

МУТАЦИОННЫЕ СПЕКТРЫ У НЕОБЛУЧЕННЫХ И ОБЛУЧЕННЫХ ДЕТЕЙ И ПОТОМКОВ ОБЛУЧЕННЫХ РОДИТЕЛЕЙ (ВТОРОЕ ПОКОЛЕНИЕ) В СВЯЗИ С АВАРИЕЙ НА ЧАЭС (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

В статье рассмотрены вопросы спонтанного уровня хромосомных aberrаций и частот их встречаемости у детей, проживающих в экологически чистом регионе и детей, облученных внутриутробно или проживающих на загрязненных радионуклидами территориях в связи с аварией на ЧАЭС. У облученных детей представлена характеристика вовлечения индивидуальных хромосом в цитогенетические аномалии, проведена оценка участия анеуплоидии различных хромосом. Отдельно уделено внимание частоте aberrаций хромосом у детей, проживающих на загрязненных радионуклидами территории в зоне йодного дефицита и зобной эндемии, и тех, кто страдает хроническим тиреоидитом. Рассмотрена также хромосомная нестабильность у потомков облученных родителей, т.е. у детей второго поколения.

Ключевые слова: хромосомные aberrации, хромосомная нестабильность, цитогенетические аномалии, облучение.

У статті розглянуто питання спонтанного рівня хромосомних aberrацій і частот їхньої зустрічальності у дітей, що проживають в екологічно чистому регіоні, й дітей, опромінених внутрішньоутробно або тих, які проживають на забруднених радіонуклідами територіях, у зв'язку з аварією на ЧАЕС. Подано характеристику залучення індивідуальних хромосом у цитогенетичні аномалії у опромінених дітей, проведено оцінку участі анеуплоїдії різних хромосом. Окремо приділено увагу частоті aberrацій хромосом у дітей, що проживають на забруднених радіонуклідами територіях, у зоні йодного дефіциту і зобної ендемії, і тих, хто страждає хронічним тиреоїдитом. Розглянуто також хромосомну нестабільність у нащадків опромінених батьків, тобто у дітей другого покоління.

Ключові слова: хромосомні aberrації, хромосомна нестабільність, цитогенетичні аномалії, опромінення.

In article questions of the spontaneous level of chromosomal aberrations and the frequency of their occurrence in children living in a green area and children exposed in utero or living in the contaminated territories in connection with the accident at Chernobyl. The exposed children with the characteristics of involved of individual chromosomes in cytogenetic abnormalities, assessment of participation of different chromosome aneuploidy. Separately paid attention to the frequency of chromosomal aberrations in children living in contaminated territories in the area of iodine deficiency and endemic goiter, and those., Who suffers from chronic thyroiditis. We also consider the chromosome instability in the offspring of irradiated parents, ie the children of the second generation.

Key words: chromosome aberrations, chromosome instability, cytogenetic abnormalities, radiation.

В цитогенетике человека в связи с увеличением техногенного загрязнения все большее значение приобретает изучение хромосомных и геномных мутаций. Их возникновение связывают с влиянием

таких факторов окружающей среды, как радиация и химические вещества [1]. Очевидно, что для оценки того, связано ли появление цитогенетических аномалий собственно с их индукцией или является

показателем общей дестабилизации генетического материала, необходимо изучение индивидуальной, внутригрупповой изменчивости по комплексу цитогенетических характеристик. С этой целью в настоящем обзоре рассмотрена частота встречаемости стабильных и нестабильных aberrаций, которая проанализирована на основании сравнительной оценки вовлечения индивидуальных хромосом в aberrации и в анеуплоидию у обычных детей в популяции, у детей, получивших внутриутробное или постнатальное внешнее облучение, в том числе на щитовидную железу (ЩЖ), а также детей, подвергающихся хроническому действию низкодозового ионизирующего излучения в связи с постоянным проживанием на загрязненных радионуклидами территориях вследствие аварии на ЧАЭС.

