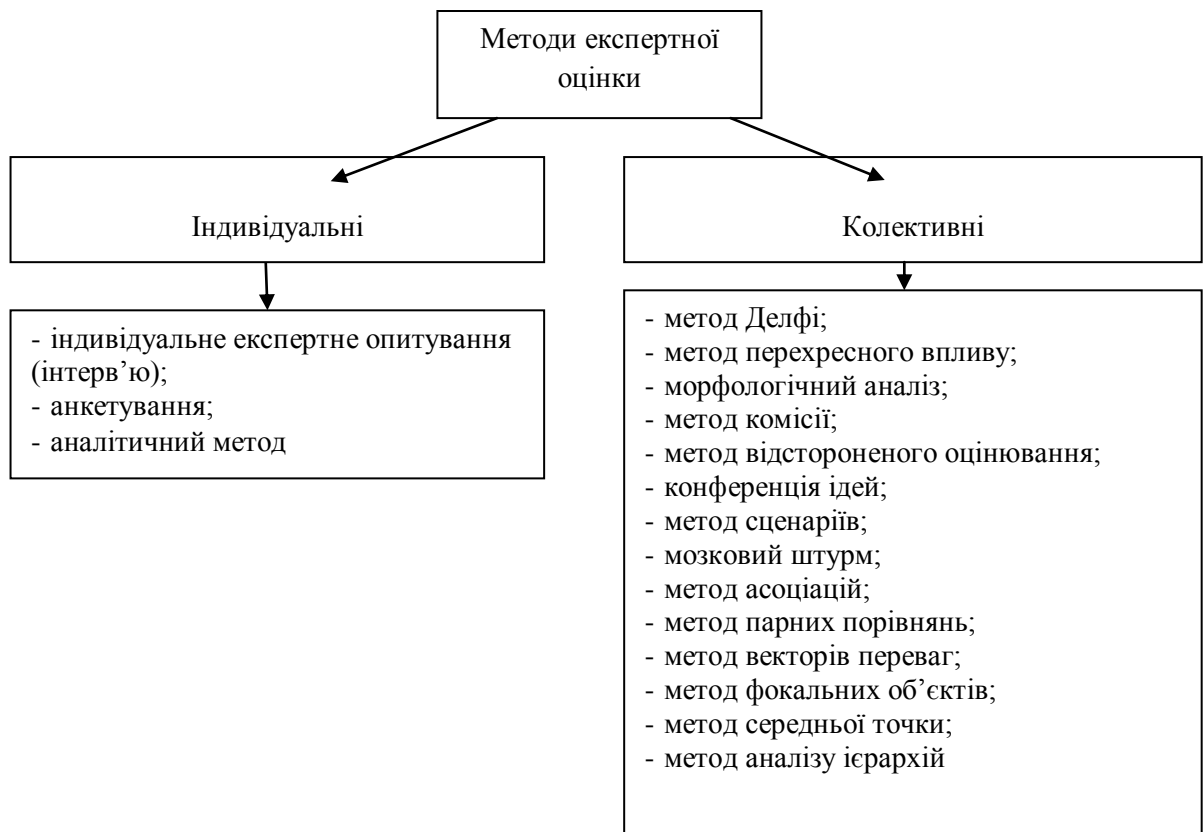
Саме тому застосування сучасних автоматизованих організаційно-технічних систем створює чудову альтернативу застарілій системі. До таких систем відносяться інтегровані системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС. Передбачається, що вони повинні бути автоматизовані на всіх рівнях, що дозволить досягти високої ефективності їх застосування в умовах загрози виникнення НС.

**Формування мети статті.** Для здійснення обґрунтування технічних характеристик до інтегрованої системи моніторингу та оповіщення про надзвичайні ситуації застосовуються експертно-аналітичні підходи. У даній роботі поставлено за мету розгляд відомих методів експертної оцінки й можливість їх застосування для оцінювання характеристик інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС.

**Виклад основного матеріалу.** Методи експертної оцінки є частиною теорії прийняття рішень, а сама процедура експертного оцінювання передбачає отримання оцінки на основі думок спеціалістів (експертів) з метою прийняття подальшого рішення.

Кожна надзвичайна ситуація унікальна і неповторна, не підлягає експериментальному вивченню. В таких випадках, коли існує надзвичайна складність проблеми, її новизна, недостатність інформації, неможливість математичної формалізації процесу рішення, постає необхідність звернення до рекомендацій компетентних спеціалістів, котрі знають і розуміють проблему. Такі підходи до вирішення проблеми, аргументація, формування кількісних оцінок та обробка останніх формальними методами й отримали назву метода експертних оцінок.

Всі методи експертних оцінок можна поділити на дві групи: індивідуальні та колективні (рис 1) [3]. Перші базуються на отриманні думок окремих, незалежних один від одного експертів. Колективні ж оцінки базуються на використанні колективної думки експертів та узгодженості думок спеціалістів, сформульованих окремими фахівцями. Серед переваг індивідуальних методів експертних оцінок є простота організації дослідження, зрозумілість та використання набутих знань й досвіду кожного експерта. Проте, в той же час обмеженість знань, інформації експертів з суміжних сфер діяльності є недоліком. Саме тому ширшого застосування на практиці набули колективні методи експертного оцінювання.



**Рис. 1.** Види методів експертної оцінки

Серед експертних методів найпоширенішими є методи Делфі, метод перехресного впливу, морфологічний аналіз та метод аналізу ієрархій [4].

Згідно з методом Делфі, проводиться індивідуальне опитування експертів у формі анкет для визначення відносної важливості і термінів здійснення гіпотетичних подій. Основна ідея цього методу полягає в необхідності отримання взаємоузгоджених висновків групи експертів щодо поведінки в майбутньому однієї чи кількох пов'язаних між собою характеристик систем, які викликали інтерес.

Метод перехресного впливу ґрунтується на використанні висновків експертів стосовно подій, які б могли охарактеризувати певну подію за певний інтервал часу. На початковому етапі він фактично використовує метод Делфі, результати якого далі застосовуються для розрахунку оцінок ймовірностей можливих сценаріїв розвитку майбутнього відповідно до описаної процедури.

Метод морфологічного аналізу ґрунтується на системному підході. Під час його застосування об'єкт, що розглядається, розділяється на характеристики та атрибути. При цьому характеристики повинні бути незалежними одна від одної. Після цього виписуються всі можливі реалізації атрибутів. Таким чином, утворюється багатовимірна таблиця з різних комбінацій окремих реалізацій розглянутих атрибутів. Кожна комбінація

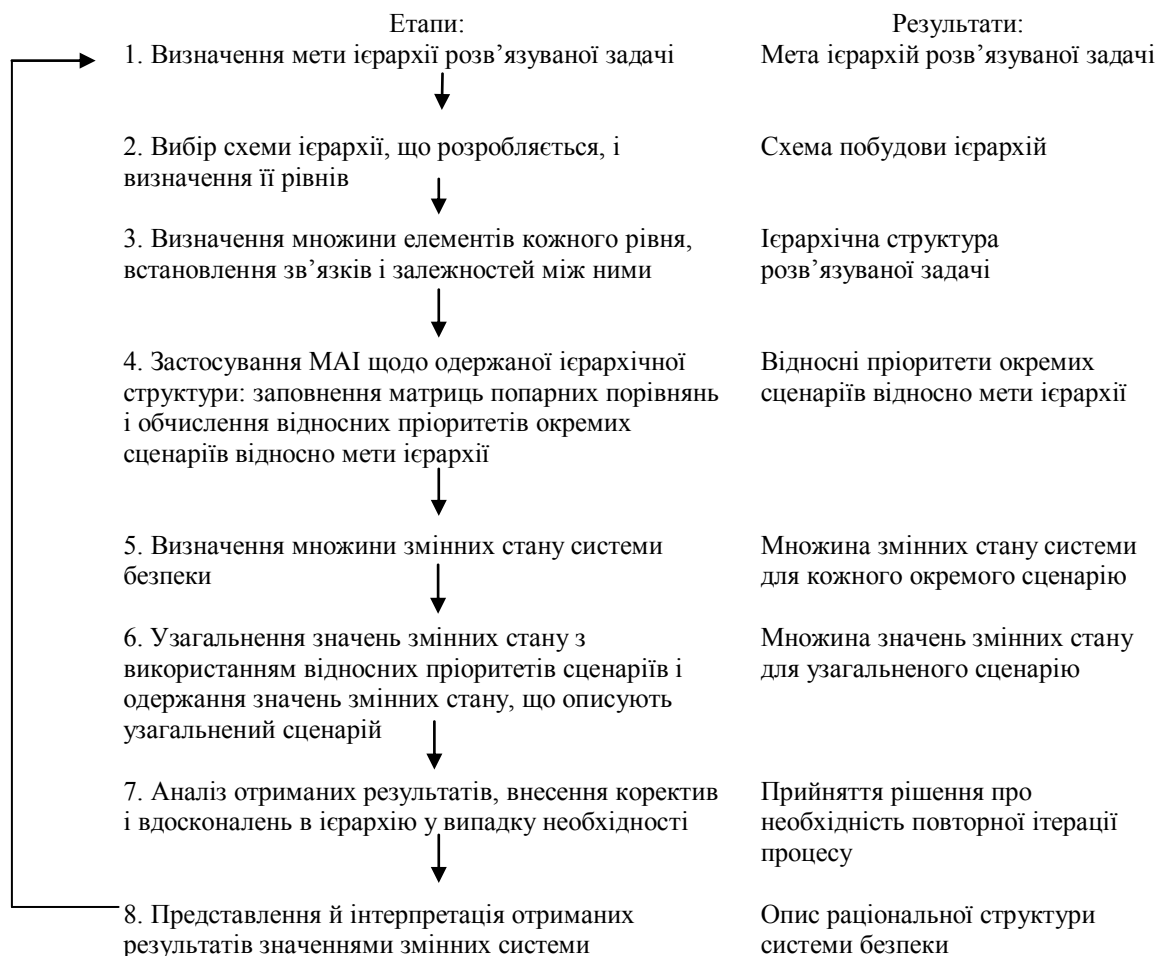
представляє собою окремий розв'язок поставленої проблеми. Таким чином, методика дозволяє помітити нові комбінації і може привести до оригінальних ідей [5].

Метод аналізу ієрархій (далі МАІ) вигідно вирізняється від багатьох методів прийняття рішень простотою обчислень і розробленими надійними програмними засобами їх реалізації [6]. Саме тому в даній роботі зроблено акцент на застосуванні саме цього методу експертних оцінок для оцінювання характеристик інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС.

Науковою школою Т. Сааті наприкінці 70-х років минулого століття було запропоновано метод для прийняття рішень у важкоформалізованих ситуаціях, що дістав назву метод аналізу ієрархій (МАІ). Цей метод є замкнутою логічною конструкцією, що забезпечується простими правилами аналізу складних проблем, які приводять до найкращої відповіді. МАІ є більш обґрунтованим методом розв'язання багатокритеріальних завдань у складній обстановці з ієрархічними структурами, які включають як помітні, так і непомітні фактори, ніж методи, що базуються на лінійній логіці. До того ж застосування цього методу дозволяє включати в ієрархії усі наявні у дослідника даної проблеми знання та факти.

Вибір найкращого рішення застосування МАІ проводиться на основі кількісного показника ефективності, яким є інтенсивність (пріоритет) впливу елементів (факторів) більш низького рівня ієрархій на елемент його вищого рівня і, в кінцевому результаті, на фокус ієрархії відповідно до вибраного критерію ефективності. Цей критерій є векторним, оскільки дозволяє диференційовано врахувати всі групи факторів.

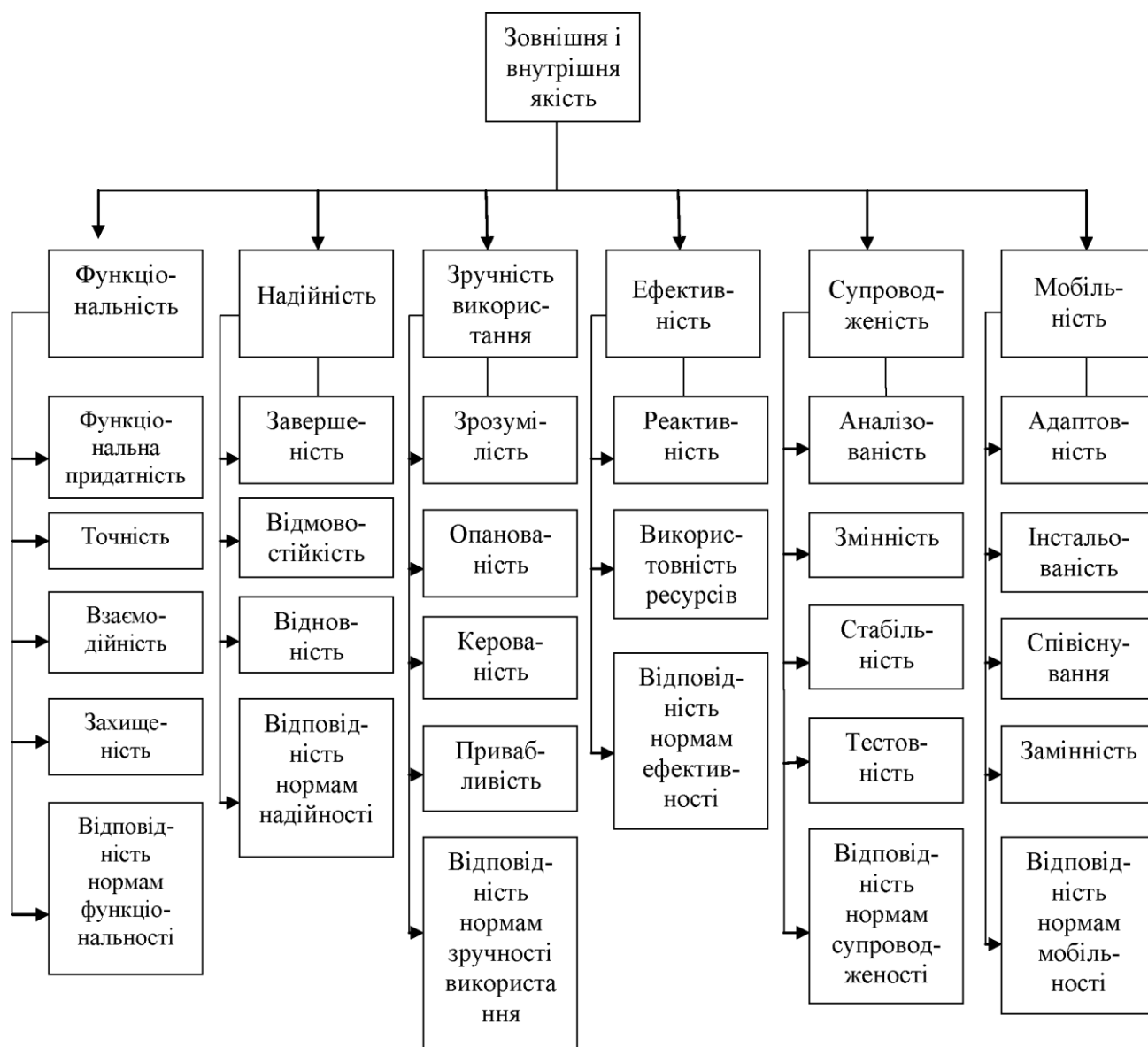
Застосування МАІ для розв'язання задачі вибору раціональної структури системи захисту об'єктів в умовах НС пропонується робити в послідовності, зображеній на рис. 2. [6, 7].



**Рис. 2.** Послідовність проведення експертної оцінки із застосуванням методу аналізу ієрархій

Детальний опис та роз'яснення використання МАІ, тлумачення результатів, отриманих в результаті застосування цього методу, тощо описано в [8].

В [9] розглянуто атрибути якості інтегрованої системи моніторингу та оповіщення про загрозу та виникнення НС, котрі можуть бути застосовані для здійснення її (системи) оцінювання шляхом використання методу аналізу ієрархій.



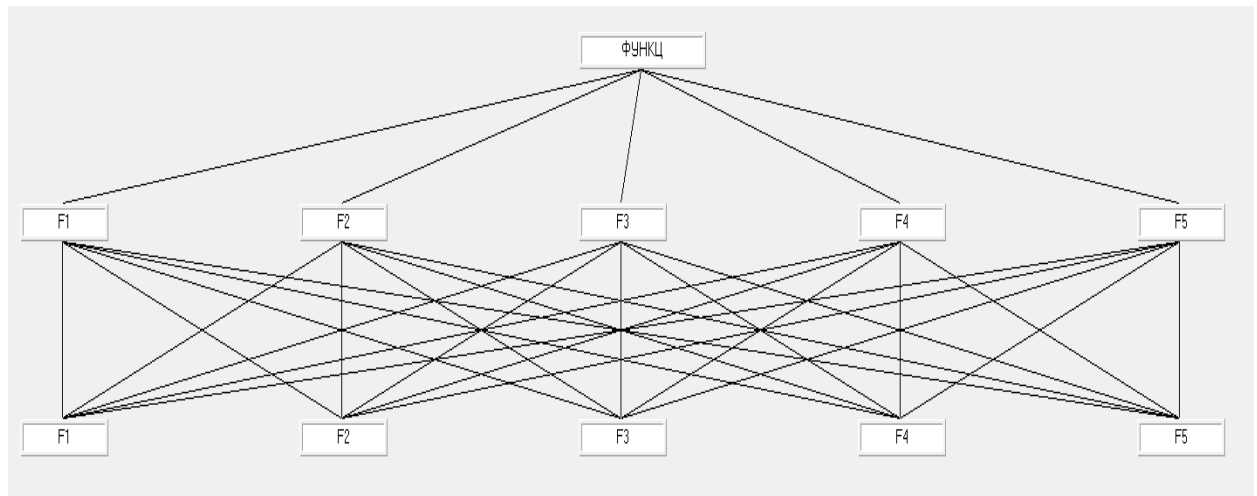
**Рис. 3.** Модель якості для зовнішньої та внутрішньої якості інтегрованої системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС

З метою визначення пріоритетних характеристик інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС зазвичай застосовують програмні додатки, що реалізують метод аналізу ієрархії. Один з таких застосовано групою експертів під час роботи над цією публікацією.

Атрибути, наведені на рисунку 3, вводяться як вхідні дані до програмного додатку. В результаті цих дій отримуємо трирівневу ієрархію. З метою подальшого проведення розрахунку здійснюється попарне порівняння кожної з підхарактеристик.

На рисунках нижче зображено ієрархії програмного додатку з реалізації МАІ для визначення пріоритетної підхарактеристики кожної характеристики інтегрованої системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС. З метою простоти розуміння

й читання та уникнення громіздкості вигляду ієрархії назви під характеристиками скорочено.



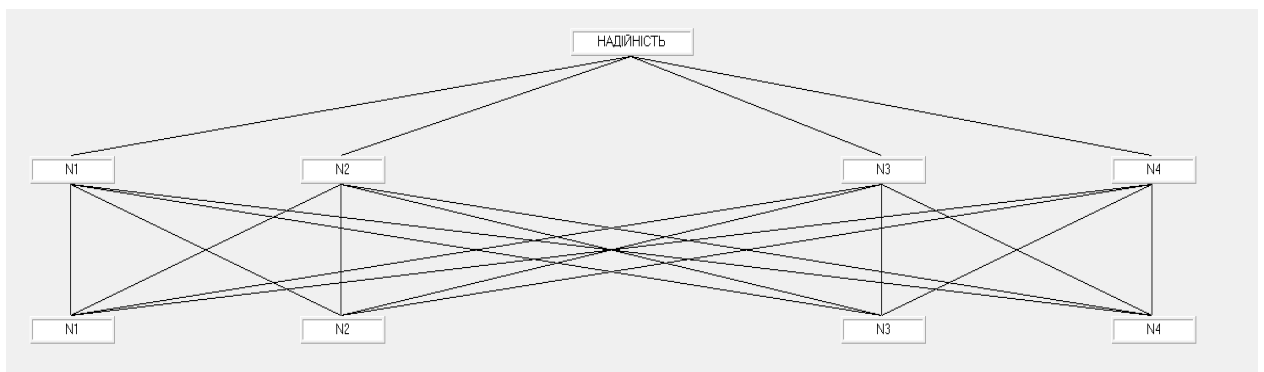
**Рис. 4.** Ієрархія з оцінювання пріоритетних підхарактеристик атрибуту функціональності інтегрованої системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС

Так, F1 – функціональна придатність;  
F2 – точність;  
F3 – взаємодійність;  
F4 – захищеність;  
F5 – відповідність нормам функціональності.

