

УДК 504.47:546.95

С. Н. СЕРДЮК – канд.биол.наук, доцент, Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, dr.kosha@yandex.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТ МОЩНОГО СТАЦИОНАРНОГО ИСТОЧНИКА ТЕХНОГЕННОЙ ЭМИССИИ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНО ОРГАНИЗОВАННЫХ ИНДУСТРИАЛЬНО-УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. ДНЕПРОПЕТРОВСКА)

*Статья рекомендована к публикации д. т. н., проф. В. Д. Петренко (Украина),
д. физ.-мат.-н., с. н. с. О. В. Швецом (Украина)*

Важную роль во взаимодействии между загрязненным внутриоблачным, подоблачным слоем атмосферного воздуха и поверхностью суши играют атмосферные осадки. Именно они определяют перенос и седиментацию вредных веществ. Атмосферные осадки образуются в условиях природных дистилляционных процессов. Внутриоблачное загрязнение происходит в период образования облаков и формирования снежинок, а подоблачное загрязнение снежинок осуществляется за счет интенсивного контакта с воздушными массами уже насыщенными разнообразными примесями. Поэтому химический состав осадков отражает в концентрированном виде состава воздуха, с которым они контактируют. Следовательно, изучение микроэлементного состава снежного покрова дает надежную информацию о загрязнении воздушной среды теплоэнергетическими, металлургическими и прочими производствами и позволяет устанавливать уровни поступления техногенного вещества на единицу площади [1]. При этом снег обладает лучшей, чем дождевые воды, способностью захватывать атмосферный аэрозоль. По данным А. В. Дончевой и др. [2], снеговые осадки содержат в 1,5 – 4,0 раза больше тяжелых металлов, чем дождевые, при одинаковом количестве самих осадков. Поэтому, для изучения химической характеристики атмосфер-

ного воздуха, исследования динамики поступления загрязнителей с выделением степени их участи в совокупном процессе загрязнения, локализации зоны техногенного воздействия разнопрофильных предприятий и идентификации переноса загрязняющих веществ вполне приемлемо использовать снег [3]. Проводимые в полном объеме геохимические исследования состояния среды техногенно напряженных регионов будут способствовать принятию научно обоснованных управленческих решений по защите от загрязнения места обитания плотного сосредоточения людей и поддержании природного качества среды.

Город Днепропетровск – крупный промышленный центр Украины, на территории которого расположено более 200 промышленных предприятий и организаций различного профиля. Общее число источников выбросов составляет свыше 7388, из них организованных – 6682 (88,6 %). По данным областного управления статистики на 1 км² территории Днепропетровска приходится 392,3 т вредных веществ, представленных более чем 100 наименований [4]. Основу промышленного комплекса города составляют мощнейшие предприятия черной металлургии, машиностроения, химической промышленности, энергетики. Как следствие сложной экономической ситуации в Украине, пылегазоочистное оборудо-

вание на отдельных предприятиях морально устарело, физически изношено и работает неэффективно, поэтому их газопылевые выбросы существенны и содержат как сопутный компонент тяжелые металлы в значимых концентрациях (Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Fe, Ni, Mn). Вследствие рассредоточения предприятий по всему городу, можно предполагать, что практически вся территория Днепропетровска попадает в зону повышенного загрязнения воздушного бассейна в том числе и промышленными токсикантами 1,2 класса опасности – тяжелыми металлами.

Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды г.Днепропетровска проводилась на базе исследования в качестве тестового объекта снега, который на миграционном пути техногенных потоков тяжелых металлов является депонирующей средой. Данные исследования проводились с целью оценки остроты ситуаций экологического риска на территории города.