Спонтанный уровень хромосомных aberrаций у детей, проживающих в экологически чистом регионе без тиреоидной патологии

Несмотря на размах индивидуальной изменчивости, в настоящее время средний спонтанный уровень хромосомных aberrаций, выявляемых методами рутинного окрашивания у людей, оценивается как 0,021 [2]. Принято считать, что, в среднем, у человека частота спонтанных цитогенетических дефектов не превышает 0,03 [3]. В работе [4] приводятся уровни спонтанных хромосомных aberrаций у детей 12-16 лет из экологически чистого региона Украины, которые установлены при цитогенетическом анализе равномерно и дифференцированно окрашенных метафазных хромосом.

При равномерном окрашивании препаратов установлено соответствие выявленного цитогенетического эффекта возрастным показателям спонтанного хромосомного мутагенеза: среднегрупповая частота aberrантных клеток и aberrаций хромосом составила $1,20 \pm 0,09$ и $1,25 \pm 0,10$ % на 100 метафаз, соответственно; ни в одном случае уровень метафаз с aberrациями не превышал 2 % и колебался от 0,40 до 1,80 %; на одну aberrантную метафазу приходилось 1,04 aberrации; практически у всех обследованных встречались лишь простые aberrации хроматидного и хромосомного типа (одиночные и парные ацентричные фрагменты), только в одном случае выявлена транслокальная хромосома (аномальный моноцентрик), но частота стабильных aberrаций по группе в среднем ($0,01 \pm 0,01$ на 100 клеток) не превышала соответствующий среднепопуляционный показатель; соотношение между aberrациями хроматидного и хромосомного типов равнялось 2:1.

При анализе дифференцированно G-окрашенных хромосом среднегрупповая частота aberrантных метафаз и общий уровень aberrаций составили $1,64 \pm 0,29$ (с размахом индивидуальных колебаний от 0 до 3 %) и $1,74 \pm 0,30$ %, соответственно; на одну aberrантную клетку приходилось 1,06 хромосомных нарушений, что не отличалось от показателей, полученных при традиционном цитогенетическом анализе. Вместе с тем существенно изменился спектр

и соотношение aberrаций: повысилась частота aberrаций хромосомного типа, которые составили 72 % всех повреждений хромосом и были представлены терминальными и интерстициальными делециями ($0,87 \pm 0,21$), транслокациями и инверсиями ($0,26 \pm 0,11$) и дицентриками ($0,05 \pm 0,05$). Среднегрупповые частоты отдельных типов хромосомных aberrаций превышали данные, полученные при анализе равномерно окрашенных хромосом, но соответствовали возрастной норме.

Следовательно, у детей в возрасте 12-16 лет, которые родились после аварии на ЧАЭС и проживали в чистом регионе Львовской области (отсутствие радионуклидного загрязнения) не выявлено отклонений в спонтанном хромосомном мутагенезе для этой возрастной категории.

Частоты встречаемости хромосомных aberrаций у детей, облученных in utero, и детей, постоянно проживающих на загрязненных радионуклидами территориях

Анализ частот встречаемости цитогенетических аномалий (с применением дифференциального G-окрашивания) в клетках периферической крови проведен у детей, родившихся от беременных на момент аварии женщин, которых эвакуировали из г. Припяти. Возраст детей во время обследования составлял 14-15 лет [5; 6]. Согласно данным лаборатории косвенных и расчетных методов дозиметрии ННЦРМ НАМН Украины, крайние величины доз общего облучения плода у беременных женщин находились в диапазоне от 5 до 376 мЗв [7], составляя в среднем $31,87 \pm 14,46$ мЗв [8]. Гестационный возраст плода на момент аварии составлял: до 7 недель у 4,3 % случаев, 8-15 недель – 9,9 %; 16-25 недель – 41,5 %; более 25 недель – 44,3 %. Дозовые нагрузки на щитовидную железу плода колебались от 0,0 до 334,0 сГр. В зависимости от гестационного возраста средние дозы на щитовидную железу плода составили: до 8 недель – 0,0 сГр; от 8 до 15 недель – 31,1 сГр; от 16 до 25 недель – 84,5 сГр; более 25 недель – 62,3 сГр. Суммарные эквивалентные дозы облучения тимуса и красного костного мозга плода в группе колебались от 1,0 до 30 сЗв [9].

Вторую группу составили дети, которые постоянно проживают на территориях, загрязненных радионуклидами (пгт Народичи, г. Овруч Житомирской области). Среднегодовые паспортные дозы от внешнего и внутреннего облучения для этих населенных пунктов равнялись 1,5 и 0,77 мЗв, соответственно [10].