В результаті проведення попарного порівняння зазначених підхарактеристик з метою визначення пріоритетної було отримано наступний результат.  $F2 = 0,2157$ ;  $F5 = 0,2157$ ;  $F4 = 0,2079$ ;  $F3 = 0,207$ ;  $F1 = 0,1536$ . Тобто, завдяки експертній оцінці пріоритет за ієрархією підлягає значенням в такій послідовності: 1 – «ТОЧНІСТЬ», 2 – «ВЗАЄМОДІЯ», 3 – «ЗАХИЩЕНІСТЬ», 4 – «ВІДПОВІДНІСТЬ НОРМАМ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ»

Наступними характеристиками, що підлягають попарному порівнянню, є:

N1 – завершеність;  
N2 – відмовостійкість;  
N3 – відносність;  
N4 – відповідність нормам надійності.



**Рис. 5.** Ієрархія з оцінювання пріоритетних підхарактеристик атрибуту надійності інтегрованої системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС

Маємо результат:  $N4 = 0,2815$ ;  $N2 = 0,2788$ ;  $N1 = 0,2327$ ;  $N3 = 0,2068$ .



Далі будемо ієрархію з метою розрахунку пріоритетів характеристики зручності використання, де:

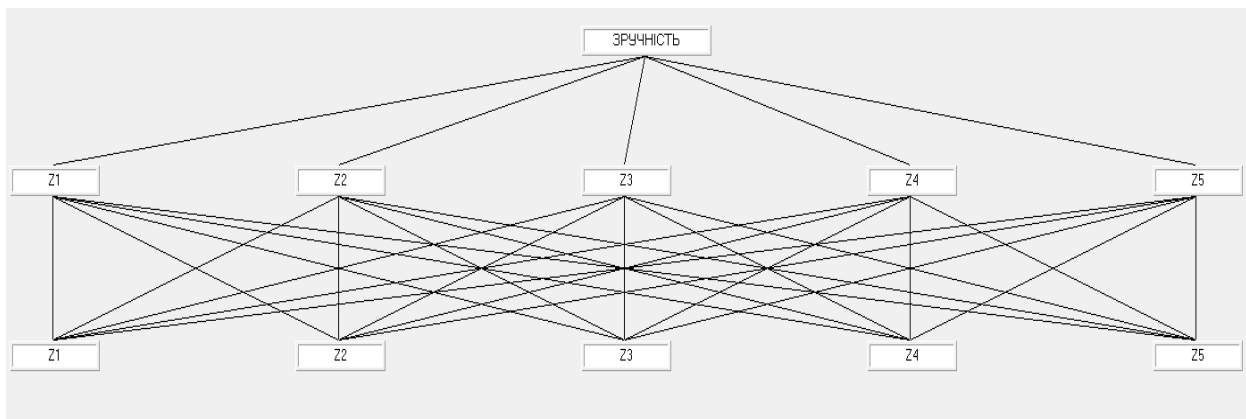
Z1 – зрозумілість;

Z2 – опанованість;

Z3 – керованість;

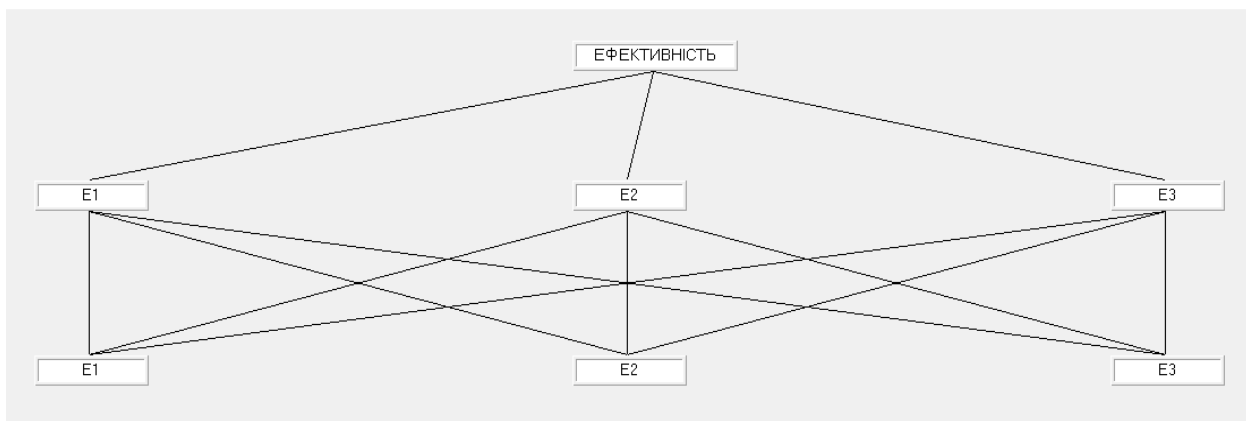
Z4 – привабливість;

Z5 – відповідність нормам зручності використання.



**Рис. 6.** Ієрархія з оцінювання пріоритетних підхарактеристик атрибуту зручності використання інтегрованої системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС

Отримуємо наступний результат:  $Z2 = 0,2198$ ;  $Z1 = 0,2187$ ;  $Z4 = 0,1974$ ;  $Z5 = 0,1838$ ;  $Z3 = 0,1801$ .



**Рис. 8.** Ієрархія з оцінювання пріоритетних підхарактеристик атрибуту ефективності інтегрованої системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС

Підхарактеристики наведеної вище ієрархії:

E1 – реактивність;

E2 – використовувність ресурсів;

E3 – відповідність нормам ефективності.

Отримуємо наступний результат попарного порівняння:  $E2 = 0,4177$ ;  $E1 = 0,2911$ ;  $E3 = 0,2911$ .

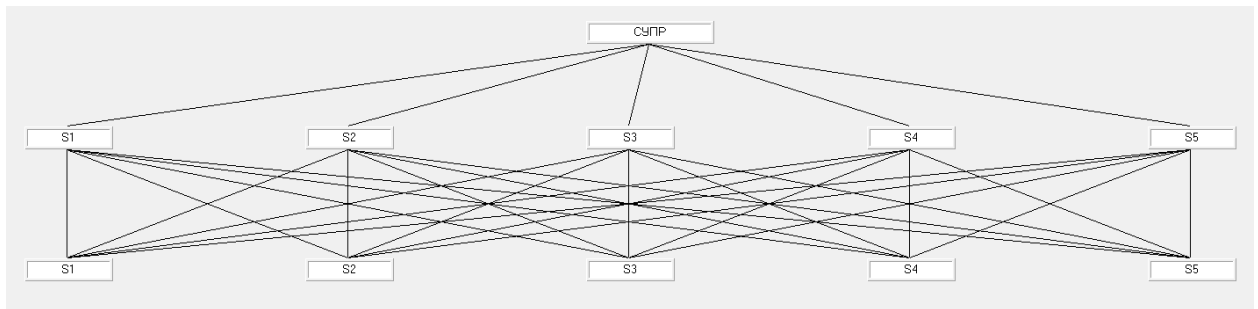
Далі будемо ієрархію характеристики супроводженості, де:

S1 – аналізованість;

S2 – змінність;

S3 – стабільність;

S4 – тестовність;  
 S5 – відповідність нормам ефективності.

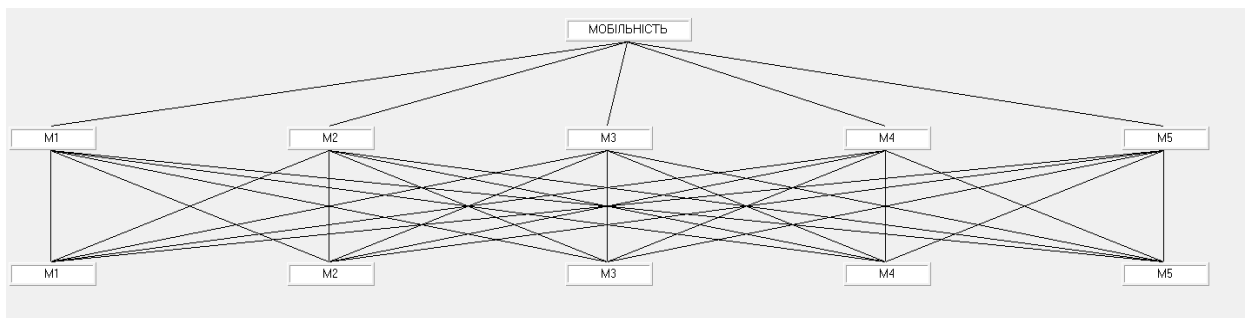


**Рис. 10.** Ієрархія з оцінювання пріоритетних підхарактеристик атрибуту супроводженості інтегрованої системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС

В результаті проведеного розрахунку отримали:  $S2 = 0,227$ ;  $S1 = 0,2082$ ;  $S4 = 0,2061$ ;  $S5 = 0,1808$ ;  $S3 = 0,1777$ .

Останньою під характеристикою (рис.11), котра підлягає розгляду, є мобільність, де:

M1 – адаптовність;  
 M2 – інстальованість;  
 M3 – співіснування;  
 M4 – заміність;  
 M5 – відповідність нормам мобільності.



**Рис. 11.** Ієрархія з оцінювання пріоритетних підхарактеристик атрибуту супроводженості інтегрованої системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС

В результаті чого маємо:  $M4 = 0,2365$ ;  $M5 = 0,2092$ ;  $M3 = 0,1977$ ;  $M2 = 0,01821$ ;  $M1 = 0,1743$ .

Як бачимо, в результаті проведеної роботи отримано пріоритети в кожній групі підхарактеристик, а саме:

- точність та відповідність нормам функціональності;
- відповідність нормам надійності;
- опанованість;
- використовність ресурсів;
- змінність;
- заміність.

Отримані результати дають можливість їх врахування під час розробки інтегральної системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС.

**Висновки.** З вищевикладеного можна зробити висновок, що наразі однією із нагальних проблем, котра потребує вирішення, є модернізація існуючої системи моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення НС. Це можливо здійснити шляхом створення сучасного програмно-технічного комплексу з використанням інноваційних інфокомунікаційних технологій. Крім того, нині відсутні вимоги та критерії оцінювання вищезазначеної системи моніторингу та оповіщення. Ефективне застосування методів експертної оцінки, зокрема методу аналізу ієрархій, для оцінювання характеристик інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або

виникнення НС дозволить науково обґрунтувати технічні вимоги для розробки такої системи, а впровадження інфокомунікаційних технологій створить передумови розвитку сучасних моделей вищезазначеної системи.

1. Кодекс цивільного захисту України: чинне законодавство із змінами та доповненнями [Офіційний текст] – К.: Видавець – ФОП Паливода А.В. 2016. – 131 с.

2. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini.html>.

3. Методы экспертных оценок [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://uchebnik.online/sotsialno-ekonomicheskikh-prognozirovanie/metodyi-ekspertnyih-otsenok-32524.html>.

4. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління Київ, Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2008, 542 с.

5. Морфологічний аналіз (винахідництво) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.

6. Качинський А. Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи / А. Б. Качинський. – Київ, 2004. – 472 с.

7. Информационно-коммуникационные технологии обеспечения безопасности жизнедеятельности: монография / под общ. ред. П.А. Попова, МЧС России. - М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. – 272 с.

8. Саати Т., Керне К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991 . – 224 с.

9. Михайлова А. В. Модель оцінки якості інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації / А. В. Михайлова, С. М. Чумаченко. // iScience. Актуальные научные исследования в современном мире. Сборник научных трудов. – 2017. – №8. – С. 76-80.

**А.В. Михайлова, С.Н. Чумаченко, О.Н. Тесленко**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И ОПОВЕЩЕНИЯ ОБ УГРОЗЕ ИЛИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ**

*В работе кратко наведена информация о состоянии системы мониторинга и оповещения в стране. Проанализировано методы экспертных оценок и определены наиболее оптимальные из них для оценивания характеристик интегрированных систем мониторинга и оповещения об угрозе или возникновении чрезвычайной ситуации. Определены приоритетные атрибуты интегральной системы мониторинга и оповещения методом анализа иерархий*

**A.V. Mykhailova, S.M. Chumachenko, O.M. Teslenko**

**USING METHODS OF EXPERT EVALUATION FOR ESTIMATION OF INTEGRATED MONITORING SYSTEMS AND NOTIFICATION OF THREAT OR EMERGENCY SITUATION**

*The paper contains brief information as to the status of the system of monitoring and warning in Ukraine. An analysis of the expert judgement techniques available was performed and the ones optimal for the evaluation of the characteristics of integrated systems of monitoring and warning of emergency threat or onset were revealed. Priority attributes of an integrated system of monitoring and warning of emergency threat or onset were identified.*

**О.О. ПОПОВ, В.О. КОВАЧ**

*Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»,  
м. Київ*

## **ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ ЗА УМОВ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ НА ХІМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОМУ ОБ'ЄКТІ**

*Авторами розроблено фізичну модель розповсюдження небезпечних хімічних речовин в приземному шарі атмосфери за умов надзвичайної ситуації на техногенному хімічно небезпечному об'єкті. Описано різні сценарії виникнення надзвичайної ситуації, пов'язаної із викидом хімічних речовин в атмосферне повітря на даних об'єктах. Розроблено концептуальну схему розповсюдження домішок в атмосфері в результаті техногенного викиду. Детально описано особливості поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за стаціонарних та нестаціонарних умов викиду.*

### **Вступ**

Антропогенне навантаження на навколишнє природне середовище (НПС) в Україні призвело до значного підвищення ризику виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного та природного характеру, під якими слід розуміти порушення нормальних умов життя і діяльності людей на окремій території чи її об'єкті або на водному об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом або іншою небезпечною подією, в тому числі епідемією, епізоотією, епіфітотією, пожежею, яке призвело (може призвести) до неможливості проживання населення на території чи об'єкті, ведення там господарської діяльності, загибелі людей та/або значних матеріальних втрат.

Щороку в країні виникає велика кількість НС, які спричиняють великі матеріальні збитки і призводять до людських жертв. Найбільшу небезпеку на сьогодні в Україні становлять аварії: радіаційні, хімічні з викидами хімічно і біологічно небезпечних речовин, гідродинамічні, транспортні; аварії на енергосистемах і очисних спорудах; пожежі, вибухи, можливі землетруси та різного роду небезпечні геологічні прояви.

Хід і результати робіт із ліквідації НС залежать не тільки від співвідношення ресурсно-економічного, морально-політичного, науково-технічного та організаційного потенціалів системи, але й від ефективності роботи оперативного управління. В свою чергу, ефективність процесу прийняття, реалізації та корегування оперативних рішень визначається вмінням керівництва зосередити основні зусилля на головних напрямках ліквідації причин НС та її наслідків.

Основою управління є рішення керівника ліквідації НС, який несе повну відповідальність за управління підпорядкованими силами та успішне виконання ними завдань із ліквідації наслідків НС. Управління полягає у рішучому і наполегливому впровадженні заходів, передбачених планом реагування на НС, та прийняття рішень щодо виконання завдань оперативного реагування на НС у встановлені терміни.

Ефективність системи управління щодо попередження НС природного чи техногенного характеру досягається за рахунок використання сучасних математичних підходів та методів підтримки прийняття керівних рішень [1–3].

### **Літературний огляд**

Вагомий внесок у вирішення теоретичних і практичних питань попередження та ліквідації НС природного та техногенного характеру зробили такі науковці, як В.М. Шоботов, В.С. Сергєєв, В.А. Акімов, Г.Л. Кофф, Б.С. Мастрюков, С.О. Гур'єв та ін. [4–11]. Але в роботах даних вчених висвітлюються переважно питання організаційного

характеру, та не приділяється увага розробці методів моніторингу навколишнього природного середовища (НПС) в умовах НС техногенного характеру з точки зору теорії управління.

### **Постановка задачі**

В роботах [12–15] авторами розроблено типову структуру та описано можливості використання нових інформаційно-технічних методів (ІТМ) моніторингу НПС в умовах НС техногенного характеру. В роботі [16] розроблено новий ІТМ попередження НС, пов'язаних із хімічним забрудненням поверхневих водних об'єктів в зонах впливу потенційно-небезпечних об'єктів. Робота [17] присвячена розробці ІТМ попередження НС терористичного характеру на об'єктах критичної інфраструктури. В роботі [18] описані можливості використання експертних методів та систем для попередження надзвичайних ситуацій на критично важливих об'єктах. Питанню розробки ефективних методів попередження НС природного та техногенного характеру, пов'язаних із хімічним забрудненням атмосферного повітря на територіях розміщення хімічно небезпечних об'єктів (ХНО) на сьогоднішній день в сфері цивільного захисту, на жаль, приділено мало уваги. У зв'язку з цим авторами статті було прийнято рішення розпочати роботу з розробки таких ІТМ. І першим кроком до досягнення поставленої мети є розробка фізичної моделі розповсюдження токсичних речовин в атмосферному повітрі за умов НС на ХНО, чому і присвячена дана стаття.

### **Результати дослідження**

Найбільш хімічно небезпечними техногенними об'єктами на території України є ТЕС, ТЕЦ, АЕС, підприємства хімічної промисловості та металургії. В результаті їх функціонування утворюються різні забруднюючі речовини (ЗР), які викидаються у атмосферу через димові труби різної висоти. З точки зору математичного моделювання такі джерела викидів є стаціонарними точковими об'єктами.

НС, пов'язані із значним забрудненням атмосферного повітря на територіях розміщення вищеперахованих ХНО, можуть виникати як за штатного, так і за аварійного режиму їх роботи. У першому випадку НС виникне за таких умов:

1) ХНО здійснює викиди (залпові, короткочасні або неперервні) домішок в атмосферу згідно регламенту, але метеорологічні умови склалися такі, що ЗР не встигають розсіятись і стрімко переносяться вітром до земної поверхні, де їх концентрації стають значно вищими відповідних ГДК. У такому випадку виникає НС, на яку необхідно швидко та ефективно реагувати підрозділам цивільного захисту на відповідному ХНО.

2) ХНО здійснює несанкціоновані викиди, що значно перевищують регулюючі норми. В цьому випадку навіть і за сприятливих для розсіювання метеорологічних умов рівень приземної концентрації токсичних речовин буде перевищувати ГДК, що і спричиняє виникнення НС.

За умов аварійного режиму роботи ХНО здійснюються зазвичай потужні нерегульовані викиди в атмосферу, завдяки чому рівні концентрацій ЗР поблизу земної поверхні на певній відстані від джерела викиду будуть значно перевищувати відповідні ГДК. Така ситуація також є надзвичайною, на яку потрібно вчасно та ефективно реагувати.

Описані випадки виникнення НС, пов'язаних із значним хімічним забрудненням атмосферного повітря на територіях розміщення ХНО, є одними з найбільш поширених і небезпечних. Ефективне попередження таких НС потребує детального вивчення особливостей розповсюдження небезпечних речовин в атмосфері, тобто побудови фізичної моделі даного процесу, про що мова піде нижче.

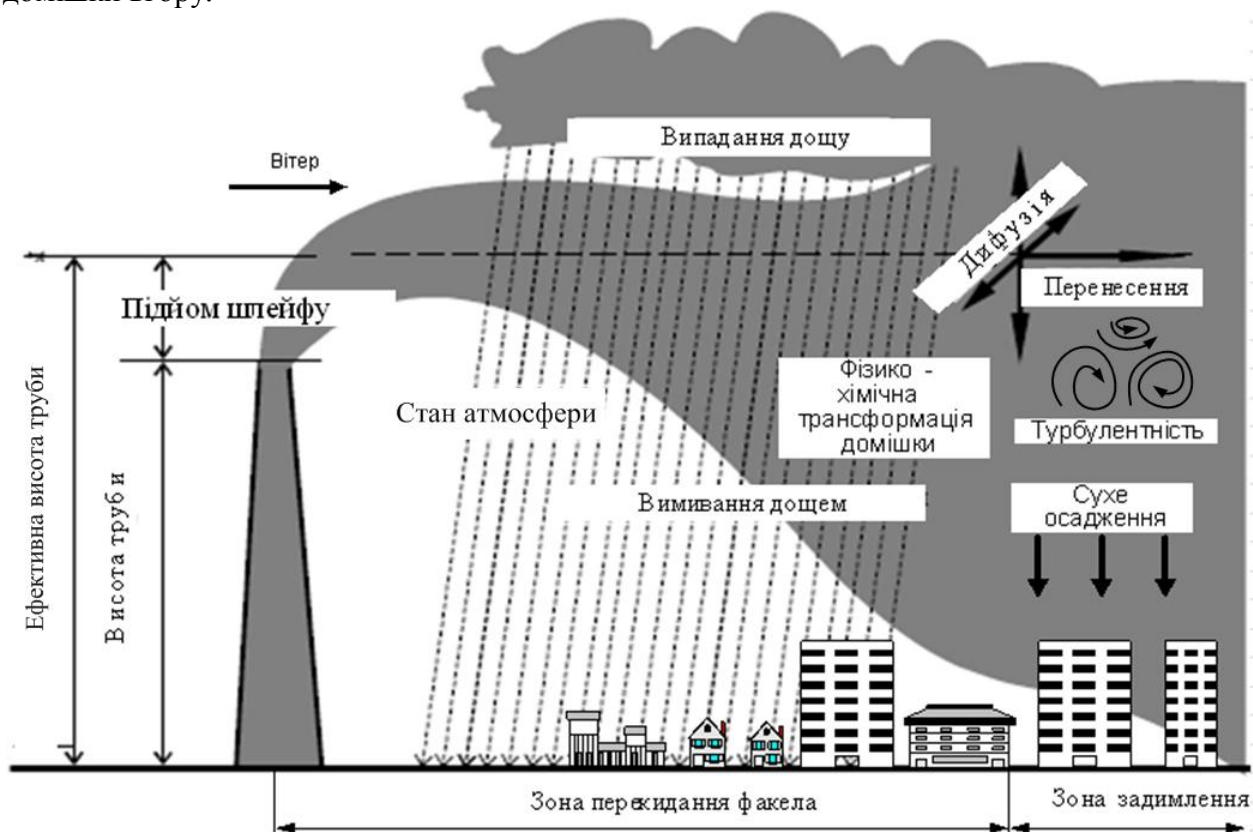
### **Фактори, що впливають на розповсюдження домішок в атмосфері**

Після того, як домішки потрапляють в повітря, характер їх переміщення

визначається їх власними фізичними властивостями і властивостями атмосфери, в яких вони знаходяться. Концептуальна поведінка ЗР, викинутих стаціонарним точковим антропогенним джерелом, показана на рис. 1 [19, 20].