Правобережная часть города характеризуется наибольшим скоплением промышленных предприятий, непосредственно к территории которых примыкают жилые кварталы. Через указанный район проходят магистрали с интенсивным движением транспорта. Именно на данной территории и зарегистрированы самые высокие содержания тяжелых металлов в снеге. Основу *западной и южной групп заводов* составляют гиганты металлургической и химической промышленности Украины. Самые высокие значения содержания исследуемых ингредиентов в снежном покрове приурочены к крупным металлургическим предприятиям, на территории которых концентрации железа колеблются от 5971,4 мкг/л до 1699,2 мкг/л. Количество марганца в снеге варьируется от 513,81 мкг/л до 1821,16 мкг/л. Также велико содержание меди в отобранных пробах (от 840,87 мкг/л до 1063,39 мкг/л). В некоторых точках опробования концентрация цинка достигает до 945,0 мкг/л. Содержание никеля, в основном, составляет около 380,0 мкг/л. Кон-

центрация свинца достигает довольно больших значений (от 50,0 до 300,0 мкг/л) лишь в некоторых пунктах исследования, а концентрация кадмия, в целом, находится в пределах 1-2 мкг/л.

Несколько ниже содержание всех исследуемых тяжелых металлов в снеге отмечено на территории, прилегающей к предприятиям химической индустрии. Концентрация железа здесь не превышает 2000,0 мкг/л, марганца – 126,0 мкг/л, меди – 42,0 мкг/л, цинка – 450,0 мкг/л, никеля – 30,0 мкг/л. При этом необходимо отметить более высокое содержание в пробах снега кадмия (свыше 20,0 мкг/л), что связано с технологическими особенностями данного типа производств.

Практически на два порядка уменьшается содержание основных загрязнителей на территории зеленых зон города, расположенных на значительном удалении от каких-либо источников техногенной эмиссии.

В пределах *левобережной части* Днепропетровска можно проследить влияние наложения выбросов крупных промпредприятий, относящихся к *северо-восточной и северо-западной группам заводов*, и выхлопов автотранспорта самых нагруженных автомагистралей города. Содержание железа в пробах снега достигает практически 3000 мкг/л, марганца – 575,3 мкг/л, меди – 215,0 мкг/л, цинка – около 1400,0 мкг/л, никеля – около 180,0 мкг/л, свинца – свыше 225,0 мкг/л, кадмия - 2,5 мкг/л.

Восточная часть города (ж/м Приднепровск) характеризуется относительно низким уровнем загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами, поскольку выбросы размещенной здесь ПД ТЭС составляют относительно слаботоксичные загрязняющие вещества и осуществляются через высокие трубы.

К числу сравнительно загрязненных районов Днепропетровска относится *центральная часть города*, поскольку именно центральные районы загрязняются выбросами той или иной промзоны при любом направлении ветра: при западном – запад-

ной группы заводов, при северном – северо-восточной группы, при восточном – ПД ТЭС и т. д. Вблизи наиболее нагруженных автотрасс содержание железа в снеге достигает 3500,0 мкг/л, марганца и меди – до 250,0 мкг/л, цинка – около 150,0 мкг/л, никеля – до 30,0 мкг/л, свинца – до 25,0 мкг/л, кадмия – порядка 10,0 мкг/л [5].

Далее рассчитывались коэффициенты аномальных концентраций (превышение фактических концентраций по отношению к фоновым значениям). В качестве фоновых данных использовали содержание тяжелых металлов в пробах снега, отобранных на территории Днепроовско-Орельского заповедника, $\text{г} \times \text{г}^{-1} \times 10^{-6}$:

Fe – 877,35; Mn – 132,35; Cu – 69,97; Zn – 93,72; Ni – 42,65; Pb – 14,5; Cd – 1,4.

Результаты анализа аномальности содержания ТМ в снеге представим в виде рядов элементов по убыванию коэффициентов аномальных концентраций (цифровые индексы около символов элементов соответствуют значению этих коэффициентов) [6].

Наибольший уровень аномальности концентраций ассоциации элементов-загрязнителей установлен в пробах снега, отобранных на территории предприятий *металлургического профиля*, например:

НТЗ им. К. Либкнехта: $\text{Zn}_{14,7}\text{-Pb}_{13,7}\text{-Mn}_{7,4}\text{-Ni}_{4,65}\text{-Cu}_{3,8}\text{-Cd}_{1,8}$;

Завод им. Петровского: $\text{Mn}_{14,0}\text{-Pb}_{18,7}\text{-Zn}_{10,7}\text{-Ni}_{8,9}\text{-Cu}_{4,1}\text{-Cd}_{2,1}$;

Завод им. Ленина: $\text{Mn}_{11,4}\text{-Pb}_{9,6}\text{-Zn}_{7,05}\text{-Cu}_{6,6}\text{-Ni}_{3,4}\text{-Cd}_{1,6}$;

Завод металлоконструкций им. Бабушкина: $\text{Mn}_{12,4}\text{-Pb}_{11,0}\text{-Zn}_{6,1}\text{-Cu}_{3,6}\text{-Ni}_{3,3}\text{-Cd}_{2,2}$.