Цитогенетический анализ показал, что разные типы хромосомных aberrаций в среднем на одного ребенка встречаются чаще у детей, облученных in utero ($2,5 \pm 0,4$ %), чем у постоянно проживающих на загрязненных радионуклидами территориях ($1,3 \pm 0,4$ %). В общем можно отметить наличие определенной тенденции к увеличению частот встречаемости разных хромосомных aberrаций в соматических клетках у детей, облученных in utero.

Следует отметить, что дицентрики и кольцевые хромосомы традиционно принято рассматривать как «лучевые маркеры». Предполагается, что именно увеличение частот их встречаемости наиболее объективно отражает величину дозы облучения, полученную индивидуумом, в связи с чем они широко используются с целью ретроспективной реконструкции полученных доз [3].

Частота встречаемости нестабильных хромосомных aberrаций (дицентрики, кольцевые хромосомы, парные и одиночные фрагменты) в рассматриваемых группах детей довольно низкая и мало отличалась между собой; у детей, проживающих на загрязненных радионуклидами территориях, при рассмотренном количестве метафаз кольцевые хромосомы даже не обнаруживались. Однако, стабильные маркеры, такие как транслокации, инверсии, инсерции в группе детей, облученных *in utero*, суммарно выявлялись в 3 раза чаще, чем у жителей контаминированных регионов. Следовательно при остром внутриутробном облучении у детей в большей степени накапливаются стабильные цитогенетические эффекты, нежели нестабильные хромосомные аномалии. Анализ различных типов хромосомных перестроек (т. е. гетерогенности хромосомных аномалий) в обеих группах показал, что более распространенными из них в порядке убывания являются делеции, реципрокные транслокации, инверсии и инсерции.

Характеристика вовлечения индивидуальных хромосом в цитогенетические аномалии у детей, облученных *in utero* и детей, постоянно проживающих на загрязненных радионуклидами территориях

В выявленных цитогенетических аномалиях клеток периферической крови в группах обследованных детей суммарно участвовали 19 из 22 аутосом кариотипа человека. У детей, облученных *in utero* и несущих хромосомные аномалии различных типов, в клетках периферической крови вовлекается большинство хромосом, за исключением 19, 20, 21 (группы F, G). Наиболее часто обнаруживаются повреждения 2-ой хромосомы (16,6 % всех случаев), 1-ой (14,2 %) (группа А), 13-ой (14,2 %) и 15-ой (6,5 %) (группа D), которые вместе составляют более 50 % от всех обнаруженных хромосомных aberrаций. У одного из обследованных выявлен клон с делецией 13-ой хромосомы (16 клеток из 200).

Практически у всех детей из группы проживающих на загрязненных радионуклидами территориях вовлечение отдельных хромосом соответствовало распределению, при котором вероятность участия каждой из них была приблизительно одинаковой, за исключением тех же трех хромосом (19, 20, 21), а также 13-ой и 17-ой. Преимущественно вовлекаются во внутри- и межхромосомные повреждения хромосомы 3 (9,5 %), 14 (9,5 %), и 16 (9,5 %), то есть хромосомы, принадлежащие к тем же группам (А, D, E), что и у детей, облученных *in utero*.

Таким образом, в общем, частота участия хромосом во внутривхромосомных повреждениях в

определенной степени ассоциируется с количеством в них ДНК (длиной хромосом), однако это не является строгим правилом для всех хромосом.

Оценка участия анеуплоидии различных хромосом у детей, облученных *in utero*, и детей, постоянно проживающих на загрязненных радионуклидами территориях

Статистически достоверные различия по частотам встречаемости анеуплоидных клеток между детьми, облученными *in utero* (0,073) и постоянно проживающими на загрязненных радионуклидами территориях (0,063), отсутствуют. В соматических клетках наблюдается широкий размах колебаний частоты спонтанного уровня анеуплоидии. В культуре лимфоцитов периферической крови человека частота гиперплоидных клеток колеблется от 0,4 до 4,5 %, гипоплоидных – от 2,1 до 12,8 % [11]. В условиях воздействия хронического низкоинтенсивного облучения не выявлено существенного увеличения уровня гипер- и гипоплоидных клеток, причем суммарное количество гиперплоидных клеток у детей, облученных *in utero*, составило 0,2 %, а у проживающих на загрязненных радионуклидами территориях – 0,1 %.