Основними факторами впливу на розповсюдження домішок в атмосфері є вітер та розподіл температури повітря з висотою.

Промислові викиди в атмосферу мають певну швидкість виходу з труб, а у разі перегріву газів щодо навколишнього повітря характеризуються плавучістю. Таким чином, в околицях джерела викиду створюється поле вертикальних швидкостей, затухаючих з віддаленням від джерела, що тягнеться іноді на великі відстані, та сприяє підйому домішки вгору.



**Рис. 1.** Особливості розповсюдження ЗР в атмосфері в результаті викиду техногенного джерела

Процес перенесення домішок у верхні шари атмосфери визначається категорією стійкості (стабільності) атмосфери (стратифікацією атмосфери).

Стан атмосфери буває рівноважним, стійким і нестійким. Ступінь стійкості атмосфери визначає поведінку повітряної частинки, виведеної з первинного положення, у вище або нижче розташований шар атмосфери.

Частинка теплового повітря підіймається вгору, холодного – опускається вниз. Зазвичай в атмосфері відбувається зниження температури з висотою. Якщо градієнт температури в сухій атмосфері рівний  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  на  $100\text{ м}$ , то повітря на будь-якій висоті знаходитиметься в рівновазі. Кожна повітряна частинка, що переміщується вгору або вниз, приймає температуру навколишнього повітря, і її густина стає рівній густині оточуючих її частинок, отже, немає причин для її підйому або опускання. У такому разі говорять, що атмосфера знаходиться в стані байдужої рівноваги, або що спостерігається рівноважна стратифікація. Зазвичай в умовах вологого повітря рівноважний стан спостерігається при меншому градієнті температури (приблизно  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ ).

Якщо вертикальний градієнт температури в атмосфері менше, ніж при рівновазі, то частинка, що переміщується вгору, буде охолоджуватися і скоро стане холоднішою, ніж

навколишнє повітря і важчою за нього. Тому вона опуститься і знову займе своє первинне положення. В цьому випадку атмосфера знаходиться в стані стійкої рівноваги, тобто спостерігається стійка стратифікація атмосфери.

Якщо вертикальний градієнт температури більше рівноважного, то повітряна частинка, почавши рухатися вгору або вниз, продовжуватиме свій рух із все зростаючим прискоренням. Чим далі вона йде від первинного положення, тим більше її температура відхиляється від температури навколишнього повітря. У такому разі говорять про нестійку стратифікацію [21].

В прикладних розрахунках найбільш широке розповсюдження отримала більш ширша схема класифікації стану атмосфери за Паскуїллом [22], згідно якої використовується шість категорій стійкості (табл. 1).

**Таблиця 1.** Класифікація станів атмосфери за Паскуїллом

Градієнт температури ( $\Delta T/\Delta z$ ), °C/100 м	Категорія стійкості атмосфери
<-1,9	A – дуже нестійка
-1,9 ÷ -1,7	B – помірно нестійка
-1,7 ÷ -1,5	C – злегка нестійка
-1,5 ÷ -0,5	D – нейтральна
-0,5 ÷ 1,5	E – злегка стійка
>1,5	F – помірно стійка

Наведемо найбільш поширені формули для визначення висоти підйому факела викиду над джерелом забруднення (ДЗ) в залежності від стану атмосфери [23, 24]. Так, для нестійкої стратифікації атмосфери величина підйому домішок над джерелом приблизно визначається за формулою:

$$\Delta H = \frac{1,5W_0R_0}{u} \left( 2,5 + \frac{3,3gR_0\Delta T}{T_n u^2} \right), \quad (1)$$

де  $W_0$  – середня швидкість виходу ЗР з димової труби, [м/с];  $R_0$  – радіус гирла труби, [м];  $u$  – швидкість вітру на висоті флюгера (10 м), [м/с];  $\Delta T$  – перегрів газів;  $T_n$  – температура оточуючого повітря в абсолютній шкалі;  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння.

Для рівноважного стану атмосфери підйом шлейфу визначається за формулою:

$$\Delta H = 1,54 \left( \frac{F_0}{u_*^2} \right)^{\frac{2}{3}} H_{\text{джер}}^{\frac{1}{3}}, \quad (2)$$

де  $F_0 = \frac{g\Delta TW_0R_0^2}{T_n}$ ;  $u_*$  – швидкість тертя, [м/с];  $H_{\text{джер}}$  – геометрична висота джерела викиду, [м].

Для стійкого стану атмосфери  $\Delta H$  визначається наступним чином:

$$\Delta H = 2,6 \left( \frac{F_0}{u_{H_{\text{джер}}} s} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (3)$$

де  $s = \frac{g}{T_n} \left( \frac{\Delta T}{\Delta z} + 0,01 \right)$ .

Швидкість вітру на висоті викиду визначається за формулою:

$$u_{H_{\text{дж}}} = u \cdot \frac{H_{\text{дж}}^{\varepsilon} - z_0^{\varepsilon}}{10^{\varepsilon} - z_0^{\varepsilon}}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon$  – безрозмірний параметр, який залежить від категорії стійкості;  $z_0$  – рівень шорсткості підстилаючої поверхні, [см].

За умов штилю підйом шлейфу визначається за формулою:

$$\Delta H = 5,3 F_0^4 s^{\frac{3}{8}} - R_0. \quad (5)$$

Вводиться поняття ефективної висоти джерела викиду, яка обчислюється за формулою:

$$H_{\text{эф}} = H_{\text{дж}} + \Delta H. \quad (6)$$

Зростання температури з висотою називається інверсією. Інверсія температури може спостерігатися як у поверхні Землі (приземна інверсія), так і на деякій висоті (висотна інверсія). Якщо інверсія зустрічається на певній висоті над землею, її називають підвищеною.

Наявність підвищеної інверсії над джерелом призводить до того, що викиди не можуть піднятися вище певного рівня – «стелі», що створює небезпечні умови для зростання концентрації забруднення біля земної поверхні. Згідно [21, 23, 24], висота стелі приблизно визначається за формулою:

$$z_{\text{ст}} = 0,61 \sqrt{\frac{W_0 R_0^2 \Delta T}{K_z \frac{\Delta T}{\Delta z}}},$$

де  $K_z$  – коефіцієнт вертикального турбулентного обміну в атмосфері, [ $\text{м}^2/\text{с}$ ];  $\frac{\Delta T}{\Delta z}$  – інверсійний градієнт температури, [ $^{\circ}\text{C}/\text{м}$ ].

При холодних викидах, як показано в [21, 24], внаслідок обмеження їх підйому, підвищені інверсії можуть викликати значно більше зростання концентрації домішок, ніж у разі нагрітих викидів.

Значне підвищення концентрації домішок в приземному шарі атмосфери (ПША) можливе також, коли при нададіабатичному градієнті температури нижче за джерело розташований штильовий шар. При цьому чим товстіший шар з ослабленою швидкістю вітру і чим нижче він розташований, тим сильніше його вплив.

Слід, проте, відмітити, що якщо штиль розповсюджується на велику висоту (наприклад, в центральних частинах антициклонів), то внаслідок сильного зростання ефективної висоти джерела при гарячих викидах концентрації домішок у землі будуть невеликими [21].

Розповсюдження домішок в атмосфері відбувається шляхом розсіювання в результаті турбулентної дифузії та вітрового перенесення.

Вплив вітру призводить до того, що при неперервному виході домішки з ДЗ утворюється факел викиду. При слабкому вітрі або за його відсутності (штилі) дифузійне перенесення може превалювати над вітровим, і тоді навколо джерела утвориться штильова хмара забруднення.

Вплив швидкості вітру на забруднення ПША має складний характер, оскільки з однієї сторони наземні концентрації домішок зменшуються із зростанням швидкості вітру, а з іншої – посилення вітру веде до зменшення початкового підйому  $\Delta H$  домішок, що сприяє збільшенню наземної концентрації. У випадку викиду перегрітих відносно зовнішнього повітря домішок існує певна небезпечна швидкість вітру, при якій спостерігається максимальна концентрація домішок. Значення цієї величини  $u_m$  (м/с) на рівні флюгера для джерела порівняно нагрітих викидів приблизно визначається за формулами [21, 25]:



$$u_m = \begin{cases} 0,5 & \text{при } v_m \leq 0,5 \text{ м/с,} \\ v_m & \text{при } 0,5 < v_m \leq 2 \text{ м/с,} \\ v_m (1 + 0,12\sqrt{f}) & \text{при } v_m > 2 \text{ м/с,} \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{де } v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V\Delta T}{H_{\text{дж}}}}, \quad V = \pi R_0^2 W_0, \quad f = 2000 \cdot \frac{W_0^2 R_0}{H_{\text{дж}}^2 \Delta T}.$$

Як правило, для потужних ТЕС значення  $u_m$  складають 5–7 м/с, для металургійних підприємств вони дорівнюють 2–4 м/с, а для багатьох хімічних виробництв 1–2 м/с [25, 26].

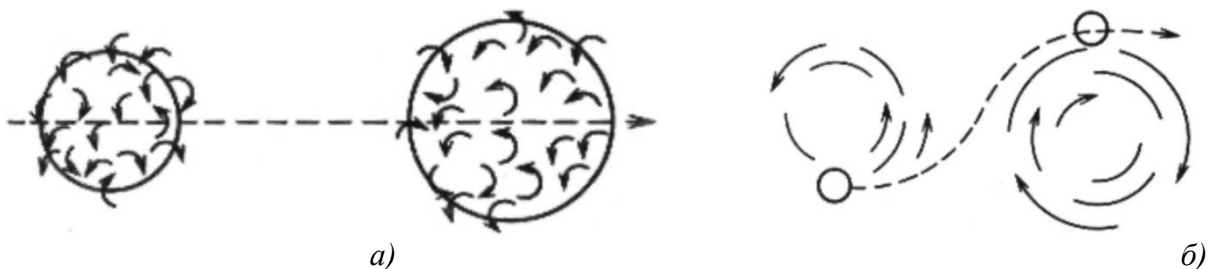
За умов викиду домішок, холодніших за зовнішнє повітря, підвищений рівень забруднення буде спостерігатися при слабких вітрах (0–1 м/с) внаслідок накопичення домішок в ПША. Отже, при дослідженні умов розсіювання домішок слід враховувати як повторюваність малих швидкостей вітру, так і повторюваність небезпечної швидкості вітру.

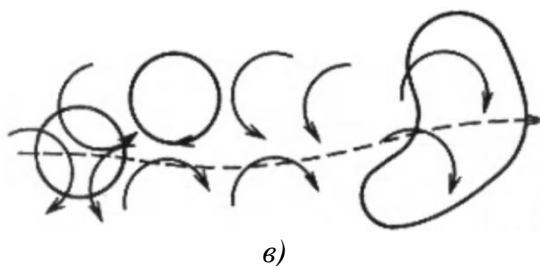
При вертикальному градієнті температури, значно більшому 1 °С/100 м, в ПША створюються нерегульовані рухи повітря – атмосферна турбулентність.

Турбулентність обумовлена наявністю в атмосфері безладних завихрень, в які залучені певні маси повітря. Вони мають власні розміри, швидкість руху та складним чином взаємодіють між собою та з поверхнею Землі, розпадаючись та утворюючи більш дрібні вихорі або зливаючись в крупні. Зазвичай в атмосфері присутні вихорі різних розмірів та форм. Джерелами їх виникнення є сили тертя при взаємодії вітрового потоку із Землею та вертикальні потоки повітря над нагрітою поверхнею. При збільшенні висоти вплив поверхні Землі на ступінь турбулентності атмосфери зменшується. Тому зі зростанням розмірів анізотропія атмосферних вихорів зростає. По горизонталі вони можуть досягати декількох сотень кілометрів. Вертикальні розміри вихорів в атмосфері зазвичай обмежені і складають порядку декілька сотень метрів.

Турбулентна дифузія домішок в повітрі відбувається в результаті впливу турбулентних вихорів на хмару викиду. Характер їх взаємодії істотним чином залежить від відносних розмірів вихорів та хмари. На рис. 2 зображені ідеалізовані схеми розсіювання, які якісно ілюструють цей процес. Пунктиром показана траєкторія центру хмари [27].

На рис. 2, а зображена кругла хмара, яка знаходиться в полі турбулентних вихорів, розміри яких менше за її діаметр. Хмара в цьому випадку збільшується, а концентрація домішок в ній зменшується. На рис. 2, б показано взаємодію маленької хмари з великомасштабними вихорами. В цьому випадку результат впливу турбулентності зводиться до викривлення траєкторії хмари, без зміни концентрації домішок в ній. На рис. 2, в показано хмару в полі вихорів, розміри яких співрозмірні з діаметром хмари. В цьому випадку дифузія інтенсивна, концентрація домішки в хмарі швидко зменшується, а його форма помітно та випадковим чином викривляється, часто розпадаючись на окремі клуби.





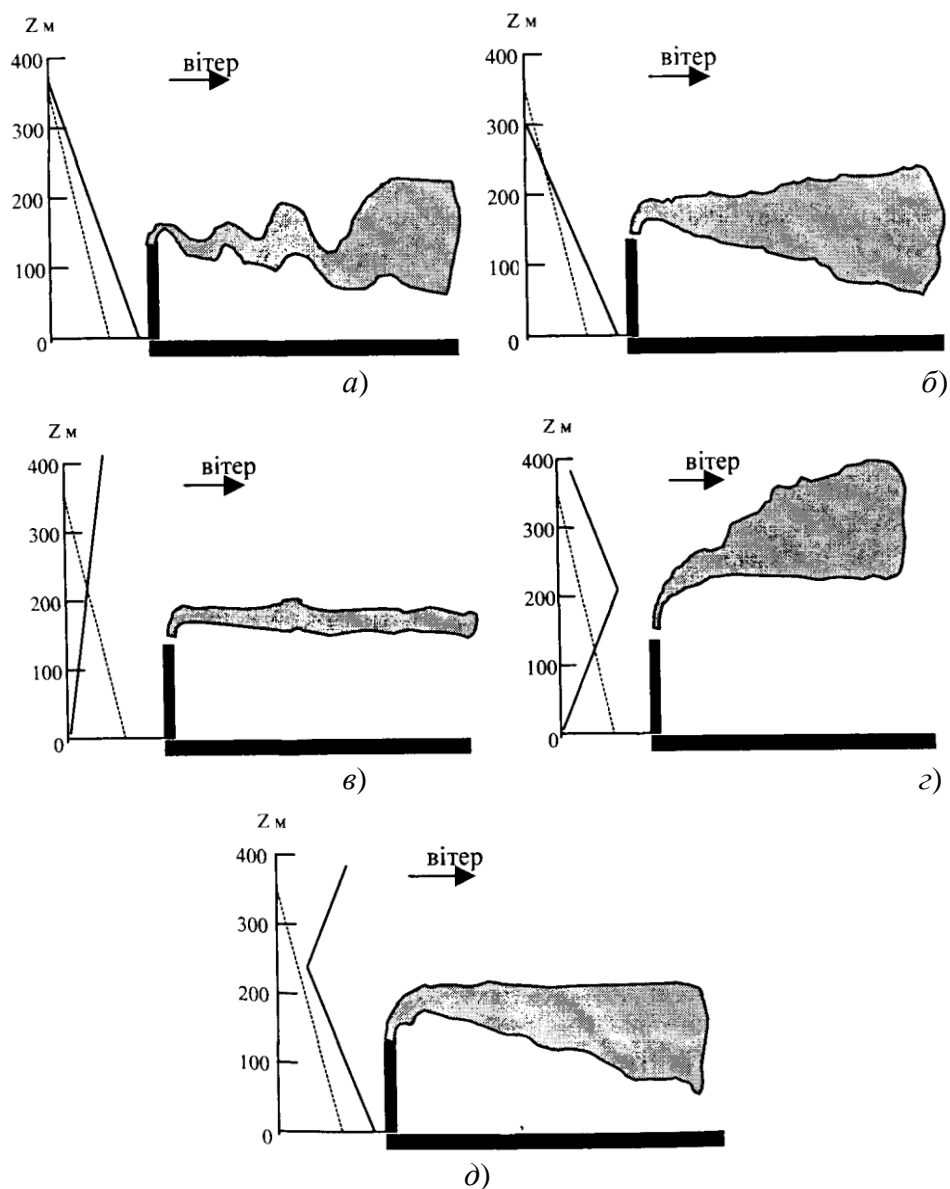
**Рис. 2.** Вплив турбулентності повітря на розсіювання домішок: *а* – велика хмара в однорідному полі дрібних вихорів; *б* – маленька хмара в полі великих вихорів; *в* – хмара в полі вихорів, співрозмірних з його розмірами

Вища порівняно з навколишнім середовищем температура домішок, що викидаються з труб в атмосферу, змінює форму факела, скривляє його вісь і збільшує висоту, якої досягають викиди. Форма факела в напрямку вітру значною мірою залежить від структури турбулентності. За сильної нестійкості в прилеглому прошарку атмосфери переважають значні вихори, обумовлені вільною конвекцією. Оскільки розміри вихорів більші за діаметр факела, їх вплив здебільшого полягає в тому, що вони або піднімають, або опускають факел, надаючи його межах хвилеподібну форму. Ці збурення переміщуються разом із повітряним потоком, збільшуючись за амплітудою. За такого нестійкого переносу факел з домішками, що містяться в ньому, досягає підстильної поверхні недалеко від джерела, де миттєво виникає велика концентрація забруднення (рис. 3, *а*). Після тривалої дії джерела внаслідок постійної зміни напрямку вітру згладжений розподіл концентрації домішок на підстильній поверхні набуває вигляду віяла.

У вітряну погоду у разі термічної стратифікації, близької до нейтральної, турбулентний обмін здійснюється переважно невеликими вихорами змушеної конвекції, що генеруються зсувом швидкості вітру. Тому розширення факела від піднятого джерела відбувається приблизно з однаковою інтенсивністю і по вертикалі, і по горизонталі, відтак він приймає форму конуса, симетричного до центральної вісі (рис. 3, *б*). Оскільки діаметр конуса збільшується вниз за потоком тільки внаслідок турбулентної дифузії, а вертикальне перенесення ослаблене нейтральною термічною стратифікацією, факел досягає підстильної поверхні на великих відстанях від джерела.

У разі стійкої атмосферної стратифікації турбулентність дуже ослаблена, і будь-які висхідні потоки повітря, що зароджуються, активно придушуються. Через нерозвиненість вертикальної дифузії факел залишається тонким, а через нестійкість напрямку вітру він приймає V-подібну форму (нагадує віяло, якщо дивитися зверху). У разі сталого напрямку вітру факел має форму стрічки і може зберігатися таким без значних змін до відстаней приблизно 100 км від джерела (рис. 3, *в*). Якщо на підвітряній стороні немає значних змін рельєфу, концентрація домішок на підстилаючій поверхні на цій відстані практично дорівнює нулю, оскільки відсутній розвинений вертикальний переніс.

З огляду охорони довкілля, найсприятливішою умовою для розсіювання домішок є розташування джерела над прошарком інверсії. Стійко стратифіковане повітря перешкоджає поширенню домішок у прошарки, що лежать нижче, а помірковано нестійка стратифікація верхніх прошарків сприяє дифузії забруднення вгору (рис. 3, *г*). Коли прошарок інверсії розташований над джерелом і перешкоджає поширенню домішки у верхні прошарки, має місце протилежний ефект. Оскільки знизу повітря стратифіковано хитливо, то конвективне перемішування сприяє поширенню домішки до підстилаючої поверхні та підвищенню концентрації забруднення уздовж лінії, що відповідає вісі факелу (рис. 3, *д*) [20, 28].