Несколько ниже уровень аномальности концентраций ассоциации элементов-загрязнителей установлен в пробах снега, отобранных на территории *машиностроительных предприятий*, например:

ЮМЗ: $\text{Mn}_{11,6}\text{-Pb}_{6,7}\text{-Zn}_{5,0}\text{-Ni}_{4,4}\text{-Cu}_{2,25}\text{-Cd}_{1,3}$;

ДЭВЗ: $\text{Mn}_{11,25}\text{-Pb}_{7,0}\text{-Zn}_{5,3}\text{-Ni}_{2,7}\text{-Cu}_{1,9}\text{-Cd}_{1,3}$;

Комбайновый завод: $\text{Mn}_{7,7}\text{-Ni}_{5,6}\text{-Zn}_{4,9}\text{-Pb}_{4,2}\text{-Cu}_{3,15}\text{-Cd}_{2,9}$.

Видоспецифична картина загрязнения снега поблизости предприятий *химической индустрии*, например:

ЛКЗ им. Ломоносова: $\text{Pb}_{10,8}\text{-Mn}_{7,8}\text{-Zn}_{6,2}\text{-Ni}_{3,1}\text{-Cu}_{1,95}\text{-Cd}_{2,1}$;

КХЗ им. Калинина: $\text{Mn}_{10,0}\text{-Pb}_{7,3}\text{-Zn}_{6,5}\text{-Ni}_{3,2}\text{-Cu}_{2,3}\text{-Cd}_{1,4}$.

Характерные черты полиэлементной аномалии, формирующейся в непосредственной близости от *теплоэнергетических предприятий* изучали на примере ПД ТЭС:

$\text{Pb}_{6,5}\text{-Mn}_{5,2}\text{-Zn}_{4,5}\text{-Ni}_{2,5}\text{-Cu}_{2,15}\text{-Cd}_{2,0}$.

Из приведенных выше данных видно, что конкретная величина нагрузки тяжелых металлов на окружающую территорию является функцией различных типов производств и зависит от индивидуальных черт того или много предприятия. В целом, геохимическая специфика загрязнения снега позволяет с достаточно высокой точностью определить вид промышленного производства, оценить количественный и качественный характер их эмиссий и дифференцировать территорию по остроте экологической ситуации.

В целом, описанная выше сложная и многоплановая геотехногенная обстановка на территории г. Днепропетровска, может быть объяснена особенностями его планировочной структуры, следствием которой является наложение выбросов промпредприятий на выхлопные газы автотранспорта практически при любом направлении ветра. Достаточно равномерное распределение высоких уровней концентрации металлов в атмосферных выпадениях корреляционно связано с их значительным содержанием в атмосферном воздухе и, в свою очередь, обуславливает загрязнение сопредельных сред, создавая условия для разнообразной цепи последующих биогеохимических накоплений.

Поэтому вопросы моделирования пространственного переноса и перераспределения тяжелых металлов в сложной геотехногенной обстановке индустриально-

урбанизованної території несомненно актуальні, а результати будуть востребовані, поскільки дають можливість заодно прогнозувати рівні можливого забруднення атмосферного повітря металами, виділяемими різними потужними стаціонарними джерелами і переносимі на значительні відстані, з урахуванням накладуваних природних і техногенних факторів. Все це набагато спрощує задачу моніторингу забруднення промислово-урбанізованої середовища важкими металами, робить можливим своєчасно запобігти як само перевищення нормативного забруднення повітря життєвих і рекреаційних зон, так і здійснити планову захист здоров'я населення.

Результати математичного моделювання просторового розподілу важких металів від потужного стаціонарного джерела техногенної емісії в умовах складноорганізованих промислово-урбанізованих територій

Науково обґрунтовано, що перенос техногенних емісій в атмосфері здійснюється вітровими потоками повітря з урахуванням їх невеликомасштабних флуктуацій за рахунок нестабільності метеорологічних факторів, рельєфних характеристик місцевості, специфіки міської забудови, озеленення і т.п. Осереднений потік емісій, переносимих повітряними масами, як правило, має адвективну і конвективну складові, а осереднені флуктуаційні їх рухи можна інтерпретувати як дифузію на фоні основного осередненого руху [7]. В даній роботі використана раніше розроблена і адаптована для умов міста Дніпропетровська модель переносу забруднених речовин (важких металів) від потужного стаціонарного джерела

техногенної емісії з урахуванням флуктуацій напрямків вітру [8].

Поскільки пріоритетним джерелом забруднення оточуючої природної середовища Дніпропетровська важкими металами є Дніпропетровський металургічний завод ім. Г. І. Петровського, в технологічних газопилових викидах якого постійно присутні Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Pb, він нами був прийнятий за початкову точку відліку.

Розглядався випадок, коли вітер довгий час дує в позитивному напрямку, потім змінює свій напрямок на протилежний. Крім того, прийнято, що x_i – відстань від джерела забруднення до місця проведення експерименту, а y_i – вміст металу в точці x_i , отриманий експериментально.

З використанням теоретичного рішення [8], що відображає залежність рівня забруднення снігового покриву важкими металами від відстані до стаціонарного джерела техногенної емісії, визначили вигляд функцій для розглянутих інгредієнтів по сторонам світа від Дніпропетровського металургічного заводу ім. Г. І. Петровського.

Вибіримо напрямки поширення емісій *захід – схід*. Крім того, позитивне приймемо спочатку західне напрямку, а за негативне – східне, а потім – навпаки. Отримані наступні функції, що описують поширення домішки

в західному напрямку:

$$\text{Fe: } \phi(x) = 1,01e^{(-6,32)x} + 1,35e^{(-8,38)x}$$

$$\text{Mn: } \phi(x) = 0,77e^{(-5,77)x} + 0,99e^{(-8,03)x}$$

$$\text{Cu: } \phi(x) = 0,004e^{(-2,8)x} + 0,005e^{(-2,9)x}$$

$$\text{Zn: } \phi(x) = 0,005e^{(-3,39)x} + 0,007e^{(-3,58)x}$$

$$\text{Ni: } \phi(x) = 0,003e^{(-2,83)x} + 0,004e^{(-2,98)x}$$

$$\text{Pb: } \phi(x) = 0,006e^{(-2,94)x} + 0,008e^{(-3,03)x}$$

в східному напрямку:

$$\begin{aligned} \text{Fe: } \phi(x) &= 1,01e^{(-8,38)x} + 1,35e^{(-6,32)x} \\ \text{Mn: } \phi(x) &= 0,77e^{(-8,03)x} + 0,99e^{(-5,77)x} \\ \text{Cu: } \phi(x) &= 0,004e^{(-2,92)x} + 0,005e^{(-2,8)x} \\ \text{Zn: } \phi(x) &= 0,005e^{(-3,58)x} + 0,007e^{(-3,39)x} \\ \text{Ni: } \phi(x) &= 0,003e^{(-2,98)x} + 0,004e^{(-2,84)x} \\ \text{Pb: } \phi(x) &= 0,006e^{(-3,03)x} + 0,008e^{(-2,94)x} \end{aligned}$$

Для направления распространения эмиссий *север – юг* за положительное направление примем сначала северное, а за отрицательное – южное, а затем – наоборот. Ниже приведем полученные функции, описывающие распространения примеси

в северном направлении:

$$\begin{aligned} \text{Fe: } \phi(x) &= 1,01e^{(-6,32)x} + 1,35e^{(-8,38)x} \\ \text{Mn: } \phi(x) &= 0,76e^{(-1,44)x} + 0,24e^{(-7,25)x} \\ \text{Cu: } \phi(x) &= 0,0001e^{(-1,08)x} + 0,00003e^{(-3,08)x} \\ \text{Zn: } \phi(x) &= 0,008e^{(-1,4)x} + 0,002e^{(-5,4)x} \\ \text{Ni: } \phi(x) &= 0,009e^{(-2,26)x} + 0,003e^{(-5,73)x} \\ \text{Pb: } \phi(x) &= 0,036e^{(-2,48)x} + 0,01e^{(-4,73)x} \end{aligned}$$

в южном направлении:

$$\begin{aligned} \text{Fe: } \phi(x) &= 1,01e^{(-8,38)x} + 1,35e^{(-6,32)x} \\ \text{Mn: } \phi(x) &= 0,76e^{(-7,25)x} + 0,24e^{(-1,44)x} \\ \text{Cu: } \phi(x) &= 0,0001e^{(-3,08)x} + 0,00003e^{(-1,08)x} \\ \text{Zn: } \phi(x) &= 0,008e^{(-5,4)x} + 0,002e^{(-1,4)x} \\ \text{Ni: } \phi(x) &= 0,009e^{(-5,73)x} + 0,003e^{(-2,26)x} \\ \text{Pb: } \phi(x) &= 0,04e^{(-4,73)x} + 0,01e^{(-2,48)x} \end{aligned}$$

Теперь за направление распространения эмиссий выберем *северо-запад – юго-восток*. Причем за положительное направление выберем сначала северо-западное, а за отрицательное – юго-восточное, а затем наоборот. Получены функции, описывающие распространения примеси

в северо-западном направлении:

$$\begin{aligned} \text{Fe: } \phi(x) &= 0,26e^{(-5,1)x} + 1,3e^{(-10,95)x} \\ \text{Mn: } \phi(x) &= 0,34e^{(-5,21)x} + 1,7e^{(-8,78)x} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cu: } \phi(x) &= 0,00006e^{(-2,06)x} + 0,0004e^{(-3,91)x} \\ \text{Zn: } \phi(x) &= 0,0025e^{(-3,24)x} + 0,013e^{(-5,43)x} \\ \text{Ni: } \phi(x) &= 0,00005e^{(-1,2)x} + 0,0002e^{(-2,1)x} \\ \text{Pb: } \phi(x) &= 0,0002e^{(-2,7)x} + 0,001e^{(-2,75)x} \end{aligned}$$

в юго-восточном направлении:

$$\begin{aligned} \text{Fe: } \phi(x) &= 0,26e^{(-10,95)x} + 1,3e^{(-5,1)x} \\ \text{Mn: } \phi(x) &= 0,34e^{(-8,8)x} + 1,7e^{(-5,21)x} \\ \text{Cu: } \phi(x) &= 0,00006e^{(-3,91)x} + 0,0004e^{(-2,06)x} \\ \text{Zn: } \phi(x) &= 0,003e^{(-5,43)x} + 0,01e^{(-3,24)x} \\ \text{Ni: } \phi(x) &= 0,00005e^{(-2,1)x} + 0,0002e^{(-1,2)x} \\ \text{Pb: } \phi(x) &= 0,0002e^{(-2,75)x} + 0,001e^{(-2,7)x} \end{aligned}$$

И наконец, за направление распространения эмиссий выберем *северо-восток – юго-запад*. Причем за положительное направление выберем сначала северо-восточное, а за отрицательное – юго-западное, а затем наоборот. Ниже приведем полученные функции, описывающие распространения примеси

в северо-восточном направлении:

$$\begin{aligned} \text{Fe: } \phi(x) &= 2,67e^{(-4,07)x} + 0,33e^{(-10,2)x} \\ \text{Mn: } \phi(x) &= 1,95e^{(-3,21)x} + 0,25e^{(-7,41)x} \\ \text{Cu: } \phi(x) &= 0,09e^{(-2,38)x} + 0,12e^{(-4,38)x} \\ \text{Zn: } \phi(x) &= 1,78e^{(-3,04)x} + 0,22e^{(-5,13)x} \\ \text{Ni: } \phi(x) &= 1,21e^{(-2,1)x} + 0,15e^{(-4,12)x} \\ \text{Pb: } \phi(x) &= 1,25e^{(-2,28)x} + 0,16e^{(-4,3)x} \end{aligned}$$

в юго-западном направлении:

$$\begin{aligned} \text{Fe: } \phi(x) &= 2,68e^{(-10,2)x} + 0,33e^{(-4,07)x} \\ \text{Mn: } \phi(x) &= 1,95e^{(-7,41)x} + 0,25e^{(-3,21)x} \\ \text{Cu: } \phi(x) &= 0,09e^{(-4,38)x} + 0,12e^{(-2,38)x} \\ \text{Zn: } \phi(x) &= 1,78e^{(-5,12)x} + 0,22e^{(-3,04)x} \\ \text{Ni: } \phi(x) &= 1,21e^{(-4,12)x} + 0,15e^{(-2,1)x} \\ \text{Pb: } \phi(x) &= 1,25e^{(-4,3)x} + 0,16e^{(-2,28)x} \end{aligned}$$

Выводы

1. Разработана адаптированная для реальной геотехногенной обстановки модель и получены функции распространения тяжелых металлов от мощного стационарного источника техногенной эмиссии с учетом стран света.
2. Сопоставляя полученные экспериментально и расчетным путем данные, можно сделать вывод, что наблюдается хорошая результатов в пределах ошибки измерения (δ менее 5%).
3. Полученный закон распространения эмиссий от мощного стационарного источника выбросов можно использовать для предварительной оценки возможных областей распространения тяжелых металлов в заданной географической обстановке. Все это минимизирует материальные вложения и затраты времени при мониторинговых исследованиях загрязнения индустриально-урбанизированных территорий тяжелыми металлами.

Библиографический список

1. Пелипещ, М. В. Сніговий покрив як індикатор стану довкілля [Текст] / М. В. Пелипещ, В. Г. Гаєвський // Матеріали міжнародної науково-практичної конф. «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки». – Д.: – 2001. – С. 189-190.
2. Дончева, А. В. Экология и отрасли промышленности (природный аспект) [Текст] / А. В. Дончева, Л. К. Казаков, В. Н. Калуцков // Природные ресурсы и окружающая среда: Достижения и перспективы. – М., 1979. – № 7. – С. 46-59.
3. Геохимия окружающей среды [Текст] / Ю. Е. Саг, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
4. Проблемы урбоэкологии [Текст] / Л. Г. Чесанов, А. Г. Шапарь, А. И. Кораблева, В. Л. Чесанов, Н. П. Мороз/ Под ред. А. Г. Шапаря –

- Дніпропетровськ: “Поліграфіст”, 2001. – 159 с.
5. Сердюк, С. Н. Мониторинг загрязнения городской среды тяжелыми металлами, содержащимися в промышленных выбросах (на примере г. Днепропетровска) [Текст] / С. Н. Сердюк, Г. В. Пасечный // Матеріали молодіжної наук. конф. „Окружающая среда – XXI”. – Дніпропетровськ, – 2002. – Ч. II. – С. 87–89. – Рос.–Деп. в ДНТБ України 02.06.03., №77-Ук 2003.
 6. Сердюк, С. Н. Характерные черты локализации тяжелых металлов в снежном покрове промышленных узлов г. Днепропетровска [Текст] / С. Н. Сердюк // Матеріали Міжнар. наук. конф. «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів» - Дніпропетровськ, 2005. – С. 208-210.
 7. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: «Наука», 1982. – С. 9–31.
 8. Рубан, В. И. Моделирование пространственного распространения тяжелых металлов от стационарного источника техногенной эмиссии [Текст] / В. И. Рубан, С. Н. Сердюк // Матеріали 1-й Междунар. геоэкологической конф. «Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами» – Тула, 2003. – С. 503-511.

Ключові слова: джерело техногенної емісії, забруднення, математична модель, важкі метали.

Ключевые слова: источник техногенной эмиссии, загрязнение, математическая модель, тяжелые металлы.

Keywords: source of technogenic issue, pollution, mathematic model, heavy metals.

Поступила в редколлегию 12.09.2014
Принята к печати 16.10.2014