Вовлекаемость отдельных хромосом в анеуплоидию характеризуется значительной изменчивостью. При суммировании всех просмотренных метафаз у детей, облученных внутриутробно, была обнаружена потеря 156 хромосом. Из них реже всего «терялись» хромосомы из группы А. Выявлена тенденция к более частому вовлечению в анеуплоидию хромосомы 18 и хромосом мелкого калибра. Тем не менее, в целом наблюдаются выраженные индивидуальные отличия по равновероятной и преимущественной утрате отдельных хромосом между обследованными детьми.

Анализ анеуплоидии во всех суммарно просмотренных метафазах у детей, постоянно проживающих на загрязненных радионуклидами территориях, позволил обнаружить потерю 122 хромосом, из которых реже утрачивались также хромосомы из группы А. У двух индивидуумов анеуплоидные клетки не были обнаружены. В обобщенном виде отмечена тенденция вовлечения хромосом в эту цитогенетическую аномалию в зависимости от их размера – большие хромосомы утрачиваются реже, но это не является правилом: у некоторых детей частоты утрачиваемости хромосом промежуточного и маленького размеров оказались сходными между собой. Эти данные позволяют предполагать, что утрата хромосом только частично ассоциируется с их размером и контролируется какими-то дополнительными неизвестными факторами.

Частота aberrаций хромосом у детей, проживающих на загрязненной радионуклидами территории в зоне зубной эндемии

Заслуживают внимания результаты классического цитогенетического исследования нескольких (шести) групп детей, жителей с. Старое село Рокитновского района Ровенской области, которые находились на комплексном обследовании в отделении детской

эндокринологии ННЦРМ НАМН Украины. Все группы детей находились в одинаковых условиях постоянной йодной недостаточности, сочетающейся с неблагоприятной радиоэкологией, но отличались между собой наличием или отсутствием патологии ЩЖ (хронический тиреоидит, риск его возникновения, клиническая норма) и воздействием на нее короткоживущих изотопов йода в 1986 году [12, 13].

Установлено, что по усредненным интегральным цитогенетическим показателям обследованные группы детей достоверно не отличались между собой. Во всех группах доминировали простые аберрации (ацентрики) преимущественно хроматидного типа, что характерно для спонтанного соматического хромосомного мутагенеза и может быть доказательством идентичности экологической ситуации. Среднегрупповые частоты нестабильных хромосомных аберраций также соответствовали возрастной норме, что свидетельствует об отсутствии конкретного вклада постчернобыльского облучения в цитогенетически значимой дозе. Авторы полагают, что стабильные аберрации, которые выявлялись во всех группах с разной средней частотой и у некоторых индивидов имели повышенный уровень, могут рассматриваться как биомаркеры отдаленного острого облучения в группах детей, которые подверглись «йодному удару» в 1986 г. и биоиндикатором трансмиссивной хромосомной нестабильности или хронического радиационного воздействия малой интенсивности в группах детей, которые родились от облученных родителей и продолжают жить на контаминированной радиоцезием территории.

Частота хромосомных аберраций у детей с хроническим тиреоидитом, рожденных до и после аварии на ЧАЭС

У больных хроническим тиреоидитом, которые в раннем детстве подверглись воздействию радиоактивного йода, суммарная частота транслокаций и инверсий составила $1,36 \pm 0,41$ и на порядок (достоверно) превышала уровень этих повреждений в группе сравнения. Принимая во внимание отсутствие статистического отличия частоты симметричных хромосомных обменов ($0,24 \pm 0,17$) у детей с патологией ЩЖ, рожденных после аварии, от показателей у лиц контрольной группы соответствующего возраста, авторы предполагают, что действие радиоактивного йода в раннем детском возрасте на фоне йодной эндемии способствовало увеличению нестабильности генома у обследованных, повышению его чувствительности к действию радиоизотопов цезия и реализации патологического процесса в ЩЖ. В более обобщенном виде на цитогенетическом уровне это отразилось в росте частоты аберраций хромосомного типа и среднегрупповых уровнях аберраций хромосом и абберрантных клеток у лиц с патологией ЩЖ, которые пострадали в связи с аварией на ЧАЭС, в сравнении с результатами, полученными при обследовании больных хроническим тиреоидитом, не подвергшихся действию радиоактивного йода. Учитывая отсутствие различий

цитогенетических показателей между группами подростков без тиреоидной патологии, рожденных до и после аварии, можно думать, что влияние облучения радиоактивным йодом зависело от индивидуальной радиочувствительности организма, состояния ЩЖ, особенностей поведения и питания в ближайший послеварийный период [14; 14; 16].