**Рис. 3.** Характерні форми факелу викиду при різній стратифікації атмосфери. Градієнти температури: - - - сухоадіабатичний; — дійсний

Також на розповсюдження домішок в атмосфері, і тим самим на рівень приземної концентрації, впливають тумани, опади та сонячна радіація.

Під впливом туману забруднення повітря посилюється. Краплі туману поглинають шкідливі речовини як поблизу поверхні, так і з вищерозміщених забруднених шарів повітря. Внаслідок цього концентрація домішок сильно зростає в шарі туману і зменшується над ним. Це пов'язано з певними процесами. Наприклад, при розчиненні в краплях туману двоокису сірки утворюються краплі вкрай токсичної сірчаної кислоти. При цьому відбувається зростання масової концентрації домішки, оскільки з 1 г двоокису сірки утворюється 1,5 г сірчаної кислоти. Аналогічним чином відбувається перехід двоокису сірки в сірчану кислоту в атмосферних опадах, що є однією з причин кислотних дощів.

При низькій температурі повітря ( $-35^{\circ}\text{C}$  і нижче) викиди теплових електростанцій і котельних сприяють утворенню туману з замерзлої вологи з високим вмістом сірчаної кислоти. Такі тумани можуть виникати в північних районах. Тумани, що містять частинки диму і шкідливих речовин, одержали назву смог. Із виникненням смогів пов'язують періоди особливо високого забруднення повітря, що супроводжується зростанням

захворюваності і навіть смертності.

Важливу роль в процесі самоочищення атмосфери виконують атмосферні опади. Краплі дощу або сніжинки захоплюють частинки пилу і несуть їх до поверхні землі. Процес самоочищення відбувається в хмарах, де хмарні краплі захоплюють пилинки, частинки сажі і диму, а також при проходженні дощових крапель і сніжинок через шар атмосфери. Підвищення концентрації рідко спостерігається після дощу. Чим більша кількість опадів, тим чистіше атмосфера. Проте опади стають ДЗ ґрунту та поверхневих водних об'єктів шкідливими речовинами.

У формуванні рівня забруднення атмосфери також важливу роль виконує сонячна радіація. При високій інтенсивності сонячного випромінювання, особливо в південних районах, в атмосфері відбуваються фотохімічні реакції з утворенням різних вторинних продуктів, що часто виявляються більш токсичними, ніж речовини, що надходять від джерел викидів. Так, в процесі фотохімічних реакцій в атмосфері відбувається окислення сірчастого газу з утворенням сульфатних аерозолів. За наявності в атмосфері оксидів азоту і органічних речовин в ясні сонячні дні можливі фотохімічні процеси з утворенням фотохімічного смогу, в результаті яких в атмосфері утворюються озон і найшкідливіший продукт фотохімічної реакції – пероксиацетілнітрат. Смог подразливо діє на слизову оболонку органів дихання і зору людини та тварин, несприятливо впливає на рослини [23].

У реальній атмосфері викиди промислових підприємств піддаються дії всього комплексу метеорологічних чинників, який і визначає той або інший рівень забруднення. Поєднання метеорологічних умов, які сприяють накопиченню в атмосфері домішок, зазвичай називають метеорологічним потенціалом забруднення атмосфери, а поєднання факторів, що обумовлюють розсіювання – розсіюючою здатністю атмосфери. Вплив різних складових потенціалу залежить від розташування джерел, параметрів викидів, а також від повторюваності його складових. Чим більше повторюваність несприятливих умов, тим частіше відбувається накопичення домішок і тим вищий середній рівень забруднення.

Повторюваність умов, сприятливих для розсіювання домішок, істотно змінюється протягом року і із року в рік. Залежно від виду джерел і характеру їх розміщення по території міста, мінливість концентрації домішки, яка обумовлена змінами метеорологічних умов, може бути дуже значною. Роль метеорологічних умов у формуванні середнього рівня забруднення іноді може перевищувати роль кількості і складу викидів [21, 26].

### **Забруднення повітря у разі залпового викиду від ХНО**

До числа практично важливих задач відноситься задача розповсюдження ЗР в атмосфері при їх залповому викиді. Залповий викид ЗР може спостерігатися як і при штатному режимі роботи техногенного об'єкту, так і під час аварійних ситуацій – пожеж і вибухів. Відмінною особливістю залпових викидів ЗР є їх децентралізованість і нестационарність процесу розповсюдження, коли за короткий проміжок часу в атмосферу викидаються великі кількості шкідливих речовин. Ці викиди наближаються, з фізичної точки зору, до викидів миттєвих джерел. Характерним типом миттєвого джерела є викид домішок під час усіляких вибухів.

У результаті дії миттєвого джерела хмара пило-газової суміші піднімається на певну висоту. Далі вона зноситься атмосферними потоками як пасивне утворення і розсіюється в процесі турбулентної дифузії. Початкова висота підйому визначається за даними спостережень або розрахунків.

Три групи чинників визначають кількість речовин, що забруднюють місцевість після аварії на промисловому об'єкті – потужність викиду, фізичні і хімічні властивості домішок і метеорологічні умови.

У разі аварійного викиду виділяється певна кількість аерозольної домішки  $M$ , що поширюється в усі сторони, створюючи хмару на деякій висоті  $H$ . Хмара спочатку

збільшується, зміщуючись у напрямку вітру. Потім вона світлішає по краях, її темна непрозора частина зменшується, уся хмара світлішає, починає «танути» і, нарешті, зникає. Цю картину особливо чітко можна побачити в ясний день на фоні блакитного неба.

Процес збільшення і «розмивання» (дифузії) хмари носить турбулентний характер; йому відповідає певний ефективний коефіцієнт турбулентної дифузії  $k$ . Швидкість і напрямок переміщення (конвекція) хмари в атмосфері обумовлюються швидкістю і напрямком вітру.

За інших рівних умов, чим потужніший вибух, тим вище підніметься хмара домішки, і тим меншою буде концентрація шкідливих речовин на підстиляючій поверхні у підвітряному секторі, оскільки домішка буде довше розсіюватися внаслідок турбулентної дифузії. Ефективна висота розташування хмари збільшується, якщо домішка викидається з великою швидкістю, і її температура значно вища за температуру повітря у навколишньому середовищі, що обумовлює виникнення сил плавучості [29].

Аварійний викид може являти собою хаотичну суміш усіляких твердих, рідких і газоподібних речовин. Розміри твердих і рідких частинок у діаметрі можуть бути меншими за 0,1 мкм і досягати декількох сантиметрів. Оскільки маса частинок з діаметром більше 10 мкм надто велика, вони швидко опадають після викиду в атмосферу, тому їх найбільше буває поблизу місця аварії. Частинки з діаметром менше за 1 мкм, довше залишаються у зваженому стані, їх поширення більшою мірою залежить від метеорологічних умов, вони можуть залишатися у повітрі протягом декількох днів і переноситися вітром на значні відстані [2].

Домішка в хмарі може піддаватися вимиванню опадами та фізичній і хімічній трансформації внаслідок контакту з вологою або іншими домішками в атмосфері. Рух повітря зумовлює як розсіювання, так і впорядковане перенесення хмари домішок. Якщо атмосферні вихорі за розміром менші розмірів хмари, вони розсіюють домішку, якщо більші – переносять. Під дією вітру хмара розмивається (деформується) як в напрямку руху, так і в поперечному і вертикальному напрямках внаслідок турбулентного обміну. Напрямок вітру визначає траєкторію прямування, а швидкість вітру – швидкість переміщення хмари домішок від місця викиду. Вертикальний градієнт температури на рівні хмари є суттєвим, тому що нестійка стратифікація сприяє підйому хмари, а інверсійна її затримує.

У разі моделювання аварійних ситуацій, пов'язаних із залповими викидами ЗР в атмосферу при аваріях на газосховищах, транспорті тощо, за інтенсивність викиду приймають зазвичай найбільше значення викиду, наприклад, весь запас забруднювача, що зберігається, з метою прогнозування якнайгіршого варіанту забруднення атмосфери, підстиляючої поверхні, виявлення зон значної концентрації забруднювача і обчислення часу, коли хмара забруднювача досягне житлових районів і створиться загроза життєдіяльності людей [26, 29].

## Висновки

Таким чином, фізична модель розповсюдження домішок в атмосферному повітрі представляє собою якісну залежність, яка показує, що рівень приземної концентрації забруднюючих речовин зростає при збільшенні потужності джерела викиду, густини та розмірів частинок домішки та температури повітря, і спадає при збільшенні висоти та радіусу гирла джерела викиду, температури викиду, швидкості виходу домішок з джерела. Залежність концентрації забруднюючих домішок від швидкості вітру має нелінійний характер.

1. Шоботов В.М. Цивільна оборона : навчальний посібник / В.М. Шоботов. – вид. 2-ге, перероб. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.
2. Попов О.О. Прогнозування аварійного ризику / О.О. Попов // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2013. – № 6. – С. 28–33.

3. Попов О.О. Математичні підходи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру / О.О. Попов, О.В. Бляшенко, В.О. Ковач, К.В. Сметанін // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – 2015. – Вип. 2(30). – С. 25–30.
4. Мاستрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях : учебное пособие для вузов / Б.С. Мاستрюков. – М. : Академия, 2003. – 336 с.
5. Шоботов В. М. Цивільна оборона : навчальний посібник / В. М. Шоботов. – вид. 2-ге, перероб. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.
6. Сергеев В.С. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : учебное пособие для вузов / В.С. Сергеев. – М. : Академический Проект, 2004. – 429 с.
7. Акимов В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В.А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радаев. – М. : ЗАО ФИД, 2001. – 344 с.
8. Кофф Г.Л. Оценка последствий чрезвычайных ситуаций / Г.Л. Кофф, А.А. Гусев, Ю.Л. Воробьев. – М. : РЭФИА, 1997. – 364 с.
9. Реагування на виникнення надзвичайних ситуацій / під ред. С.О. Гур'єва. – Вінниця : ІДУСЦЗ НУЦЗУ; УНПЦ ЕМД та МК, 2010. – 412 с.
10. Федотов А.В. Анализ методов оценки и мониторинга эколого-экономических последствий чрезвычайных ситуаций / А.В. Федотов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – № 5. – С. 194–198.
11. Горюнкова А.А. Подходы и методы моделирования принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций / А.А. Горюнкова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 11. – С. 267–275.
12. Popov O.O. Informational and technical methods of environmental monitoring in condition of technogenic emergency situation / M.M. Diviziniuk, O.O. Popov, V.O. Kovach, O.V. Bliashenko, K.V. Smetanin // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 10(135). – С. 182–186.
13. Попов О.О. Нові методи моніторингу довкілля для попередження техногенних надзвичайних ситуацій / О.О. Попов, В.О. Ковач, А.В. Яцишин, С.О. Бурлака // Техногенна безпека та цивільний захист. – 2015. – № 9. – С. 116–123.
14. Попов О.О. Інформаційно-технічні методи попередження надзвичайних ситуацій на техногенних об'єктах / Ю.Ю. Гончаренко, О.О. Попов, В.О. Ковач, С.О. Бурлака // Защита информации. – 2016. – Вып. 22. – С. 122–134.
15. Попов О.О. Інформаційно-технічні методи моніторингу навколишнього природного середовища в умовах надзвичайної ситуації техногенного характеру / М.М. Дівізінюк, О.О. Попов, В.О. Ковач, О.В. Бляшенко, К.В. Сметанін // Матеріали Четвертої Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем IPST-2015», (м. Харків, 13–16 вересня 2015 р.). – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – С. 38–39.
16. Попов О.О. Розробка інформаційно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних із забрудненням водного середовища / О.О. Попов, В.О. Ковач, А.В. Яцишин, Є.Б. Краснов, М.В. Малков // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – 2016. – № 1(1). – С. 95–104.
17. Гончаренко Ю.Ю. Інформаційно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій терористичного характеру на критично важливих об'єктах / Ю.Ю. Гончаренко, О.О. Попов, О.М. Мірошник, С.О. Бурлака // Моделювання та інформаційні технології. – 2016. – Вип. 76. – С. 52–59.
18. Попов О.О. Можливості використання експертних методів та систем для попередження надзвичайних ситуацій на критично важливих об'єктах / О.О. Попов, В.О. Ковач, А.В. Яцишин, М.В. Малков, С.О. Бурлака // Моделювання та інформаційні технології. – 2016. – Вип. 77. – С. 41–54.
19. Попов О.О. Концептуально-методологічні аспекти моделювання впливу об'єктів атомної енергетики на довкілля / О.О. Попов // Моделювання та інформаційні технології.

– 2013. – Вип. 70. – С. 10–19.

20. Popov O. Mathematical tools to assess soil contamination by deposition of technogenic emissions / O. Popov, A. Yatsyshyn // Soil Science Working for a Living. – Cham : Springer, 2017. – P. 127–137.

21. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.

22. Pasquill F. Atmospheric dispersion of pollution / F. Pasquill // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. – 1971. – N 414. – P. 369–395.

23. Атмосфера : справочник / под общ. ред. Ю.С. Седунова, С.И. Авдюшина, Е.П. Борисенкова и др. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 510 с.

24. Волков Э.П. Исследование подъема факела над устьем газоотводящих труб / Э.П. Волков // Инженерно-физический журнал. – 1979. – Т. 36, № 4. – С. 700–707.

25. Генихович Е.Л. К оценке опасных скоростей ветра для высоких источников / М.Е. Берлянд, Е.Л. Генихович, М.Н. Зашихин, Р.И. Оникул // Труды Главной геофизической обсерватории имени А.И. Воейкова. – 1977. – Вып. 387. – С. 13–22.

26. Попов А.А. Применение математического моделирования для определения зон влияния выбросов предприятий топливно-энергетического комплекса в атмосферу / А.А. Попов // Інформаційна безпека. - 2014. - № 4(16). – С. 187-193.

27. Монин А.С. Статистическая гидромеханика. Теория турбулентности / А.С. Монин, А.М. Яглом. – СПб : Гидрометеиздат, 1992. – Т. 1. – 694 с.

28. Popov O. Development of mathematical means for estimation of ecological and economical losses from pollution of atmospheric air in zones of technogenic objects impact / O. Popov, V. Kovach, O. Bliashenko, V. Kovach, K. Smetanin // Journal "Riscuri Si Catastrofe". - 2015. - NR. XIV, VOL. 17, NR.2/2015. – P. 97–108.

29. Романов В.И. Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу : справ. пособие / В.И. Романов. – М. : ФИЗМАТКНИГА, 2006. – 398 с.

#### **А.А. Попов, В.Е. Ковач**

### **ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ**

*Авторами разработана физическая модель распространения опасных химических веществ в приземном слое атмосферы в условиях чрезвычайной ситуации на техногенном химически опасном объекте. Описаны различные сценарии возникновения чрезвычайной ситуации, связанной с выбросом химических веществ в атмосферный воздух на данных объектах. Разработана концептуальная схема распространения примесей в атмосфере в результате техногенного выброса. Подробно описаны особенности распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе при стационарных и нестационарных условиях выброса.*

#### **О. Попов, V.O. Kovach**

### **PHYSICAL MODEL OF TOXIC SUBSTANCES SPREADING IN THE ATMOSPHERE DURING EMERGENCY SITUATION ON CHEMICALLY DANGEROUS OBJECTS**

*The authors have developed a physical model for dangerous chemicals spreading in the atmosphere surface layer during emergency situation on technogenic, chemically dangerous object. Various emergency scenarios related to the chemicals release into the air at these objects were described. The conceptual scheme of impurity spreading in the atmosphere in result of technogenic release was developed. Pollutants spreading distribution in the atmospheric air in stationary and non-stationary emission conditions were described in detail.*

**Д. В. ТАРАДУДА**

*Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков*

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ С АММИАЧНЫМИ ХОЛОДИЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ**

*В статье рассмотрены примеры чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах с аммиачными холодильными установками, проанализированы причины их возникновения, а также определены направления обеспечения безопасности таких объектов.*

**Постановка проблемы.** Тенденция роста тяжести последствий чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах заставляет рассматривать их как серьезную угрозу безопасности общества и окружающей среды. Поэтому предотвращение чрезвычайных ситуаций на таких объектах, и в том числе на объектах с аммиачными холодильными установками, ликвидация их последствий, максимальное снижение масштабов потерь и убытков является общегосударственной проблемой и одной из важнейших задач органов исполнительной власти и управления всех уровней.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проведенный анализ публикаций в данной сфере показал, что проблема обеспечения безопасности химически опасных объектов с аммиачными холодильными установками является актуальной для стран со слаборазвитой экономикой (авторство более 75% проанализированных публикаций [1-16] принадлежит специалистам Украины и других стран СНГ).

**Постановка задачи и ее решение.** Одним из первых этапов предотвращения чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах с аммиачными холодильными установками является анализ их особенностей и причин возникновения.

В связи с этим рассмотрим некоторые из них.

В США за период 1982-2008 гг. 72 % всех зарегистрированных аварий с выбросом химически опасных веществ произошли в результате разгерметизации холодильных установок и выхода в атмосферу аммиака [17]. Так, например:

– 15 августа 1982 г., Мэдисон. Утечка аммиака из холодильного агрегата оптового продовольственного склада. Облако распространилась на несколько кварталов прежде, чем пожарным удалось остановить утечку, почти через 3 часа после его начала. Два пожарных были госпитализированы;

– 8 июля 1985 г., Клинтон. Отказ углового шва компрессора аммиачной холодильной установки привел к выходу значительного количества газообразного аммиака в помещение компрессорной, после чего произошел взрыв. В результате взрыва травмированы 8 человек, нанесены значительные повреждения промышленным зданиям;

– 1992 год, Денвер. Разрыв аммиакопровода холодильной установки мясокомбината. После обнаружения утечки персонал был эвакуирован, но через короткое время произошел взрыв, вызвавший большие повреждения зданий;

– 24 марта 2008 г., Буневиль. Взрыв на мясоперерабатывающем заводе Cargill Meat Solutions из-за утечки аммиака стал причиной эвакуации 180 местных жителей. После взрыва на заводе загорелась емкость, в которой находилось около 40 тонн безводного аммиака. Пожарные приняли решение не тушить огонь, а дожидаться, когда емкость полностью выгорит. В результате аварии никто не пострадал [18].

Анализ аварий на объектах с аммиачными холодильными установками в США показал, что 96% из них можно было бы предотвратить путем повышения профессиональной подготовки операторов и усиления контроля над объектом.



Негативный опыт применения аммиачных холодильных установок на крупных промышленных объектах имеют и некоторые европейские страны. Так, например:

- 19 марта 1970 г, Оулу, Финляндия. Разгерметизация воздухоохладителя одной из холодильных камер привела к взрыву. В результате аварии был нанесен значительный ущерб зданиям объекта и прилегающим территориям. Утечка аммиака из воздухоохладителя произошла в результате разрыва сварного шва его стенок. Причинами чрезвычайной ситуации могли стать неправильный выбор материала, который использовался в подготовке к сварке и несоблюдение технологии термообработки;

- октября 1986 г., Франция. На мясокомбинате произошла утечка аммиака из холодильной установки. Разгерметизация произошла в компрессорном помещении, и облако вещества через вентиляционные отверстия быстро распространилось в окружающую среду. Администрация и персонал объекта были эвакуированы, но при ликвидации чрезвычайной ситуации погиб один пожарный;

- апреля 1989 г, Германия. Во время планового технического обслуживания холодильного агрегата произошла разгерметизация. Утечка аммиака была обнаружена на фланце после открытия клапана со стороны воздухоохладителя. Операторам, проводившим техническое обслуживание, не удалось самостоятельно ликвидировать утечку из-за низкой видимости. Функционирование завода было остановлено, а персонал срочно эвакуирован;

- 29 апреля 1999 г., Уэльс, Великобритания. Примерно 400 кг аммиака вылилось из блока охлаждения холодильной установки. Вещество попало в местную реку. В результате чрезвычайной ситуации погибло более 55% речной фауны. Авария показала несовершенство проектирования на тот момент планов дренажа, а также слабую осведомленность операторов установки относительно потенциальных рисков для окружающей среды.

В России ежегодно происходит несколько тысяч аварий в химической отрасли. В период 2000-2010 гг. в стране на потенциально опасных объектах было зарегистрировано несколько десятков аварий с выбросом аммиака из холодильных установок. В результате аварий пострадало около 70 человек и около 10 погибло. Некоторые из этих аварий приведены ниже:

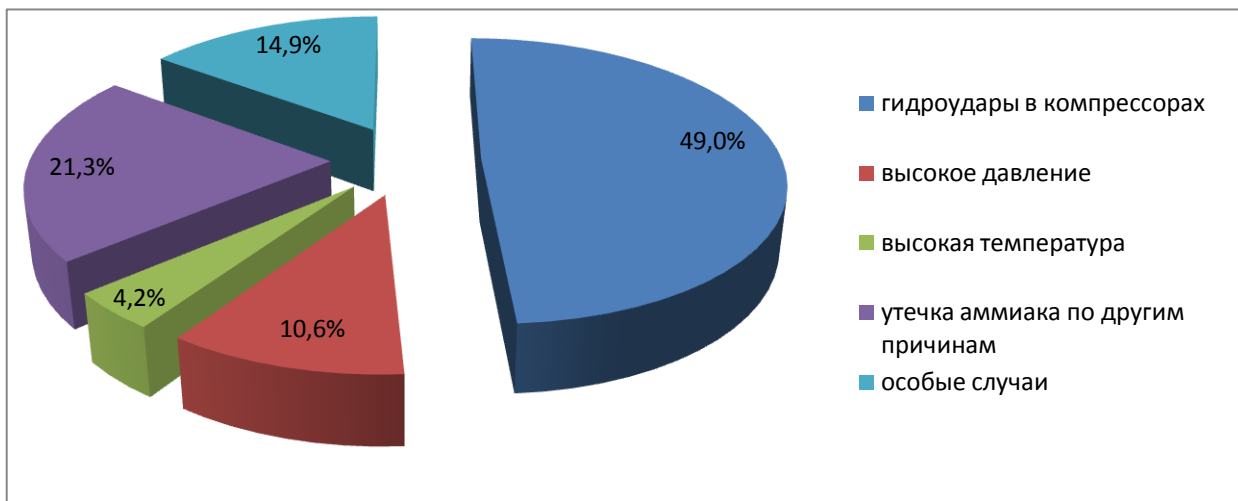
- 27 августа 2002 г., ООО «Опилки». Разгерметизация технологической системы аммиачной холодильной установки, выброс 1000 кг аммиака. Причина аварии – пожар, возникший при повреждении электрического кабеля и коротком замыкании. В результате аварии 3 человека погибли, 6 получили ранения;

- 7 июня 2007 г., рыбный порт Петропавловск-Камчатский. Авария на морозильной установке траулера «Кое Мару». В результате аварии 2000 кг аммиака попали в атмосферу, 1 человек погиб, 6 были травмированы;

- 16 февраля 2009 г., г. Москва. Утечка 10 кг аммиака на мясокомбинате во время планового размораживания холодильной камеры. Причина аварии – нарушение технологического процесса и непрофессиональные действия оператора. В результате аварии пострадало 12 человек.

Анализ аварий, произошедших на химически-опасных объектах с аммиачными холодильными установками на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности, показал, что основными техническими причинами являются (рис. 1):

- гидравлические удары в компрессорах;
- высокое давление;
- высокая температура;
- утечка аммиака по другим причинам, помимо гидравлических ударов, высоких давлений и температур;
- особые случаи.



**Рис. 1.** Основные технические причины аварий на объектах с аммиачными холодильными установками.

К причинам возникновения крупных аварий с выбросом аммиака можно отнести: отказ основного и резервного электроснабжения; возгорания теплоизоляции; промерзания почвы и ее вспучивание, что приводит к разрушению строительных конструкций; неудовлетворительное техническое состояние элементов холодильной установки [19].

Рассмотрим подробнее основные причины аварий.

Гидроудары в компрессорах первой степени происходили при эксплуатации как схем непосредственного охлаждения (насосно-циркуляционных и безнасосных), так и схем с промежуточным хладоносителем. Наиболее частые гидроудары в компрессорах первой ступени, которые работали в безнасосных системах охлаждения. Как показывает опыт эксплуатации систем охлаждения такого типа, их безопасная работа не может быть обеспечена без коренной модернизации.

Аварии при эксплуатации насосно-циркуляционных систем охлаждения более редки. Очень большое значение для насосно-циркуляционных систем охлаждения имеет не только правильный выбор емкости циркуляционных ресиверов, но и правильное взаимное расположение ресивера и аммиачного насоса гарантирует устойчивую работу последнего, так как в противном случае эксплуатация установки связана с возникновением аварийных ситуаций. В системах охлаждения с промежуточным хладоносителем колебания нагрузки не вызывают резких изменений условий работы холодильной установки. Несмотря на это, аварии в системах охлаждения с промежуточным хладоносителем также не являются редкими и происходили из-за переполнения испарителей при ручной поддержке в них уровня жидкого аммиака.

Следует отметить ряд причин гидроударов в компрессорах, которые присущи как системам непосредственного охлаждения, так и системам с промежуточным хладоносителем. Подавляющее большинство гидроударов в компрессорах первой ступени возникло из-за отсутствия или неработоспособности аварийных реле уровня; ручная регулировка уровня жидкого аммиака в емкостях (аппаратах) холодильных установок часто приводила к их переполнению и, как следствие, к авариям; неправильный пуск компрессоров после длительной остановки без дренажа всасывающих и нагнетательных магистралей от возможного скопления жидкого аммиака, масла, а также быстрое открытие всасывающего клапана компрессора; ошибочные действия обслуживающего персонала при подключении дополнительной тепловой нагрузки.

Существует ряд обстоятельств, способствующих превращению опасных режимов работы установки в аварии: отсутствие на двери машинного отделения аварийных кнопок при возникновении стука в компрессорах не позволяет своевременно их выключать, а заставляет машинистов делать это в непосредственной близости от компрессора, работающего в аварийном режиме; низкий уровень осведомленности обслуживающего

персонала о правильных действиях в аварийных ситуациях, приводит к ошибочным действиям, ухудшающим аварийную ситуацию.

Аварии в результате гидроудара в компрессоре второй ступени более редки. Аварии такого типа происходили, в основном, из-за переполнения промыслов при ручном регулировании в них уровня жидкого аммиака и отсутствия или неработоспособности установленных на них аварийных реле уровня. Гидроудары в компрессорах второй ступени происходили также при запуске машин в работу из-за попадания в цилиндры компрессора жидкого аммиака, который сконденсировался в нагнетательной магистрали при длительной остановке. При этом жидкий аммиак мог попадать в цилиндры компрессора, как через нагнетательную магистраль, так и через линию всасывания.

Аварии из-за высокого давления происходили обычно при запуске компрессора в работу с открытым нагнетательным вентилем. Аварии случались также при работе компрессора, когда, не снижая давление в его картере до атмосферного, проводят вскрытие аппарата.

Аварии оборудования из-за высокой температуры крайне редки. Они происходили при работе компрессора без подачи необходимого количества воды в охлаждающую рубашку компрессора и на конденсатор.

Утечки аммиака по другим причинам происходили, в основном, из охлаждающих устройств (при оттаивании снеговой шубы), из систем трубопроводов, а также из арматуры. Главными причинами аварий были: отсутствие исполнительной документации на ремонтные работы системы трубопроводов; бесконтрольное проведение и организация работ повышенной опасности; допуск к работе непроинструктированных лиц; необеспечение их средствами индивидуальной защиты; серьезные недостатки в организации работы. На практике были случаи спуска масла из систем аммиачной холодильной установки, минуя маслосборники, что приводило к прорыву аммиака из системы и к аварии.

**Выводы.** Исходя из результатов анализа особенностей чрезвычайных ситуаций на химически-опасных объектах с аммиачными холодильными установками, можно сделать вывод, что для повышения безопасности их эксплуатации необходимо создание эффективной методики предупреждения чрезвычайных ситуаций на таких объектах. Методика должна включать анализ объектов контроля, применяя показатели опасности, которые в общем виде можно представить в следующих блоках:

– *блок показателей технической надежности* – вероятности отказа технологического оборудования в результате изношенности производственных фондов, вероятности отказа технических средств контроля параметров технологического процесса и систем предупреждения возникновения аварий и другие показатели, которые включают особенности технологического процесса;

– *блок показателей воздействия субъекта* – количественная оценка возможности допущения ошибок обслуживающим персоналом, связанных с отсутствием опыта, профессиональным «выгоранием» и несовершенством режима труда, приводящие к возникновению аварий на объекте контроля;

– *блок показателей внешнего воздействия* – вероятность возникновения чрезвычайной ситуации в результате каскадного развития аварии на соседнем объекте; аварии на объектах энергетики и водоснабжения, которые могут негативно повлиять на штатное протекания технологического процесса; количественная оценка возможности совершения террористического акта, возникновения других внешних факторов природного и антропогенного характера, оказывающих негативное влияние на безопасность объекта контроля.

1. Абрамов Ю.О. Аналіз хімічно небезпечного стану регіонів України / Ю.О.Абрамов, В.В.Тютюник, Р.І.Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2006. – № 4. – С. 16 - 29.

2. Абрамов Ю.О. Моделирование процесса возникновения техногенной аварии на объектах повышенной небезопасности нефтегазовой промышленности / Ю.О. Абрамов, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2006. – №3. – С. 5-18.
3. Бахвалов О.А. Основные причины аварий при эксплуатации аммиачных холодильных систем / О. А. Бахвалов // Холодильная техника. – 2001. № 7. – С. 11 – 12.
4. Бегун В.В. Задача определения текущего риска объекта повышенной опасности / В.В. Бегун // Математичні машини і системи. – 2011. – №1 – С. 120-126.
5. Ветошкин А.Г. Безопасность жизнедеятельности: оценка производственной безопасности / А.Г. Ветошкин, Г.П. Разживина. – Пенза: Пенз. госуд. архит.-строит. академия, 2002. – 172 с.
6. Ветошкин А.Г. Надежность технических систем и техногенный риск / А.Г. Ветошкин – Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003. – 155 с.: ил., 24 библиогр.
7. Исаков С.Л. Об оценке риска пожарной опасности / С.Л. Исаков, А.В. Кондрашина // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2007. № 3-4. – С. 33-38.
8. Кіро́чкін О.Ю. Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України / О.Ю. Кіро́чкін, М.М. Мурін, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2007. – №6. – С. 62-73.
9. Ковре́гін В.В. Формування методологічних підходів до визначення коефіцієнтів безпеки основних елементів аміачної холодильної установки за критерієм «вплив суб'єкта» / В.В. Ковре́гін, Д.В. Тарадуда, Р.І. Шевченко // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2011. – № 1(27). – С. 233-236.
10. Колодкин В.М. Количественная оценка риска химических аварий / Колодкин В.М., Мурин А.В., Петров А.К., Горский В.Г. / Под ред. Колодкина В.М. – Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2001 – 228 с. ISBN 5-7029-0260-2
11. Кунин П.П. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда / П.П. Кунин, В.Л. Лапин. – М.: Высшая школа, 2002. – 327 с.
12. Лифар В.О. Моделі надзвичайних ситуацій та метод оцінки техногенного ризику в автоматизованій системі забезпечення безпеки виробництва: дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.06 / Лифар Володимир Олексійович. – Х., 2007. – 278 с.
13. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки // Офіційний вісник України від 10.01.2003. – 2002. – № 52. – С. 233. Стаття 2420.
14. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів // Офіційний вісник України від 05.04.2006. – 2006. – №12/№14. – С. 391-398.
15. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте : РД 52.04.253-90 – [Вступил в действие с 1990-07-01]. – Санкт-Петербург. 1990. – 13 с. — (Руководящий документ).
16. Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті // Офіційний вісник України від 27.04.2001. – 2001. – № 15. – С. 261. Стаття 681.
17. Accident Prevention and Response manual for Anhydrous Ammonia Refrigeration System Operators U.S. Environmental Protection Agency Region 7 March 2009 (Third Edition) EPA-907-B-06-001.
18. Сайт «РИА Новости» [Електронний ресурс] – 2008. – Режим доступу: <http://ria.ru/incidents/20080324/102031095.html#ixzz3YDo4CdSe>.
19. Аверин Г.В. Анализ опасностей аммиачных компрессорных установок методом построения «дерева отказов» / Г.В. Аверин, В.М. Москалец // Екологічна безпека. – 2008. – № 3-4. – С. 9-16.

**Д. В. Тарадуда**

**ХАРАКТЕРИСТИКА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ З АМІАЧНИМИ ХОЛОДИЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ**

*У статті розглянуто приклади надзвичайних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах з аміачними холодильними установками, проаналізовано причини їх виникнення, а також визначено напрями забезпечення безпеки таких об'єктів.*

**D. V. Taraduda**

**CHARACTERISTIC OF EMERGENCY SITUATIONS AT POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS WITH THE AMMONIA REFRIGERATION UNITS**

*The article describes examples of emergencies at potentially dangerous facilities with ammonia refrigeration systems, analyzed their causes and the directions of the safety of such objects.*

**ЯРОШЕНКО К.К.<sup>1</sup>, КОЛЯБИНА І.Л.<sup>2</sup>, БОНДАРЕНКО Г.М.<sup>1</sup>,  
КОНОНЕНКО Л.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України"

<sup>2</sup>Інститут геологічних наук НАН України

## **ОСОБЛИВОСТІ КІНЕТИКИ СОРБЦІЇ СТРОНЦІЮ-90 ТА ЦЕЗІЮ-137 ПРИРОДНИМИ ТА МОДИФІКОВАНИМИ СОРБЕНТАМИ З БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ РОЗЧИНІВ**

*В статті наведено результати дослідження кінетики сорбції  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  природними та модифікованими сорбентами: 1) бентонітами – природним та Na-модифікованим Черкаського родовища (ПБА-20); Горбківського родовища; Black Hill (Са-форма); Rokla (Na-форма); 2) цеолітами – природним, лужно- та кислотномодифікованими Сокирницького родовища 3) палигорськітом. Встановлено, що серед досліджуваних зразків сорбентів найбільш ефективним щодо  $^{90}\text{Sr}$  є промислово модифікований натрієм бентоніт Черкаського родовища (ПБА-20), а щодо  $^{137}\text{Cs}$  – лужномодифікований цеоліт Сокирницького родовища. Отже модифікація природних сорбентів натрієм багатократно підвищує ступінь сорбції  $^{90}\text{Sr}$  та значно (на 20-30%) підвищує ступінь сорбції  $^{137}\text{Cs}$ . Частка водорозчинного  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  при сорбції досліджуваними природними та модифікованими сорбентами є незначною і не перевищує 4,2 та 10% відповідно. Найбільший вміст іонообмінного  $^{90}\text{Sr}$  має бентоніт ПБА-20 (до 56%) та лужно-модифікований цеоліт (до 40%), а  $^{137}\text{Cs}$  – природний та модифіковані цеоліти (до 57%). Найбільша частка кислоторозчинної форми  $^{90}\text{Sr}$  визначена при сорбції бентонітом ПБА-20, природним та лужно-модифікованим цеолітом і складає 26, 21 та 18% відповідно, а найбільша частка кислоторозчинної форми  $^{137}\text{Cs}$  складає близько 15% при сорбції лужно-модифікованим цеолітом, бентонітом ПБА-20 та палигорськітом. Найбільш міцна (переважання вмісту кислоторозчинної та залишкової форм) фіксація  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  відбувається при сорбції промислово модифікованим натрієм бентонітом ПБА-20 та лужно-модифікованим в лабораторних умовах цеолітом.*

### **Вступ**

Безпечне зберігання, транспортування і захоронення рідких радіоактивних відходів (РРВ) передбачає їх обов'язкове переведення в затверділу форму, яка спроможна впродовж тривалого часу міцно утримувати найбільш небезпечні радіонукліди [1]. Діюча на українських атомних електростанціях схема переробки забруднених радіонуклідами розчинів шляхом глибокого упарювання і подальшої кристалізації радіонуклідів у вигляді розчинних солей має цілий ряд суттєвих недоліків, а кінцеві продукти переробки (кубовий залишок, відпрацьовані сорбенти і шлами, сольовий плав) не відповідають критеріям їх приймання на довгострокове зберігання і захоронення. Однією з перспективних схем переробки РРВ вважають схему, в якій використовують методи селективної сорбції. Для селективного вилучення радіонуклідів із розчинів використовують як природні, так і синтетичні сорбенти. Природні сорбенти значно дешевші, ніж синтетичні та мають досить високу сорбційну здатність. Особливу увагу серед природних матеріалів викликають алюмосилікати, зокрема бентоніти та цеоліти. Для підвищення швидкості та ступеню сорбції використовують різні методи модифікації природних сорбентів [2].

**Мета роботи:** дослідження кінетики сорбції  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  з модельного розчину РРВ, а також форм їх фіксації природними і модифікованими сорбентами.

### **Характеристики бентонітів та цеолітів. Їх хімічний та мінералогічний склад**

Бентоніти – різновид пластичних вибілюючих глин, складаються в основному з мінералів групи монтморилоніту ( $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) або бейделіту

$(Al_2[AlSi_3O_9(OH)](OH)_2 \cdot nH_2O)$ , колір – від білого до ясно-зеленого і ясно-синього, іноді – кремовий, жовтий, червоний або коричневий [3, 4]. Бентоніти містять не менше 60% мінералів монтморилонітової групи, інші 40% домішок – це гідрослюди, змішаношарові утворення, каолінит, палигорськіт та ін. [5, 3]. Бентоніти є середньопористими породами (коефіцієнт пористості 0,48 - 0,80; в середньому 0,55). Щільність бентонітів змінюється від 2,66 до 2,84 г/см<sup>3</sup>, що пов'язано із вмістом заліза [6, 3]. Набухаємість гідротермальних бентонітів становить 12,8 разів, вулканогенно-осадових – 8,1 разів, у тому числі лужних різновидів в 10 і лужноземельних у 3 рази. Лужноземельні бентоніти осадового і елювіального типів характеризуються низькою набухаємістю (не перевищує 25%).

Сорбційні властивості бентонітових глин головним чином визначаються складом і кількісним вмістом смектитів (монтморилонітів). Високі ємнісні і сорбційні властивості смектитів визначаються дуже великою їх дисперсністю та наявністю дефектів у структурі, що визначає існування значної кількості активних центрів на їх поверхні [7, 3]. Бентоніт має високу сорбційну здатність по відношенню до катіонів металів, що може бути використано для сорбційного вилучення радіонуклідів з РРВ. Бентоніт є доступним та дешевим матеріалом для використання в якості сорбенту.

**Цеоліти** – мінерали з групи каркасних водних алюмосилікатів лужних і лужноземельних елементів з тетраедричним структурним каркасом, що включає сорбційні центри, зайняті катіонами і молекулами води. За визначенням Брек Д. [8, 3] та Smith J.V. [11, 5], цеоліти – алюмосилікатні структури, які містять іонообмінні катіони і зворотно сорбують та десорбують воду. Емпірична формула цеоліту може бути записана як  $M_{2n} \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$  [9] або  $M_{x/n} \cdot (AlO_2) \cdot x(SiO_2)_y \cdot zH_2O$  [8], де М – катіони з валентністю n (зазвичай це Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup> та ін.), z – число молекул води, а відношення у/х може змінюватися від 1 до 5 для різних видів цеолітів.

Сокирницьке родовище цеолітів – клиноптилолітового типу. Вміст клиноптилоліту складає понад 60%, домішки – монтморилоніт, кварц, польовий шпат, опал, вулканічне скло. Пористість – 44%; щільність – 2,37 кг/м<sup>3</sup>, питома поверхня – 50-65 м<sup>2</sup>/г, ємність катіонного обміну – 150 мг-екв/г, стійкість до дії лугів рН 7-13, сумарна питома активність природних радіонуклідів 144,5 Бк/кг. Для клиноптилоліту характерна висока спорідненість до крупних катіонів Cs<sup>+</sup>, Rb<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, доведена їх спроможність поглинати Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>. Хімічний склад цеоліту наведено у табл. 1.

**Таблиця 1** Хімічний склад досліджуваного цеоліту [3]

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	F	As	Pb	Cu
Вміст, %	71,5	13,1	0,9	0,5	3,44	0,68	0,01	3,03	0,025	0,001	0,002	0,02

*В дослідженні використано наступні природні та модифіковані сорбенти:*

1. Бентоніт Черкаського родовища
2. ПБА-20 – промислово-модифікований натрієм бентоніт Черкаського родовища
3. Бентоніт Горбківського родовища
4. Бентоніт Black Hill (Ca-форма)
5. Бентоніт Rokla (Na-форма)
6. Цеоліт Сокирницького родовища
7. Кислотно модифікований Цеоліт Сокирницького родовища
8. Лужно модифікований Цеоліт Сокирницького родовища
9. Палигорськіт

**Методика експериментальних досліджень**

Вивчення фізико-хімічних форм <sup>90</sup>Sr та <sup>137</sup>Cs при сорбції природними та модифікованими сорбентами проводилось за методикою, описаною в роботі «Методы

определения микроэлементов в природных объектах» [9]. Відповідно до цієї методики вміст фізико-хімічних форм визначали методом послідовного вилуговування дистильованою водою (водорозчинна форма фіксації), ацетатно-амонійним буферним розчином з рН = 5 (іонообмінна форма) та азотною кислотою (кислоторозчинна форма). Різниця між активністю сорбованих радіонуклідів та активністю радіонуклідів, що були вилуговані вищевказаними розчинами, визначена як залишкова або фіксована форма.

Методика тривалих модельних експериментів по встановленню кінетичних параметрів іонообмінного та необмінного поглинання  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  була розроблена і випробувана авторами при дослідженні сорбції  $^{137}\text{Cs}$  ґрунтом та його окремими гранулометричними фракціями [10], а в подальшому була використана для дослідження кінетики сорбції  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  глинами різного мінерального складу [11], а також в попередніх дослідженнях авторами даної статті, сорбції  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  природними та модифікованими сорбентами [12, 13, 14, 15].

Для створення наближених до реальних умов, сорбцію  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  проводили з модельного розчину не упарених РРВ. До модельного розчину окрім стабільних ізотопів Sr та Cs додавали мітку радіоактивних ізотопів  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  визначеної активності. Визначення активності  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  в розчинах проводилися методом  $\beta$ -спектрометрії.

При дослідженні сорбції  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  природними та модифікованими сорбентами використано наступну методику:

1. Приготовано модельний розчин не упарених РРВ даного складу:  $\text{Na}^+$  - 4,6 г/дм<sup>3</sup>;  $\text{VO}_3^{3-}$  - 1,5 г/дм<sup>3</sup>;  $\text{K}^+$  - 1 г/дм<sup>3</sup>;  $\text{Cl}^-$  - 3,5 г/дм<sup>3</sup>;  $\text{NO}_3^-$  - 1,6 г/дм<sup>3</sup>;  $\text{SO}_4^{2-}$  - 4 г/дм<sup>3</sup>;  $\text{Co}^{2+}$  - 36,5 мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{Mn}^{2+}$  - 7 мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{Cs}^+$  - 45 мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{Sr}^{2+}$  - 36 мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{Ca}^{2+}$  - 0,8 мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{Fe}^{3+}$  - 0,7 мг/дм<sup>3</sup>. Активність радіонуклідів:  $^{40}\text{K}$  - 550 Бк/дм<sup>3</sup>;  $^{90}\text{Sr}$  - 3200 Бк/дм<sup>3</sup>;  $^{137}\text{Cs}$  - 3450 Бк/дм<sup>3</sup>.

2. Підготовлено наважки по 0,25 г досліджуваних сорбентів. Кожну наважку заливали 25 мл модельного розчину РРВ (п.1). Проби залишали на різні інтервали часу від 1 години до 14 діб із періодичним перемішуванням при температурі  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ;

3. По закінченні відповідного інтервалу часу сорбції розчини декантували, відбирали аліквоту 10 мл, випарювали до сухого залишку в скляній чашці Петрі та проводили вимірювання залишкової активності  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  методом  $\beta$ -спектрометрії;

4. Після сорбції сорбент заливали 25 мл дистильованої води, для визначення частки водорозчинної форми  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ , та витримували в контакті впродовж однієї доби при періодичному перемішуванні. Далі розчин декантували, а сорбент заливали 25 мл ацетатно-амонійного буферного розчину (рН=5) та витримували в контакті впродовж однієї доби, для визначення частки обмінно-поглинутих  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ . Розчин знову декантували, а сорбент заливали 25 мл 0,1М розчину  $\text{HNO}_3$  та витримували в контакті впродовж доби для визначення частки кислоторозчинної форми сорбції  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ . Аналогічно до п.3 в кожному фільтраті визначали ступінь десорбції  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ , вимірюючи їх активність в відповідних пробах.

### Результати дослідження та їх обговорення

Результати дослідження сорбції  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  природними та модифікованими сорбентами (Рис. 1) показали, що найбільш ефективним сорбентом щодо  $^{90}\text{Sr}$  виявився Na-модифікований бентоніт ПБА-20 (максимальний ступінь сорбції 85%), а щодо  $^{137}\text{Cs}$  – природний та лужно-модифікований цеоліт (90 та 98,8% відповідно). Нижчий ступінь сорбції  $^{90}\text{Sr}$  спостерігається в експериментах з природним, лужно-модифікованим цеолітом та бентонітом Rokla і коливається в межах 46-60%. Аналогічно, більш низький ступінь сорбції  $^{137}\text{Cs}$  спостерігався при сорбції на кислотно-модифікованому цеоліті, бентонітах ПБА-20 та Rokla, палигорськіті (82, 69, 65 та 66% відповідно). Найнижчий ступінь сорбції  $^{90}\text{Sr}$  встановлений на бентонітах Black Hill, Черкаського та Горбківського родовищ, палигорськіті та кислотно-модифікованому цеоліті (14-23%);  $^{137}\text{Cs}$  - на природних бентонітах Черкаського, Горбківського родовищ та Black Hill (30-53%).



Час встановлення рівноваги при сорбції  $^{90}\text{Sr}$  досліджуваними сорбентами складає від  $2^x$  до  $14^{\text{ти}}$  днів. Рівновага при сорбції  $^{137}\text{Cs}$  встановлюється за 2-4 доби від початку експерименту практично для всіх досліджених сорбентів, окрім бентонітів Горбківського родовища та Rokla (до 7 днів). При збільшенні часу контакту сорбенту з розчином ступінь сорбції практично не змінюється.

Таким чином, за ефективністю сорбції  $^{90}\text{Sr}$  (збільшення ступеню сорбції та зменшення часу встановлення рівноваги) розглянуті сорбенти можна розташувати в послідовності: бентоніт ПБА-20 > природний та лужно-модифікований цеоліт > бентоніт Rokla > бентоніти Black Hill, Черкаського та Горбківського родовищ, палигорськіт, кислотно-модифікований цеоліт;  $^{137}\text{Cs}$  – природний та лужно-модифікований цеоліт > кислотно-модифікований цеоліт > бентоніти ПБА-20 та Rokla, палигорськіт > бентоніти Black Hill та Черкаського родовища.

Тобто, серед досліджуваних зразків найбільш ефективним сорбентом щодо  $^{90}\text{Sr}$  є промислово модифікований натрієм бентоніт ПБА-20, а щодо  $^{137}\text{Cs}$  – лужно-модифікований в лабораторних умовах цеоліт. Отже, модифікація природних сорбентів натрієм багатократно підвищує ступінь сорбції  $^{90}\text{Sr}$  та значно (на 20-30%) підвищує ступінь сорбції  $^{137}\text{Cs}$ .

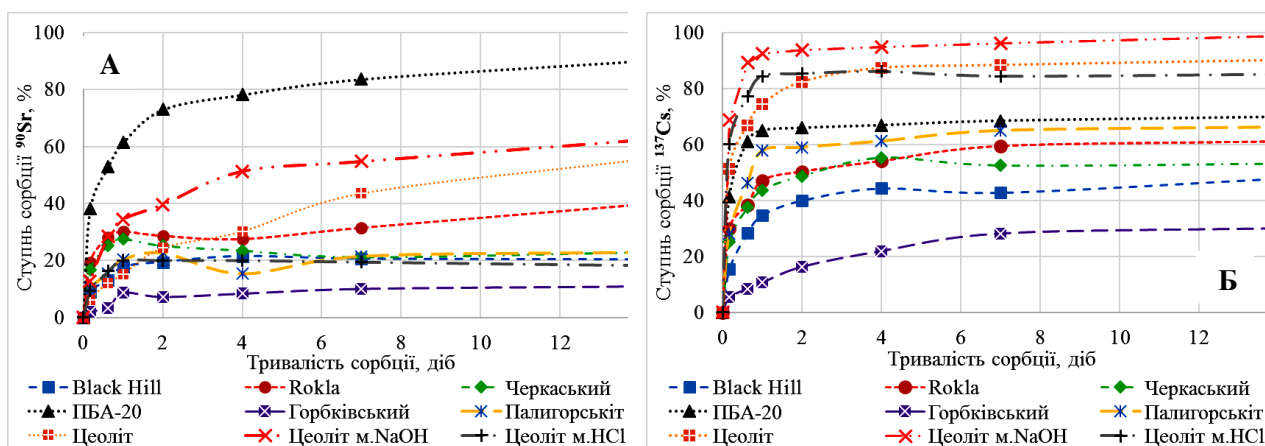


Рис. 1 Кінетика сорбції  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  на природних та модифікованих сорбентах

Найменш пов'язаною з сорбентом формою є та, що вилуговується дистильованою водою, тобто, **водорозчинна**. Встановлено, що десорбція дистильованою водою  $^{90}\text{Sr}$  (рис. 2А) та  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 2Б) на досліджуваних природних та модифікованих сорбентах є незначною і загалом не перевищує 5 та 10% відповідно. Залежність вмісту водорозчинної форми радіонуклідів від часу сорбції не однорідна для розглянутих сорбентів. При сорбції  $^{90}\text{Sr}$  лужно-модифікованим цеолітом та бентонітом Горбківського родовища вміст водорозчинної форми практично не залежить від часу і є мінімальним (не перевищує 0,7%). Дещо більший вміст водорозчинної форми сорбції  $^{90}\text{Sr}$  визначено для природного цеоліту (до 1,3%). Для інших досліджуваних сорбентів характерна зміна водорозчинної частки  $^{90}\text{Sr}$  в два етапи: на першому етапі (0-4 доба) спостерігається збільшення частки до максимального значення (2-4%); на другому етапі (4-14 доба) – поступове зменшення частки (до 1-2%).

Частка водорозчинного  $^{137}\text{Cs}$  на природних та модифікованих цеолітах мінімально залежить від часу і є найменшою серед досліджених зразків сорбентів (не перевищує 1%). Дещо більший вміст водорозчинного  $^{137}\text{Cs}$  визначено для бентоніту Горбківського родовища (до 2,3%). Для бентонітів Rokla, Black Hill та Черкаського родовища характерна зміна водорозчинної частки  $^{137}\text{Cs}$  у два етапи: спочатку мало місце стрімке збільшення частки водорозчинних форм з досягненням на певний час максимальних значень в 5-7%, після чого протікало поступове її зменшення до 2-4% до закінчення експерименту. Для бентоніту ПБА-20 виявлено встановлення рівноваги на другу добу експерименту на рівні

6%. Найвища частка водорозчинного  $^{137}\text{Cs}$  спостерігалась при сорбції на палигорськіті на рівні 10%.

В цілому можна зробити висновок, що найменша частка водорозчинного  $^{90}\text{Sr}$  характерна для бентоніту Горбківського родовища, природного та лужно модифікованого цеолітів, окрім того, вона мінімальна для всіх досліджуваних сорбентів – до 4%. Найменша частка водорозчинного  $^{137}\text{Cs}$  встановлена для природного та модифікованих цеолітів – до 1%.

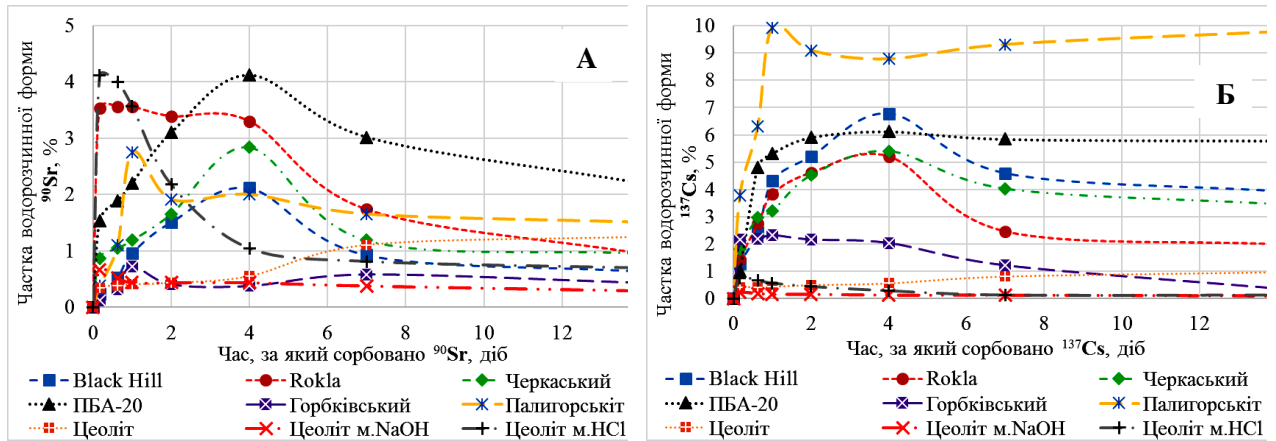
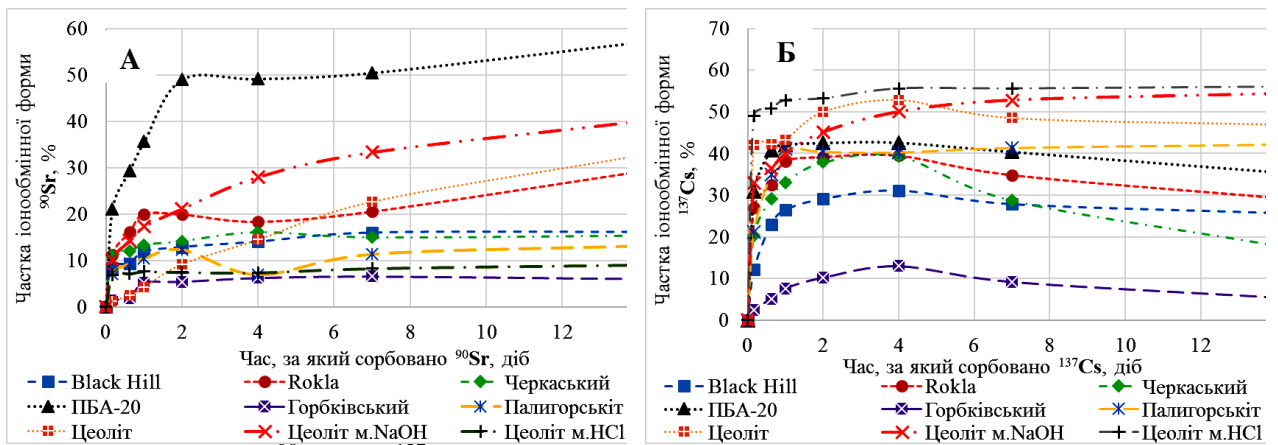


Рис. 2 Десорбція  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  з природних та модифікованих сорбентів дистильованою водою

Наступною за міцністю зв'язку з сорбентом є **іонообмінна форма**, що визначається десорбцією ацетатно-амонійним буферним розчином. Із результатів визначення вмісту іонообмінного  $^{90}\text{Sr}$  (рис. 3А) видно, що для всіх досліджуваних сорбентів сорбція за іонообмінним механізмом відбувається за класичною схемою – кривою Ірвінга Ленгмюра. Найбільша частка іонообмінного  $^{90}\text{Sr}$  визначено при сорбції бентонітом ПБА-20 (57%). Менший вміст даної форми визначено для бентоніту Rokla, природного та модифікованого цеолітів (29, 33 і 40% відповідно). Для інших досліджуваних сорбентів характерний низький вміст іонообмінного  $^{90}\text{Sr}$ , що не перевищує 15%.

Частка іонообмінного  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 3Б) при сорбції природним цеолітом, бентонітами Rokla, Black Hill, ПБА-20, Черкаського та Горбківського родовищ змінюється в два етапи: зростання у перші чотири доби до максимальних значень та подальше зниження до кінця експерименту. Сорбція палигорськітом, кислотно- та лужно-модифікованим цеолітами за іонообмінним механізмом відбувається за кривою Ленгмюра. Максимальна частка іонообмінного  $^{137}\text{Cs}$  складає на: 1) природному та модифікованому цеолітах – 54-60%; 2) бентоніті ПБА-20 – 50%; 3) бентонітах Rokla, Черкаського родовища та палигорськіті – по 40%; 4) бентоніті Black Hill – 31% 5) бентоніті Горбківського родовища – 13%.

Отже, найбільшою здатністю до іонообмінної сорбції  $^{90}\text{Sr}$  характеризується бентоніт ПБА-20, а до іонообмінної сорбції  $^{137}\text{Cs}$  – природний та модифіковані цеоліти.

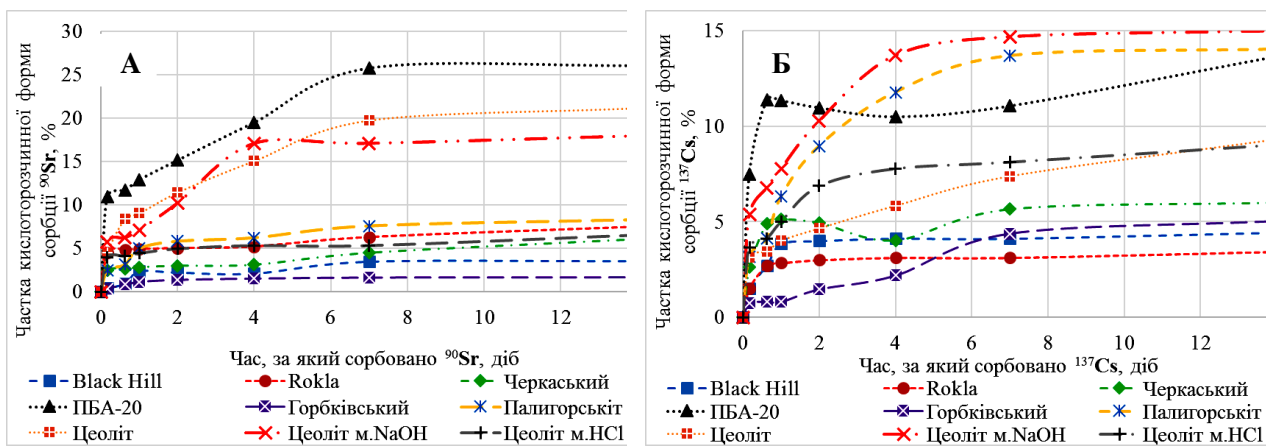


**Рис. 3** Десорбція  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  з природних та модифікованих сорбентів ацетатно-амонійним буферним розчином (рН=5)

Кислоторозчинна форма радіонуклідів належить до фіксованих форм і є більш міцно зв'язаною з сорбентом, ніж іонообмінна та визначається десорбцією (вилуговуванням) радіонукліда 0,1М розчином азотної кислоти. Визначення динаміки кислоторозчинної форми  $^{90}\text{Sr}$  (рис. 4А) демонструє, що з часом її частка поступово зростає, досягаючи максимальних значень на 7 - 14 добу експерименту. Максимальні значення вмісту кислоторозчинного  $^{90}\text{Sr}$  складають: при сорбції бентонітом ПБА-20 – 26%; природним цеолітом – 21%; лужно-модифікованим цеолітом – 18%; іншими сорбентами – 1,5-8%.

Частка кислоторозчинної форми  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 4Б) для всіх досліджуваних сорбентів поступово зростає з часом до максимальних значень на кінець експерименту, подібно до  $^{90}\text{Sr}$ . Серед використаних сорбентів вирізняються бентоніти Черкаського родовища – природний та ПБА-20, динаміка вмісту кислоторозчинної форми  $^{137}\text{Cs}$  яких протікає в три етапи: 1) до 8<sup>ї</sup> години експерименту – частка кислоторозчинної форми  $^{137}\text{Cs}$  різко збільшується до 5% для природного та 11% для ПБА-20 2) з 8<sup>ї</sup> години до 4<sup>ї</sup> доби – дещо знижується до 3,8 та 10,5% відповідно 3) з 4<sup>ї</sup> до 14<sup>ї</sup> доби – поступово зростає до максимальних значень - 6 та 13,6% відповідно. Найбільша частка кислоторозчинного  $^{137}\text{Cs}$  визначена при сорбції лужно-модифікованим цеолітом (15%), палигорськітом (14%) та бентонітом ПБА-20 (13,6%); значно менша - кислотно-модифікованим цеолітом – 9%. Частка кислоторозчинного  $^{137}\text{Cs}$  при сорбції іншими досліджуваними сорбентами коливається в межах 3,5-5%.

Тобто, найбільша частка кислоторозчинного  $^{90}\text{Sr}$  характерна при сорбції бентонітом ПБА-20, природним та лужно-модифікованим цеолітами, а  $^{137}\text{Cs}$  – лужно-модифікованим цеолітом, палигорськітом та бентонітом ПБА-20.

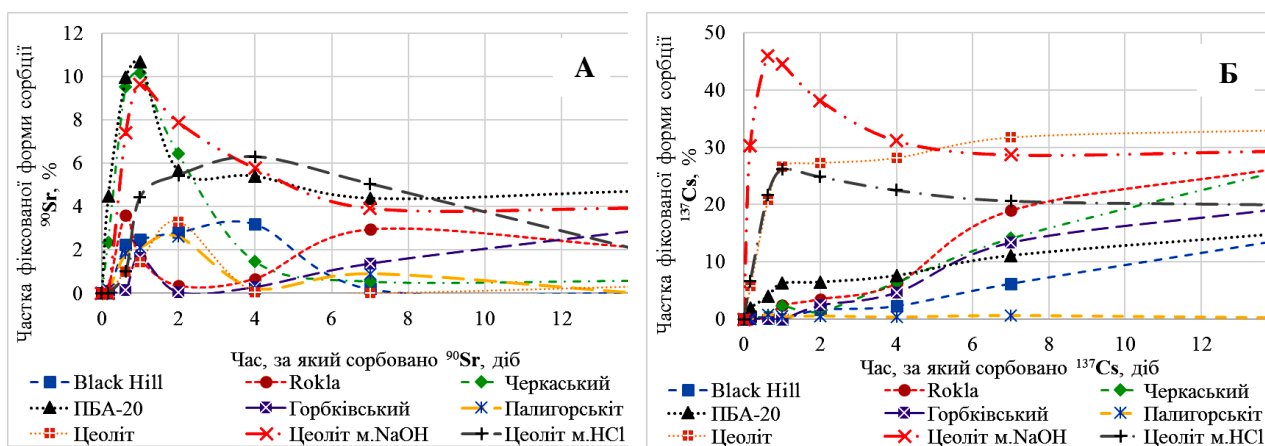


**Рис. 4** Десорбція  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  з природних та модифікованих сорбентів азотною кислотою

Під залишковою формою  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  слід розуміти частку поглинутих нуклідів, що не була десорбована жодним із вищевказаних реагентів. Визначається як різниця між сорбованим нуклідом та сумою часток водорозчинної, іонообмінної та кислоторозчинної форм. Частка залишкової форми сорбції  $^{90}\text{Sr}$  (рис. 5А) є невеликою та не перевищує 11%; практично для всіх досліджуваних сорбентів змінюється в три етапи: на першому етапі (впродовж першої доби експерименту) спостерігається зростання частки до максимальних значень; на другому етапі (до сьомої доби) – поступове зниження частки; на третьому (після сьомої доби) – частка практично не змінюється. Найбільше залишкового  $^{90}\text{Sr}$  визначено для лужно-модифікованого цеоліту та бентоніту ПБА-20 (максимальні значення спостерігали на першу добу експерименту – 9,6 та 10,6% відповідно; на кінець експерименту – 3,9 та 4,7% відповідно).

Частка залишкової форми  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 5Б) при сорбції всіма сорбентами, окрім модифікованих цеолітів, зростає за класичною кривою Ленгмюра до насичення, а при сорбції кислотно- та лужно-модифікованим цеолітами спостерігається спочатку зростання до максимальних значень на першу добу експерименту, а потім часткове зниження до встановлення рівноваги. Максимальна частка залишкового  $^{137}\text{Cs}$  визначена для природного та лужно-модифікованого цеолітів (29 та 33% відповідно на кінець експерименту).

Таким чином, найбільша частка залишкового  $^{90}\text{Sr}$  визначена при сорбції Na-модифікованими сорбентами: бентонітом ПБА-20 та лужно-модифікованим цеолітом.  $^{137}\text{Cs}$  – при сорбції природним та лужно-модифікованим цеолітами.



**Рис. 5** Частка залишкового  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ , сорбованих природними та модифікованими сорбентами

Загалом можна зробити висновок, що серед Na-модифікованих сорбентів найбільшою здатністю до необмінної (міцної) сорбції (з утворенням кислоторозчинної та залишкової форми радіонуклідів), володіють: для  $^{90}\text{Sr}$  – бентоніт ПБА-20, у меншій мірі – лужно-модифікований цеоліт; для  $^{137}\text{Cs}$  – лужно-модифікований цеоліт. Ці сорбенти також відзначаються високою здатністю до іонообмінної сорбції радіонуклідів. Високою (значною) здатністю до необмінної (міцної) сорбції  $^{137}\text{Cs}$  відзначаються також природний та кислотно-модифікований цеоліти. Для інших досліджуваних сорбентів (природні бентоніти Черкаського, Горбківського родовищ, Rokla, Black Hill, палигорський) характерні нижчі ступені сорбції  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  з вищим вмістом водорозчинної та іонообмінної форм сорбції та нижчим вмістом кислоторозчинної та залишкової форм.

## Висновки

1. Встановлено, що за всіма дослідженими параметрами (ступінь сорбції, швидкість встановлення сорбційної рівноваги, переважання міцно фіксованих форм  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ ) серед досліджуваних сорбентів найбільш ефективними є Na-модифіковані сорбенти: щодо  $^{90}\text{Sr}$  – модифікований натрієм бентоніт Черкаського родовища (ПБА-20);  $^{137}\text{Cs}$  – лужно-модифікований цеоліт Сокирницького родовища (максимальний ступінь сорбції  $^{90}\text{Sr}$  – 90%, а  $^{137}\text{Cs}$  – 99%).
2. Промислова модифікація бентонітів натрієм та лабораторна модифікація цеоліту лугом (NaOH) багатократно підвищує ступінь сорбції  $^{90}\text{Sr}$  та значно (на 20-30%) підвищує ступінь сорбції  $^{137}\text{Cs}$  в порівнянні з їх природними Ca-формами.
3. Ступінь десорбції дистильованою водою  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ , сорбованих на досліджуваних природних та модифікованих сорбентах, є незначним і не перевищує 4,2 та 10% відповідно. Максимальна частка іонообмінно сорбованого  $^{90}\text{Sr}$  визначена для бентоніту ПБА-20 (до 57%) та лужно-модифікованого цеоліту (до 40%). Максимальна частка іонообмінно сорбованого  $^{137}\text{Cs}$  встановлена для природного та модифікованих цеолітів (до 56%).
4. Найбільшу частку кислоторозчинного  $^{90}\text{Sr}$  визначено при сорбції бентонітом ПБА-20, природним та лужно-модифікованим цеолітами і складає 26, 21 та 18% відповідно, а найбільша частка кислоторозчинного  $^{137}\text{Cs}$  складає близько 15% при сорбції лужно-модифікованим цеолітом, бентонітом ПБА-20 та палигорськітом. Найбільша частка залишкового  $^{90}\text{Sr}$  характерна для Na-модифікованих сорбентів: бентоніту ПБА-20 та лужно-модифікованого цеоліту, а  $^{137}\text{Cs}$  – для природного та лужно-модифікованого цеолітів.
5. Найбільш міцна (переважання вмісту кислоторозчинної та залишкової форм) фіксація  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  відбувається при сорбції промислово модифікованим бентонітом ПБА-20 та лужно-модифікованим в лабораторних умовах цеолітом.
6. Сорбційна рівновага  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  при поглинанні всіма дослідженими зразками сорбентів з модельного розчину РРВ встановлюється протягом двох - семи діб.

1. Разработка национальной стратегии и концепции по обращению с радиоактивными отходами в Украине, включая стратегию обращения с радиоактивными отходами НАЭК «Энергоатом»: проект ТАСИС U4.03/04 // под общей редакцией В.М. Шестопалова. – К.: Вид-во «Промінь», 2008. – Т. – 1. – 500 с. Т. – 2. – 320 с.
2. Никифоров А.С., Куличенко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
3. Мала гірнича енциклопедія, Т.1 / За редакцією В.С. Білецького. – Донецьк: Донбас, 2004. – 640 с.
4. Беррі Л.Г. Мінералогія / Л.Г. Беррі, Б.Г. Мейсон, Р.В. Дитріх, – М: МИР, – 1987, – 603 с.
5. Кірсанов Н.В. Генетичні типи і закономірності поширення родовищ бентонітів в СРСР / Н.В. Кірсанов, М.А Раті, А.А. Сабітов та інші – М: Недра, 1981, – 214 с.
6. В.Г. Шлыков Рентгеновский анализ минерального состава дисперсных грунтов. М: ГЕОС, 2006. – 176 с.
7. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
8. Smith J.V. Definition of a zeolite // Zeolites. – 1984. – Vol. 4, Issue 4. – P. 309-310.
9. Методы определения микроэлементов в природных объектах. – М.: МГУ, 1968. – 400 с.
10. Кононенко Л.В., Колябина И.Л., Коромысличенко Т.И. Кинетика обменного и необменного поглощения цезия-137 дерново-подзолистой почвой // Збірник наукових праць ІГНС. – Киев. – 2007. – Вип. 14. – С. 48-55.

11. Кононенко Л.В., Колябина И.Л., Маничев В.И., Коромысличенко Т.И. Кинетика сорбции цезия-137 и стронция-90 глинами // *Мінералогічний журнал* – 2010. – 32. – №3. – С.89-95.

12. Ярошенко К.К., Бортнік Є.В., Кузенко С.В., Колябіна І.Л., Бондаренко Г.М. Особливості кінетики сорбції кобальту-60 та марганцю-54 природними та модифікованими сорбентами з багатокомпонентних розчинів. *Збірник наукових праць / Інститут геохімії навколишнього середовища* – м. Київ-2016. – вип.25. – С. – 64-73.

13. Ярошенко К.К., Бортнік Є.В., Колябіна І.Л., Кононенко Л.В., Бондаренко Г.М. Особливості динаміки сорбції стронцію-90 бентонітами. *Збірник наукових праць / Інститут геохімії навколишнього середовища* – м. Київ-2014. – вип.23. – С. 199-203.

14. Ярошенко К.К., Бондаренко Г.М. Особливості кінетики сорбції стронцію-90 модифікованими цеолітами сокирницького родовища. *Збірник наукових праць Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист / ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Виконавчий комітет Кременчуцької міської ради* – м. Київ – м. Кременчук, 2013. – вип.6, С. 60-66.

15. Ярошенко К.К., Лутай С.А. Особливості кінетики поглинання стронцію-90 цеолітом сокирницького родовища / *Збірник статей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України», 15 грудня 2011 р., м. Запоріжжя, ЗДІА, С. 151-154.*

**Ярошенко К.К., Колябина И.Л., Бондаренко Г.Н., Кононенко Л.В.**

**ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ СОРБЦИИ СТРОНЦИЯ-90 И ЦЕЗИЯ-137 ПРИРОДНЫМИ И МОДИФИЦИРОВАННЫМИ СОРБЕНТАМИ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ**

*В статье приведены результаты исследования кинетики сорбции  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  природными и модифицированными сорбентами: 1) бентонитами – природным та Na-модифікованим Черкаського родовища (ПБА-20); Горбського месторождения; Black Hill (Ca-форма); Rokla (Na-форма); 2) цеолитами – природном, щелочно- и кислотномодифицированными Сокирницького месторождения; 3) палыгорскитом. Установлено, что среди исследуемых образцов наиболее эффективным сорбентом относительно  $^{90}\text{Sr}$  оказался промышленно модифицированный натрием бентонит Черкасского месторождения (ПБА-20), а относительно  $^{137}\text{Cs}$  – щелочно-модифицированный в лабораторных условиях цеолит Сокирницького месторождения. Таким образом, модификация природных сорбентов натрием многократно увеличивает степень сорбции  $^{90}\text{Sr}$  и значительно (на 20-30%) увеличивает степень сорбции  $^{137}\text{Cs}$ . Доля водорастворимого  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  при сорбции на исследуемых природных и модифицированных сорбентах незначительна и не превышает 4,2 и 10% соответственно. Наибольшее содержание ионообменного  $^{90}\text{Sr}$  имеют бентониты ПБА-20 (до 56%) и щелочно-модифицированный цеолит (до 40%), а  $^{137}\text{Cs}$  – природный и щелочно-модифицированный цеолиты (до 57%). Наибольшая доля кислоторастворимого  $^{90}\text{Sr}$  определена при сорбции бентонитом ПБА-20, природным и щелочно-модифицированным цеолитом и составляет 26, 21 и 18% соответственно, а наибольшая доля кислоторастворимого  $^{137}\text{Cs}$  составляет около 15% при сорбции щелочно-модифицированным цеолитом, бентонитом ПБА-20 и палыгорскитом. Наиболее прочная (преобладание доли кислоторастворимой и остаточной форм) фиксация  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  происходит при сорбции промышленно модифицированным натрием бентонитом ПБА-20 и щелочно-модифицированным в лабораторных условиях цеолитом.*



**Yaroshenko K.K., Koliabina I.L., Bondarenko G.M., Kononenko L.V.**

**FEATURES OF STRONTIUM-90 AND CESIUM-137 EXTRACTION KINETICS ON NATURE AND MODIFIED SORBENTS FROM COMPOUNDING SOLUTIONS**

*The article presents the results of investigation of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  sorption kinetics by natural and modified sorbents: 1) bentonites – Cherkaske deposit; Na-modified from Cherkaske deposit (PBA-20); Horbkivske deposit; Black Hill (Ca-form); Rokla (Na-form); 2) zeolites – natural, alkali- and acid-modified from Sokirniyske deposit 3) palygorskite. It was found that of all investigated sorbent samples, the most effective about  $^{90}\text{Sr}$  was the industrially sodium-modified bentonite from Cherkaske deposit (PBA-20), and about  $^{137}\text{Cs}$  – the alkali-modified zeolite from Sokirniyske deposit. It means that modification of natural sorbents by sodium increases manifold the sorption degree of  $^{90}\text{Sr}$  and considerably raises (for 20-30%) the sorption degree of  $^{137}\text{Cs}$ . The fraction of the water-soluble form of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  adsorbed by the investigated natural and modified sorbents was insignificant and did not exceed 4,2 and 10%, correspondingly. Maximum of ion-exchange sorption fraction of  $^{90}\text{Sr}$  was found for bentonite PBA-20 (up to 56%) and alkali-modified zeolite (40%), and that of  $^{137}\text{Cs}$  - for natural and alkali-modified zeolites (up to 57%). Maximum of acid-soluble sorption form of  $^{90}\text{Sr}$  was determined for sorption by bentonite PBA-20, natural and alkali-modified zeolites (26, 21 and 18%, correspondingly), and maximum of acid-soluble sorption form of  $^{137}\text{Cs}$  was near 15% by sorption on alkali-modified zeolite, bentonite PBA-20 and palygorskite. The strongest (domination of acid-soluble and residual fraction) fixation of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  was by sorption on industrial-modified bentonites by sodium PBA-20 and alkali-modified in laboratory conditions zeolite.*

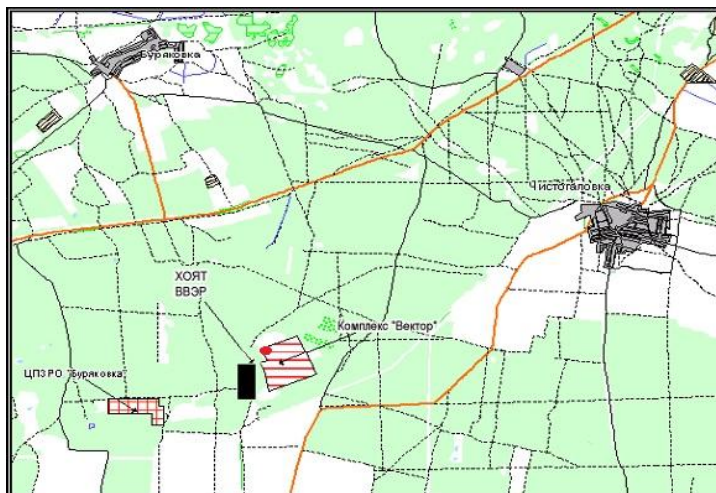
**ОЛЬХОВИК Ю.О.***Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»***ОСОБЛИВОСТІ НИСХІДНОЇ МІГРАЦІЇ ТЕХНОГЕННИХ РАДІОНУКЛІДІВ У ПІЩАНИХ ГРУНТАХ ЧИСТОГАЛОВСЬКОЇ МОРЕННОЇ ГРЯДИ**

*Виконана оцінка ємності піщаних ґрунтів Чистоголівської моренної гряди по відношенню до деяких техногенних радіонуклідів за припущення, що кліматичні умови залишатимуться в такому стані, який існує на поточний час, і умови геосфери не зазнають змін. Нисхідна міграція радіонуклідів, тобто надходження радіонуклідів з поверхні у водоносний горизонт, визначається швидкістю руху води в зоні аерації і сорбційними властивостями ґрунтів. Наведені числові значення параметрів міграції радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , інтегровані з урахуванням парціальної долі розповсюдження літологічних різновидів ґрунтів за даними по 24 свердловинам.*

*Зазначена територія має значний потенціал захисту верхнього водоносного горизонту за рахунок сорбційних властивостей природних бар'єрів у випадку, коли основним забруднювачем є  $^{137}\text{Cs}$ . Сорбційні властивості піщаних ґрунтів в районі Чистоголівської моренної гряди відіграють помітну роль у обмеженні міграції як легко рухливого  $^{90}\text{Sr}$ , так і довгоіснуючого  $^{239}\text{Pu}$ , однак цього недостатньо для виключення надходження згаданих радіонуклідів у верхній водоносний горизонт.*

Ключові слова: радіонукліди, інженерні і геологічні бар'єри, міграція, сорбція.

Чистоголівська моренна гряда (далі ЧМГ) привернула до себе увагу з моменту аварії на 4-ому енергоблоці Чорнобильської станції в 1986 році з огляду на розміщення на даній території приповерхневих сховищ для захоронення і для довготривалого зберігання радіоактивних відходів (РАВ) України – рис. 1. Вже зараз у траншеях сховища «Буряківка» захоронено 886 000 м<sup>3</sup> РАВ загальною активністю приблизно 2,51Е15 Бк. У сховищах комплексу «Вектор» має бути захоронено до 2Е16 Бк. На площадці комплексу «Вектор» буде збудоване спеціалізоване сховище для проміжного зберігання високоактивних відходів, які повертатимуться з РФ після переробки відпрацьованого ядерного палива українських АЕС. Загальна активність згаданих РАВ складатиме не менш як 5Е18 Бк. На території ЧМГ буде розміщене центральне сховище для довгострокового (до 100 років) сухого зберігання відпрацьованого ядерного палива українських АЕС з реакторами ВВЕР.



**Рис. 1** – Карта-схема району розміщення майданчиків



Ефективність ізоляції РАВ, розміщених у сховищах, є функцією інтегрованої взаємодії компонентів системи захоронення, до яких належать бар'єрні характеристики площадки, де розміщене сховище; інженерні бар'єри та форма відходів. Оскільки в довгостроковому плані в період після завершення активного контролю сховища, яке зняте з експлуатації, людина не може реально контролювати стан компонентів системи захоронення, потрібно мати реалістичний прогноз змін стану ізоляції радіоактивних відходів на час, потрібний для досягнення безпечного рівня радіоактивності. Відповідно до вимог чинного природоохоронного законодавства потрібно приймати до уваги можливий вплив на сховище РАВ природних чинників як то зміни кліматичних умов, сейсмічних, тектонічних та геологічних характеристик майданчику, а також змін гідрогеологічної будови геосфери, геохімічного складу поверхневих та підземних вод тощо. Строк існування поверхневого/приповерхневого сховища для захоронення РАВ не перевищуватиме 500-600 років [1]. Безумовно, за цей час природні процеси призведуть до певної деградації інженерних бар'єрів сховищ, однак за такий короткий за геологічним масштабом час неможливий радикальний вплив зазначених природних факторів, який привів би до повної перебудови захисних властивостей природних бар'єрів, притаманних території ЧМГ.

Таким чином, автор поставив задачу оцінити ємність природних бар'єрів по відношенню до деяких техногенних радіонуклідів за припущення, що кліматичні умови залишатимуться в такому стані, який існує на поточний час, і умови геосфери не зазнають змін.

Розглянемо особливості геологічної будови ЧМГ. Дана місцевість відноситься до північно-східної частини Київської морсько-західної площі, яка входить до складу Поліської низовини, що відноситься до пластово-акумулятивних рівнин. Моренно-зандрова рівнина на межі річки Прип'яті і Ужа пролягає полоскою з заходу на південний схід. Тип рельєфу - акумулятивний, створений льодовиковою та водно-льодовиковою акумуляцією. Тут відзначаються найвищі ділянки поверхні з відмітками 145-150 м з окремими пагорбами висотою до 160 м. В геологічній будові зони аерації приймають участь середньоплейстоценові відклади, що являють собою породи гляціального комплексу дніпровського заледеніння. Флювіогляціальні відклади представлені піщано-глинистими ґрунтами. Піски світло-сірі, жовтувато-сірі до бурих, мілко- і середньозернисті, із прошарками пилюватих. У товщі пісків на різних глибинах зафіксовані лінзи глинистих ґрунтів. Глинисті ґрунти представлені жовтувато-бурими супісками і суглинками. За даними Київського інституту інженерних вишукувань «Енергопроект» середньоплейстоценові відклади поділяються на декілька літологічних різновидів, характеристики яких наведені у таблиці 1. Потужність зони аерації коливається від 10,9 до 24 м, переважно 18-21м.

Таблиця 1. Узагальнена характеристика літологічних різновидів [2]

Ґрунти	Щільність сухого ґрунту, г/см <sup>3</sup>	Природна вологість, об'ємна доля	Пористість
Пісок мілкий, щільний, неоднорідний за гранулометричним складом, світло-сірий, жовтувато-сірий	1,72	0,06 – 0,20	0,35
Пісок пилюватий, щільний, неоднорідний за гранулометричним складом, світло-сірий, жовтувато-сірий	1,73	0,09 – 0,19	0,35
Супісок піщанистий, світло-бурий, жовтувато-бурий, місцями з прошарками піску	1,78	0,13-0,17	0,33
Суглинок легкий піщанистий, сірий, бурий, червонувато-коричневий, туго- та м'якопластичної консистенції	1,77	0,17	0,34
Пісок середньої крупності, щільний, однорідний за гранулометричним складом, жовтувато-сірий	1,73	0,04-0,18	0,35

В межах розвіданої глибини розташовані водоносні комплекси четвертинних відкладень та водний горизонт еоценових відкладень. Водоносний комплекс четвертинних відкладень розташований першим від поверхні і приурочений до середньоднорідних флювіологічних відкладень, а також підстилаючих їх нижньоседнево-четвертинних аллювіально-флювіогляціальних порід. Водовміщуючими є піски різного гранулометричного складу, переважно пильні та мелкозерністі з прошарками супісків і суглинків, аналогічні піщаним грунтам зони аерації.

Не підлягає сумніву, що основним природним чинником переносу радіонуклідів є вода, що може бути представлена у вигляді метеоопадів, вологи у ненасичених грунтах, підземних вод водонасичених горизонтів або ж поверхневих вод у випадку затоплення площадки. Нисхідна міграція радіонуклідів, тобто надходження радіонуклідів з поверхні у водоносний горизонт, в основному буде визначатися швидкістю руху води в зоні аерації і сорбційними властивостями водоненасичених грунтів.

Детально основні параметри нисхідної міграції радіонуклідів, характерної для піщаних грунтів ЧМГ, розглянуті у роботах [3-6], а їх числові значення, інтегровані з урахуванням парціальної долі розповсюдження у геологічних розрізах ЧМГ по даним щодо 24 свердловин (рис.2) кожного із вказаних в таблиці 1 літологічних різновидів, наведені у таблиці 2.

Таблиця 2. Значення параметрів нисхідної міграції для грунтів Чистогалівської моренної гряди

Параметр	Позначення	Величина
Потужність зони аерації	H, м	14
Потужність шару води, забрудненої РН	h, м	5
Інтегрований коефіцієнт розподілу в системі «вода – піщані ґрунти»	$K_d$ , дм <sup>3</sup> /кг	$K_d = 4,8$ <sup>90</sup> Sr $K_d = 246$ <sup>137</sup> Cs $K_d = 329$ <sup>239</sup> Pu
Інтегроване значення коефіцієнту затримки у зоні аерації	R	R = 66 <sup>90</sup> Sr R = 3320 <sup>137</sup> Cs R = 4450 <sup>239</sup> Pu
Інтегроване значення коефіцієнту затримки у насиченій зоні	R	R = 23 <sup>90</sup> Sr R = 1195 <sup>137</sup> Cs R = 1600 <sup>239</sup> Pu
Середньорічний фільтраційний потік [7]	$\epsilon$ , м/рік	0,2 (200 літрів/(м <sup>2</sup> рік))
Час нисхідної міграції, за який атмосферні опади з поверхні ґрунту досягнуть рівня ґрунтових вод	$T_{за}$ , роки	0,62
Час нисхідної міграції, за який РН з поверхні ґрунту досягнуть рівня ґрунтових вод	$T_{рн}$ , роки	T = 41 <sup>90</sup> Sr T = 2058 <sup>137</sup> Cs T = 2760 <sup>239</sup> Pu
Дійсна швидкість руху підземних вод в четвертинному водоносному комплексі в районі Чистогалівської моренної гряди [8]	u, м/рік	44
Інтегрований коефіцієнт фільтрації через ЗА [9,10]	$k_{\phi}$ , м/доб	1,63
Пористість піщаних ґрунтів	$n_e$	0,35
Середня вологість піщаних ґрунтів зони аерації	$n_0$	0,127
Щільність піщаних ґрунтів	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,72
Період напіврозпаду	$T_{1/2}$ , роки	29,1 <sup>90</sup> Sr 30 <sup>137</sup> Cs 24065 <sup>239</sup> Pu

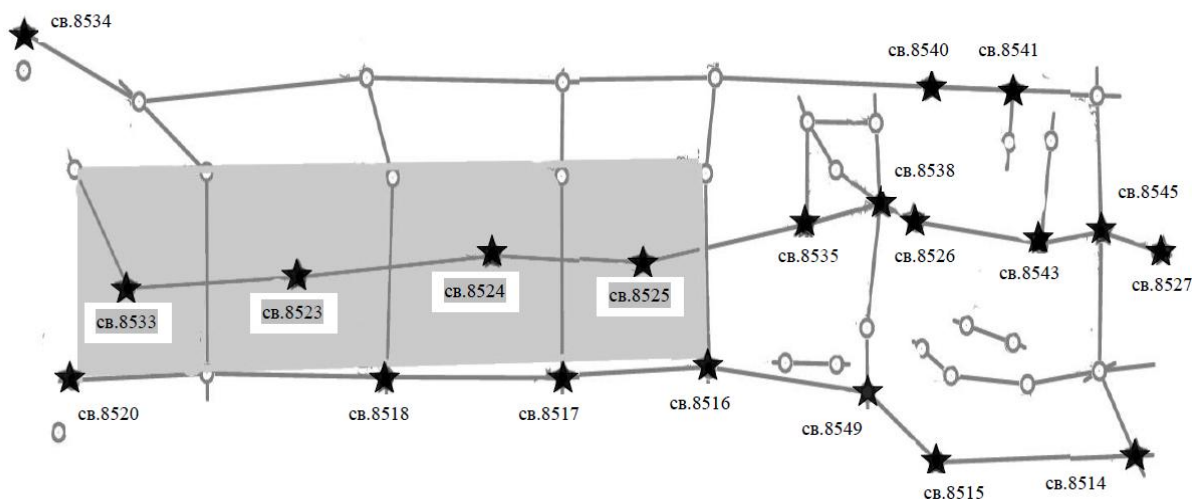


Рис. 2 Розташування свердловин на майданчику ЦСВЯП

○ - свердловини вище РГВ; ★ - свердловини, що досягають РГВ; ■ - площадка розташування контейнерів з ВЯП

Виходячи із зазначених параметрів, були розраховані можливі рівні поверхневого забруднення радіонуклідами території ЧМГ для досягнення заданного рівня забруднення підземних вод за умови, що РН знаходяться у водорозчинній формі і весь обсяг забруднення бере участь виключно у нисхідній міграції. Час нисхідної міграції, за який  $^{137}\text{Cs}$  з поверхні ґрунту досягне рівня ґрунтових вод складає майже 70 періодів напіврозпаду, що свідчить на користь висновку про захищеність верхнього водоносного горизонту у випадку забруднення радіоцезієм.

Для випадків міграції  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{239}\text{Pu}$ , коли час нисхідної міграції порівняний із періодом напіврозпаду, була прийнята додаткова консервативна умова щодо часткової десорбції радіонуклідів з ґрунтів зони аерації під впливом незабрудненого інфільтраційного потоку, тобто процес десорбції РН при фільтрації чистої води продовжуються весь час добігання полютанта до рівня ґрунтових вод  $T_{\text{PH}}$ , відповідні значення якого складає 41 рік для  $^{90}\text{Sr}$  і 2760 років для ізотопів плутонію.

На поточний час не існує реальних оцінок яка частина первісно сорбованих РН залишиться у фіксованій формі у піщаних ґрунтах після десорбції фільтраційним потоком протягом десятків або сотень років. В подальших розрахунках було прийнято, що коефіцієнт розподілу для ґрунтів зони аерації  $K_{d(za)}$  внаслідок десорбції становить половину значення, прийнятого для насиченої зони, тобто  $K_{d(za)} = 0,5 K_d$

В результаті відповідних розрахунків отримані наступні значення рівня поверхневого забруднення, які призводять до відповідного рівня питомої активності у 5-метровому шарі води верхнього водоносного горизонту в районі ЧМГ - таблиця 3.

Таблиця 3. Співвідношення рівнів поверхневого забруднення ґрунтів ЧМГ і об'ємного забруднення верхнього водоносного горизонту

Поверхнєве забруднення, Бк/м <sup>2</sup>		Питома активність у воді, Бк/дм <sup>3</sup>	
$^{90}\text{Sr}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{239}\text{Pu}$
4,2E5	7,3E5	1	0,1

Таким чином, наявні сорбційні властивості піщаних ґрунтів в районі Чистогалівської моренної гряди відіграють помітну роль у обмеженні міграції як легко рухливого  $^{90}\text{Sr}$ , так і довгоіснуючого  $^{239}\text{Pu}$ , причому основна кількість фіксованих радіонуклідів (60-70%), незважаючи на допущення про значну десорбцію, пов'язана саме із ґрунтами зони аерації.

Помітні захисні властивості ґрунтів зони аерації в районі Чистогалівської моренної гряди були відмічені раніше у роботах Є.О.Яковлева та Г.В.Лисиченка. На думку Є.О.Яковлева матеріали виконаних вишикувань і досліджень сорбційної здатності ґрунтів зони аерації свідчать про сприятливі умови для локалізації радіоактивних забруднень. Це обумовлено в першу чергу досить значною потужністю зони аерації, а також наявністю численних прошарків глинистих ґрунтів в піщаній товщі зони аерації, що утворюють ландшафтно-геохімічні бар'єри, які сповільнюють міграцію радіонуклідів [11]

Матеріали моделювання переносу радіонуклідів у підземному середовищі з майданчику комплексу "Вектор", виконані Г.В. Лисиченком [12], засвідчують про відносно сприятливі умови для локалізації радіоактивних забруднень. У першу чергу, це обумовлено достатньою потужністю зони аерації, а також наявністю прошарків суглинків або глин в товщі ґрунтів зони аерації, що утворюють геохімічні бар'єри, які добре зв'язують рухомі форми радіонуклідів. Зроблений висновок, що розміщення РАВ на майданчику комплексу "Вектор" фактично не зможе спричинити небезпечного впливу для р. Прип'ять у майбутньому, а геологічне середовище в його межах має достатньо високі захисні бар'єрні властивості для локалізації радіонуклідів.

Але усі ці висновки базуються на інформації експериментів, проведених за короткий період часу – так, наприклад згідно із вимогами чинного РД 306.4.098-2004 «Рекомендації щодо встановлення критеріїв приймання кондиційованих радіоактивних відходів на захоронення у приповерхневих сховищах» швидкість вилуговування радіонуклідів із стверджених РАВ визначається за ГОСТ 29114-91 «Отходы радиоактивные. Метод измерения химической устойчивости отвержденных радиоактивных отходов посредством длительного выщелачивания», де тривалість експерименту не перевищує декількох місяців. Експерименти з визначення коефіцієнтів розподілу зазвичай виконуються у статичних умовах для водонасичених систем максимум протягом кількох діб, те ж саме справедливе і для більшості експериментів з десорбції забруднювачів. Тому слід зважати, що існує значна невизначеність щодо використання отриманих таким чином даних для прогнозування довготривалої у десятки і сотні років міграції забруднювачів у ненасиченій зоні. Оскільки оцінка безпеки приповерхневих сховищ ґрунтується на прогнозних розрахунках згідно із моделями міграції радіонуклідів в елементах довкілля, головною задачею науково-дослідних і вишукувальних робіт має бути забезпечення моделей відповідними реалістичними параметрами, в першу чергу даними щодо процесів сорбції-десорбції відповідних забруднювачів в контексті довготривалості зазначених процесів.

Одночасно виникає невизначеність у застосуванні самого терміну «безпека приповерхневого сховища для захоронення радіоактивних відходів» з огляду на надання у найближчій час частині Зони відчуження, де розташовані сховища «Буряківка» і «Вектор», статусу території, навіки непридатної для проживання. Адже критерієм безпеки сховища РАВ наразі є не перевищення щорічної ефективної дози поточного опромінення  $0,01 \text{ мЗв рік}^{-1}$  для критичної групи населення і щорічної колективної ефективної дози поточного опромінення 1 людино-зіверт [13]. У разі відсутності населення зазначений критерій не може бути використаний, оскільки ця обставина виключає можливість реалізації будь-якого із "референтних сценаріїв опромінення", наведених у [13].

Таким чином, для зазначеної території слід ввести обґрунтований геохімічний параметр, застосування якого дало б змогу відслідковувати стан цілісності сховищ на етапі активного контролю, прогнозувати надходження техногенних радіонуклідів у підземний водоносний горизонт і їх подальшу міграцію впродовж 300 і більше років.

## **Висновки**

Розгляд результатів розрахунків щодо рівнів поверхневого забруднення у районі Чистогалівської моренної гряди, свідчить про наступне:

- Зазначена територія має значний потенціал забезпечення безпеки верхнього водоносного горизонту за рахунок сорбційних властивостей природних бар'єрів у

випадку, коли основним забруднювачем є  $^{137}\text{Cs}$ . Всі наведені оцінки можливого поверхневого забруднення  $^{137}\text{Cs}$  навіть з огляду на консервативні допущення набагато перевищують реальні рівні забруднення цим радіонуклідом ближньої зони Чорнобильської АЕС;

- для випадку розміщення у при поверхневих сховищах комплексу «Вектор» і ПЗРВ «Буряківка» радіоактивних відходів, які забруднені довгоживучим радіонуклідом  $^{239}\text{Pu}$ , розрахунок вказує на низьку ефективність природних бар'єрів, незважаючи на велике значення коефіцієнту розподілу  $K_d$  для зазначеного нукліда у системі «вода – піщані ґрунти». Це пов'язане як із високою радіотоксичністю  $^{239}\text{Pu}$  ( $DK_B^{ingest} = 1 \text{ Бк/л}$ ), так і незначним часом затримки у зоні аерації у порівнянні з періодом напіврозпаду, що становить 24065 років. Цей висновок має бути прийнятий до уваги при розробці критеріїв приймання кондиційованих РАВ на захоронення і при створенні системи інженерних бар'єрів збирання і локалізації забрудненого інфільтрату на майданчику комплексу «Вектор»;
- Покладання функції забезпечення безпеки захоронення виключно на залізобетонні споруди або контейнери з очікуваним строком експлуатації 300 років значно зменшує ефективність захоронення тих РАВ, які включають у себе радіонуклід  $^{90}\text{Sr}$ , що має високий міграційний потенціал. У випадку відсутності інженерних бар'єрів захисна сорбційна здатність геологічного середовища в районі Чистогалівської моренної гряди неспроможна гарантувати безпеку поверхневого розміщення на площадці комплексу «Вектор» більш як  $10^{12} \text{ Бк } ^{90}\text{Sr}$ , що явно недостатньо для приймання у сховища навіть експлуатаційних РАВ діючих АЕС;
- Оскільки оцінка безпеки приповерхневих сховищ ґрунтується на прогнозних розрахунках згідно із моделями міграції радіонуклідів в елементах довкілля, головною задачею науково-дослідних і вишукувальних робіт має бути забезпечення моделей відповідними реалістичними параметрами.

1. *Ольховик Ю.А.* Степень кондиционирования РАО АЭС для захоронения в поверхностных хранилищах // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист – 2013. – №6. – с. 115 – 118
2. Чернобыльская АЭС. Промышленный комплекс по обращению с твердыми радиоактивными отходами (ПКТРО) на территории «Вектор» (ЛОТ-3). Отчет по инженерно-геологическим изысканиям. КИИЗИ ЭП. Киев: 2002
3. *Ольховик Ю. О.* Оцінка сорбційної здатності піщаних ґрунтів ближньої зони ЧАЕС / Ю. О. Ольховик, Т. І. Коромисличенко, Л. І. Горогоцька, Е. В. Соботович // Доповіді Академії наук України. Математика, природознавство, технічні науки. — 1992. — № 7. — С. 167—171
4. *Ольховик Ю.А.* Естественный сорбционный барьер на этапе пассивного контроля площадки комплекса «Вектор» // Ядерная и радиационная безопасность. – 2015. – №3. – с. 43 – 48.
5. *Ольховик Ю.О.* Щодо захисних властивостей зони аерації майданчика комплексу «Вектор» // Ядерна енергетика та довкілля. – 2015. – №2(6). – с.66–70.
6. *Ольховик Ю.А.* Об учете неопределенности свойств инженерных барьеров при оценке долговременной безопасности поверхностного захоронения на комплексе «Вектор» // Сборник научных трудов Института геохимии окружающей среды №25, Киев-2016, с. 26-37
7. *Бугай Д. А.* Оценка водообмена подземных вод в ближней зоне ЧАЭС на основе данных изотопного датирования и гидрогеологического моделирования/ Д. А. Бугай, Д. А. Э. Фурре., П. Жан-Баптист, А. Дапоньи, Д. Бомьер, К. Ле Галь, Ж. Ланселот, А. С. Скальский, Н. Ван Меер// Геологический журнал. – 2010. – №4. – с. 119 – 124
8. Атлас Чорнобильської зони відчуження // Київ. – «Картографія». – 1996. – 26 с

9. Будівництво Централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива реакторів ВВЕР АЕС України. Науково-технічний звіт. Книга 2. Інженерно-геологічні роботи. Київський інститут інженерних вишукувань та досліджень «Енергопроект» – Київ. – 2015. – 96 с.
10. Инженерно-геологические изыскания для проекта строительства централизованного хранилища для долговременного хранения высокоактивных источников на КП "Вектор" в зоне отчуждения ЧАЭС. ЗАО "Черниговстройразведка". – Чернигов. – 2009. – 88 с
11. Шехтман Л. М. Оценка защитной способности от радиоактивных загрязнений геологической среды площадки комплекса «Вектор» в 30-километровой зоне ЧАЭС/ Л. М. Шехтман, В. Т. Баранов, Г. Ф. Нестеренко, Е. А. Кишинская, В. М. Черная, Е. А. Яковлев // Проблемы Чернобыльской зоны відчуження.– 1996. – №3. – с.143 –145.
12. Оцінка бар'єрних властивостей основних типів порід у зонах будівництва об'єктів поводження з РАВ. Звіт з НДР / ДНЦ РНС – Госпдоговор №13/215н-99; № ГР 0199U002148 – Київ, 1999. - 81 с.
13. Норми радіаційної безпеки України, доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). Затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України 12.07.2000 N 116.

#### **ОЛЬХОВИК Ю.А.**

#### **ОСОБЕННОСТИ НИСХОДЯЩЕЙ МИГРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ ЧИСТОГАЛОВСЬКОЙ МОРЕННОЙ ГРЯДЫ**

Выполнена оценка емкости песчаных почв Чистогаливской моренной гряды по отношению к некоторым техногенным радионуклидам в предположении, что климатические условия будут оставаться в таком состоянии, которое существует на текущее время и условия геосферы не претерпевают изменений. Нисходящая миграция радионуклидов, то есть поступление радионуклидов с поверхности в водоносный горизонт, определяется скоростью движения воды в зоне аэрации и сорбционными свойствами почв. Приведены числовые значения параметров миграции радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , интегрированные с учетом парциального вклада распространения литологических разновидностей грунтов по данным по 24 скважинам.

Указанная территория имеет значительный потенциал защиты верхнего водоносного горизонта за счет сорбционных свойств природных барьеров в случае, когда основным загрязнителем является  $^{137}\text{Cs}$ . Сорбционные свойства песчаных почв в районе Чистогаливской моренной гряды играют заметную роль в ограничении миграции как легкоподвижного  $^{90}\text{Sr}$ , так и долгоживущего  $^{239}\text{Pu}$ , однако этого недостаточно для исключения поступления упомянутых радионуклидов в верхний водоносный горизонт.

Ключевые слова: радионуклиды, инженерные и геологические барьеры, миграция, сорбция.

#### **OLKHOVYK Yu.**

#### **FEATURES OF DESCENDING MIGRATION OF TECHNOGENIC RADIONUCLIDS IN THE CHISTOGALOV MORAINNE RIDGE**

The estimation of the capacity of sandy soils of the Chistogalov moraine ridge in relation to some technogenic radionuclides is carried out on the assumption that the climatic conditions will remain in the state that exists at the present time, and the conditions of the geosphere will not change. The downward migration of radionuclides, that is, the intake of radionuclides from the surface in the aquifer, is determined by the velocity of water in the aeration zone and the sorption properties of the soils. The numerical values of migration parameters of radionuclides

$^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  are integrated, taking into account the partial distribution of lithological varieties of soils, according to data from 24 wells.

The said territory has a significant potential for protection of the upper aquifer through the sorption properties of natural barriers in the case when the main pollutant is  $^{137}\text{Cs}$ . Sorption properties of sandy soils in the Chistogalov moraine ridge play a prominent role in limiting the migration of both easily mobile  $^{90}\text{Sr}$  and long-lived  $^{239}\text{Pu}$ , but this is not enough to exclude the receipt of said radionuclides in the upper aquifer.

Key words: radionuclides, engineering and geological barriers, migration, sorption.