Хромосомная нестабильность у детей облученных родителей в связи с аварией на ЧАЭС

Для выявления генетической нестабильности у их потомков было использовано дополнительное воздействие ионизирующей радиацией на лимфоциты детей облученных родителей *in vitro* [18]. В данной работе оценивалась радиочувствительность хромосом лимфоцитов детей ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС и детей необлученных родителей. Облучалась их кровь в дозе 150 cГр (1,5 Гр) γ -излучения, которая затем культивировалась в стандартных условиях, и на метафазных препаратах лимфоцитов оценивалась частота индуцированных хромосомных аберраций. Она была существенно выше в группе детей ликвидаторов. Спонтанный мутагенез в необлученных лимфоцитах у них также превышал норму, в основном, за счет одиночных фрагментов. Внутрисемейное сравнение радиочувствительности лимфоцитов у детей, рожденных до и после работы отца на ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, обнаружило повышенную частоту индуцированных хромосомных аберраций в лимфоцитах детей от облученных родителей.

На цитогенетическом уровне, кроме *задержанной* и *трансмиссивной* хромосомной нестабильности, важную роль в дестабилизации генома человека играет *скрытая* хромосомная нестабильность, которая проявляется повышением чувствительности хромосом соматических клеток облученных лиц к действию других мутагенов как *in vivo*, так и *in vitro* [19]. Сравнение результатов цитогенетического обследования детей в зависимости от специфики облучения родителей относительно контрольной группы (дети, рожденные от необлученных родителей, которые проживали в благоприятных в радиационном отношении экологических условиях) выявило существенное ускорение темпов спонтанного хромосомного мутагенеза в группе детей, которые родились от облученных родителей («йодный удар») и продолжающих проживать на загрязненных радионуклидами территориях [17]. Авторы не исключают, что жительство на контаминированной радионуклидами ^{137,134}Cs местности могло способствовать дестабилизации генома в качестве модифицирующего фактора, который повышает чувствительность хромосом соматических клеток к другим мутагенным агентам.

Повышение уровня обменных аберраций хромосомного типа – стабильных (аномальные моноцентрики) и нестабильных (центричные кольца) указывает как на реальность трансгенерационного феномена хромосомной нестабильности у потомков участников ликвидации последствий аварии, так и на дестабилизацию генома у детей, рожденных от жителей радиационно-загрязненных территорий.

ЛІТЕРАТУРА

1. Севаньякаев А. В. Некоторые итоги генетических исследований в связи с оценкой последствий Чернобыльской аварии / А. В. Севаньякаев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2000. – Т. 40, № 5. – С. 589–595.
2. Бочков Н. П. База данных для анализа количественных характеристик частоты хромосомных aberrаций в культуре лимфоцитов периферической крови человека / Н. П. Бочков, А. Н. Чеботарев, Л. Д. Катосова // Генетика. – 2001. – Т. 37, № 4. – С. 549–557.
3. Anderson D. A. Chromosome aberration (CA), sister-chromatid (SCE) and mutagen-induced blastogenesis in cultured peripheral lymphocytes from 48 control individuals sampled 8 times over 2 years / [Anderson D. A., Francis A. J., Godbert P. et al.] // Mutat. Res. – 1991. – Vol. 286. – P. 181–188.
4. Рівень спонтанних хромосомних аберацій у дітей з екологічно чистого регіону України, встановлений при цитогенетичному аналізі рівномірної та диференційно забарвлених метафазних хромосом / [М. А. Пілінська, С. С. Дибський, О. В. Шеметун, О. О. Талан] // Цитолог.
5. Хронические низкодозовые воздействия ионизирующего облучения как индуктор цитогенетических аномалий / [О. А. Ковалева, В. В. Настюкова, Е. В. Баронова, Т. Т. Глазко] // Гигиена населенных мест. – Киев, 2000. – Вып. 36. – С. 99–104.
6. Настюкова В. В. Хромосомные аномалии у детей, подвергшихся воздействию малых доз ионизирующей радиации / В. В. Настюкова, Е. И. Степанова, В. И. Глазко // Допов. НАН України. – 2002. – № 11. – С. 178–183.
7. Оценка последствий внутриутробного облучения [Степанова Е. И., Кондратова В. Г., Галичанская Т. Я. и др.] // Медицинские последствия аварии на ЧАЭС. «Медкол» МНИЦ БИО-ЭКОС, 1999. – Т. 2. – С. 16–23.
8. Нягу А. И. Нейропсихическое здоровье облученных детей вследствие Чернобыльской катастрофы / А. И. Нягу, Т. К. Логановская, К. Н. Логановский // Укр. мед. часопис. – 2000. – Т. 16, № 2. – С. 105–112.
9. Степанова Е. И. Постнатальные эффекты опроминения плода / Е. И. Степанова, В. Ю. Вдовенко, Ж. А. Мишарина // Матер. наук.-практ. конф. – Київ, 2001. – С. 113–114.
10. Дозиметрическая паспортизация населенных пунктов Украины, подвергшихся радиоактивному загрязнению после Чернобыльской аварии. – Киев, 1995. – Т. 5. – С. 312.
11. Ильинских Н. Н. Инфекционный мутагенез / Н. Н. Ильинских, Е. Ф. Бочаров, И. Н. Ильинских. – Новосибирск : Наука. – 1984. – 168 с.
12. Результати цитогенетичного обстеження дітей, які мешкають на контамінованій радіонуклідами території зони зобної ендемії Рівненської області України / [М. А. Пілінська, С. С. Дибський, О. Б. Дибська, Л. Р. Педан] // Цитология и генетика. – 2003. – Т. 37, № 3. – С. 55–60.
13. Шеметун О. В. Частота абераций хромосом у дітей з хронічним тиреоїдитом, народжених до та після аварії на ЧАЕС / О. В. Шеметун, О. О. Талан, М. А. Пілінська // Цитология и генетика. – 2004. – Т. 38, № 4. – С. 15–20.
14. Степанова Е. И. Цитогенетические эффекты в лимфоцитах периферической крови детей в отдаленный период после пренатального облучения / Е. И. Степанова, Ж. А. Мишарина // Междунар. журн. радиационной медицины. – 2001. – Т. 3, № 3/4. – С. 118–122.
15. Hereditary effects of radiation. United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly. – New York, 2001. – P. 74–77.
16. Цитогенетическое обследование различных групп детей, проживающих в районах Брянской области, загрязненной в результате Чернобыльской аварии / [Е. К. Хандогина, В. А. Алейкин, С. В. Зверева и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1995. – Т. 35, № 5. – С. 618–625.
17. Пілінська М. А. Цитогенетичні ефекти. Медичні наслідки Чорнобильської катастрофи: 1986–2011 / М. А. Пілінська, С. С. Дибський, О. В. Шеметун / за ред. А. М. Сердюка, В. Г. Бебешка, Д. А. Базики. – Тернопіль : ТДМУ «Укрмедкнига», 2011. – С. 248–269.
18. Воробцова И. Е. Хромосомная нестабильность у детей облученных родителей / И. Е. Воробцова, Ю. В. Гусева // В сб. «Здоровье детей и радиация: актуальные проблемы и решения». – Москва, 2006. – Вып. 2. – С. 119–123.
19. Adema A. Comparison of bleomycin and radiation in G assay of chromatid breaks / A. Adema, G. Closs, R. Verheijen et al. // Int. J. Radiat. Biol. – 2003. – Vol. 79, № 8. – P. 655–661.

Рецензенты: Талько В. В., д.м.н., профессор;
Мечев Д. С., д.м.н., профессор.

© Коваленко В. В., 2012

Дата поступления статьи в редколлегию 08.12.2012 г

КОВАЛЕНКО В. В. – к.б.н., доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Института экологической безопасности, Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина.