

УДК 621.891.923

А. М. Кузей<sup>1</sup>, д-р техн. наук; В. Г. Кудрицкий<sup>2</sup>; В. Я. Лебедев<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск

<sup>2</sup>Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель

### ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЛИМЕРНЫМ И СТЕКЛЯННЫМ СВЯЗУЮЩИМ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНСТРУМЕНТА

*Методами электронной микроскопии изучены микроструктура композиционных алмазосодержащих материалов с полимерным и стеклянным связующими, морфологии поверхностей износа при обработке (шлифовании) с их помощью кристаллов природного алмаза. Показано, что концентрация связующего определяет структуру композиционных алмазосодержащих материалов. Производительность шлифования и качество обработанной поверхности кристаллов алмаза зависит от прочности закрепления алмазных зерен в матрице высоты выступания вершин алмазных зерен над поверхностью матрицы.*

**Ключевые слова:** алмазобразивный инструмент; композиционные материалы; износ; морфология поверхности; сканирующая электронная микроскопия

#### Введение

Физико-механические характеристики композиционных материалов могут варьироваться в зависимости от формы, размеров, концентрации компонентов, от уровня характеристик матрицы до уровня характеристик, присущих армирующей фазе. Искусственные сочетания различных по природе материалов (полимер–металл, полимер–стекло, металл–стекло и т. д.) в зависимости от концентрации, соотношения размеров компонентов могут обладать характеристиками армирующей фазы и одновременно обладать свойствами матричной фазы (матрицы). Характерным примером таких композиционных материалов являются системы WC–Co, WC–TiC–Co–Ni и т. д. [1, 2].

Физико-механические характеристики алмазобразивных материалов также во многом определяются свойствами матрицы. Характеристики матрицы определяют и условия обработки (шлифования) при которых достигаются максимальные эксплуатационные показатели алмазобразивного композиционного материала. Характеристики матричной фазы определяют возможности алмазобразивной обработки различных материалов. Матрицы на основе полимеров обеспечивают обработку широкого класса материалов: от закаленных сталей, жаропрочных сплавов до твердых сплавов и сверхтвердых материалов [3, 4].

При обработке сверхтвердых материалов алмазобразивным инструментом полимерные матрицы обеспечивают возможность нивелировать динамические нагрузки на отдельные алмазные зерна, обеспечивая одинаковую высоту алмазных зерен над матрицей [5, 6]. Однако высокие скорости износа полимерных матричных материалов не обеспечивают прочного закрепления алмазных зерен, что снижает эксплуатационные характеристики алмазобразивного инструмента. Повышение алмазодержания может быть достигнуто различными технологическими приемами, одним из которых является снижение объемного содержания связующего: полимера, стекла, металла [7].

#### Методика эксперимента, материалы

Объектами исследования являлись алмазосодержащие композиционные материалы, используемые для обработки сверхтвердых материалов, в частности алмаза. В качестве матричных материалов использовались композиционные материалы систем карбид кремния – полиамид, карбид кремния – стекло. Концентрация связующего варьировалась от 25 до 40 об. %. В качестве основы стекол использовалась оксидная система Na<sub>2</sub>O–K<sub>2</sub>O–Li<sub>2</sub>O–ZnO–MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Обработку алмаза (кристаллов массой 0,3–0,5 карат) проводили на шлифовальном станке ШП-3 при скорости вращения алмазобразивного круга 200 об./мин. Композиционные материалы карбид кремния – полимер получали спеканием шихты при 350–475К. Давление горячего прессования варьировали в пределах

50–100 МПа. Композиционные материалы карбид кремния – стекло получали спеканием шихты при 800 – 950 К, давление горячего прессования составляло 20–50 МПа.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

Микроструктура композиционных материалов алмаз – карбид кремния – полимер. Алмаз – карбид кремния – стекло определяется концентрацией связующего и пористостью (рис. 1).

Значения твердости матричных композиционных материалов системы карбид кремния – полимер, карбид кремния – стекло коррелируют с изменениями величин концентраций связующего и пористостью композиционных материалов. Твердость ( $HRB_{60}$ ) матричных композиционных материалов карбид кремния – полимер с пористостью 20 об.% составляет 26, 40, 55 при концентрации полимера 25, 30, 40 об.% соответственно. Увеличение пористости матричного композиционного материала до 30 об.% сопровождается резким снижением твердости (10 – 15  $HRB_{60}$ ). Снижение пористости композиционного материала до 5–7 об. % сопровождается увеличением твердости (при 25 об.% связующего) до 75  $HRB_{60}$ . Твердость матричных композиционных материалов системы карбид кремния – стекло с 20 об.% пористостью составляет 30, 40, 80  $HRB$ .

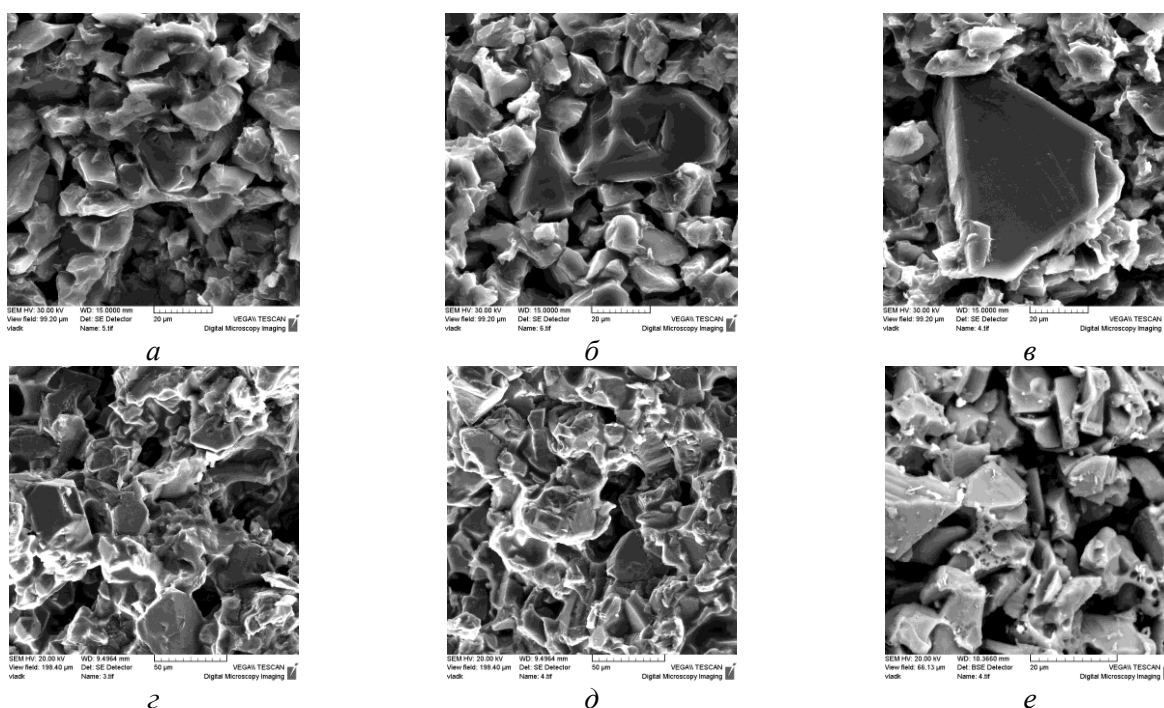


Рис. 1. Микроструктура композиционных материалов алмаз – карбид кремния – полимер (а, б, в); алмаз – карбид кремния – стекло (г, д, е): а; г – 20 об. % связующей, пористость 20 об. %; б; д – 30 об. % связующей, пористость 20 об. %; в; е – 40 об. % связующей, пористость 30 об. %.

Увеличение пористости композиционных материалов до 30 об. % сопровождается снижением значений твердости (20, 40, 75  $HRB$ ). В отличие от системы карбид кремния – полимер увеличение пористости матричного материала карбид кремния – стекло с 20 до 30 об. % не приводит к значительным изменениям твердости в области концентрации связующего 30 – 40 об. %. Одной из причин этого является большая прочность контактов стекло – карбид кремния. Полимер так же, как и стекло смачивает поверхность частиц карбида кремния, образуя на их поверхности устойчивые пленки (рис. 1). Расплав стекла смачивает поверхность частиц карбида кремния и одновременно взаимодействует с карбидом кремния. Взаимодействие оксидного расплава с поверхностью частиц карбида кремния протекает на атомарном уровне (адгезионное взаимодействие) и проявляется как смачивание и растекание расплава по поверхности, а затем и на химическом уровне. Химическое взаимодействие проявляется в изменении состава слоя оксидного расплава на поверхности частиц карбида кремния вследствие окисления карбида кремния. О химическом характере взаимодействия

оксидного расплава с поверхностью частиц карбида кремния свидетельствует образование оксида углерода, приводящее к образованию пор в пленках стекла на частицах карбида кремния (рис. 1, з).

Адгезионное, а затем химическое взаимодействие оксидного расплава с поверхностью частиц карбида кремния приводит к образованию пленок расплава и формированию объемного каркаса из частиц кубического кремния, соединенных прослойками стекла (рис. 1). Увеличение концентрации стекла в матричном композиционном материале с 20 до 30 об.% увеличивает площадь контактов между частицами, а при 30–40 об. % стекла происходит формирование сплошной матрицы. Если в области концентрации стекла 20–30 об.% структура матрицы представляет собой совокупность частиц карбида кремния разделенных порами и прослойками стекла в местах стыков частиц, то при концентрации стекла 30–40 об.% формируется иной тип структуры композиционного материала, матричный. Структура композиционного материала представляет сплошную среду (матрицу) в которой расположены частицы карбида кремния и поры. Изменение твердости композиционных материалов карбид кремния – стекло при увеличении пористости проявляется в меньшей степени, чем в композиционных материалах карбид кремния – полимер.

Невысокая твердость композиционных материалов карбид кремния – полимер обусловлена неспособностью связующего перераспределять нагрузки между частицами карбида кремния, из-за невысокой прочности полимера (даже в тонких пленках) и низкой адгезионной прочности пленки полимера к поверхности карбида кремния [8, 9].

Однако морфология поверхностей износа композиционных материалов алмаз – карбид кремния – полимер свидетельствует о достаточно высокой прочности закрепления (алмазоудержания) алмазных зерен в связке (рис. 2).

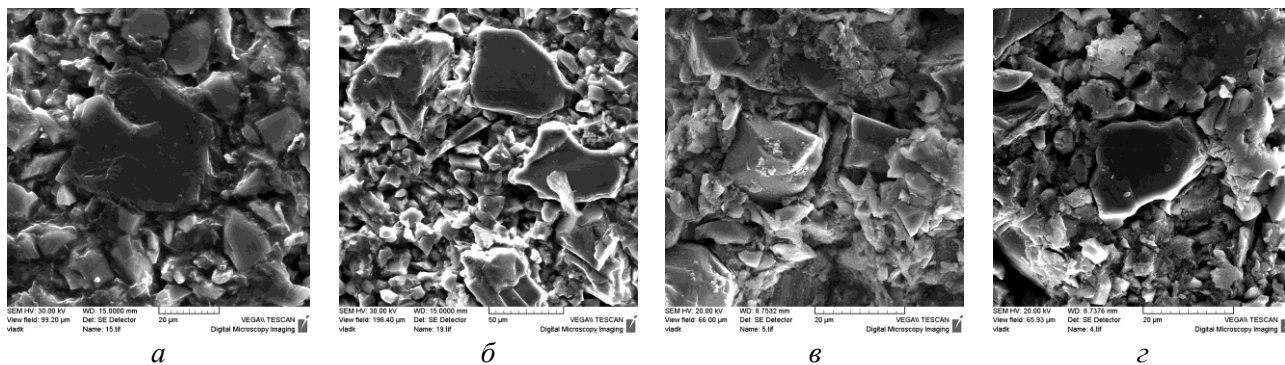


Рис. 2 – Морфология поверхностей износа композиционных материалов алмаз – карбид кремния – полимер (а, б); алмаз – карбид кремния – стекло (в, г). Концентрация алмазного порошка в композиционном материале 35 об. %.

Несмотря на небольшую (26–55 HRB<sub>60</sub>) твердость связки карбид кремния – полимер на алмазных зернах существуют площадки износа. Площадки износа существуют и на частицах карбида кремния (рис. 2, а, б).

Морфология поверхности площадок износа на алмазных зернах в композиционном материале алмаз – карбид кремния – полимер, подобна морфологии поверхности площадок износа на алмазных зернах в композиционных материалах алмаз – карбид кремния – стекло (рис. 2). На поверхностях износа матриц композиционных материалов алмаз – карбид кремния – полимер между частицами карбида кремния отсутствуют прослойки полимера, частицы карбида кремния с площадками износа и алмазные зерна выступают из матрицы (рис. 2, а, б). В композиционных материалах алмаз – карбид кремния – стекло также имеются участки матрицы на которых между частицами карбида кремния отсутствуют прослойки связующего, однако на большей части поверхности связующее присутствует на поверхности матрицы (рис. 2, в, г).

Характер износа матриц композиционных материалов алмаз – карбид кремния – полимер, алмаз – карбид кремния – стекло показывает, что износ композиционных материалов алмаз – карбид кремния – полимер происходит с большей скоростью, чем композиционных материалов алмаз – карбид кремния – стекло. Композиционные материалы системы алмаз – карбид кремния – полимер имеют такую же

производительность шлифования (0,032 карат/мин), что и композиционные материалы системы алмаз – карбид кремния – стекло (0,032–0,037 карат/мин), однако меньший (в 2,5 раза) срок эксплуатации. В первом случае съем массы составил 2,1 карат, во втором – 4,8 карат. Морфологии поверхностей износа кристаллов алмаза, обработанных композиционными материалами и со связкой системы карбид кремния – полимер отличаются от морфологий поверхности кристаллов алмаза, обработанных композиционными материалами со связкой системы карбид кремния – стекло (рис. 3).

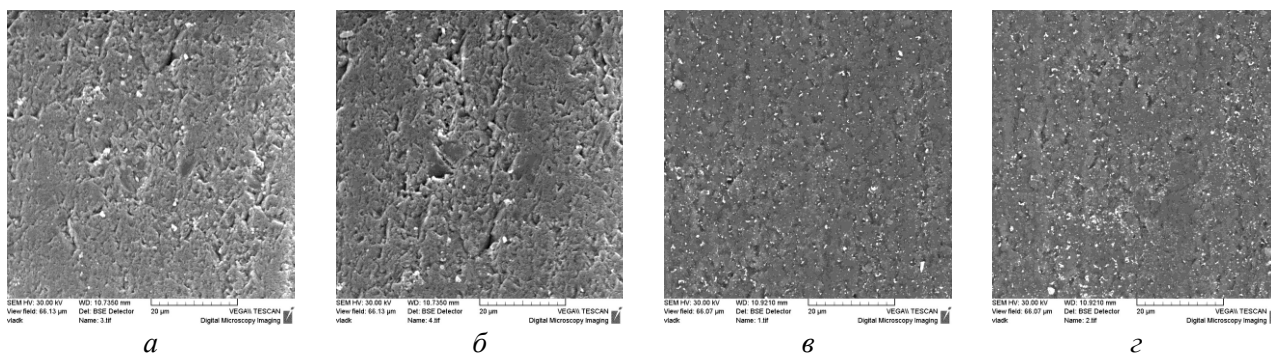


Рис. 3 – Морфология поверхностей кристаллов алмаза, обработанных инструментом на связках систем карбид кремния – полимер (а, б) и карбид кремния – стекло (в, г): а – концентрация связующего 20 об. %, пористость 5 об. %; б – концентрация связующего 20 об. %, пористость 20 об. %; в – концентрация связующего 30 об. %, пористость 20 об. %; г – концентрация связующего 40 об. %, пористость 30 об. %.

Микроструктуры композиционных материалов алмаз – карбид кремния – полимер и алмаз – карбид кремния – стекло подобны: в обоих композиционных материалах структура матрицы определяется концентрацией связующего и пор (рис. 1). Физико-механические характеристики матриц, эксплуатационные и технологические показатели инструмента с алмазосодержащими композиционными материалами отличаются. Эти отличия обусловлены различным уровнем физико-механических характеристик связующих матриц алмазосодержащих композиционных материалов и механизмом формирования матрицы. Физико-механические характеристики материала в тонких пленках (волокнах, усах) превосходят аналогичные в массивных образцах [8, 9].

Однако в отличие от системы WC-Co в которой формирование компакта (спека) происходит в условиях адгезионного взаимодействия, формирование беспористых компактов в системах карбид кремния – полимер, карбид кремния – стекло, даже в условиях приложения внешнего давления не происходит. Образование плотных, с повышенной пористостью (3–7 об. %) матриц происходит при концентрации связующих 25–30 об.%, близкой к теоретическому объему пор в плотной упаковке дисперсных частиц [1, 2]. Увеличение пористости матрицы карбид кремния – полимер до 20 об.% приводит к более значительному снижению твердости, чем в случае системы карбид кремния – стекло. Меньшая зависимость твердости матричных композиционных материалов карбид кремния – стекло может быть связано с большей прочностью сцепления пленок стекла с поверхностью частиц карбида кремния и более высоким уровнем физико-механических показателей стекла в тонких пленках.

Морфология поверхностей износа композиционных материалов алмаз – карбид кремния – полимер, достаточно высокая производительность шлифования и небольшая (1,7 карат) масса сошлифованного материала (алмаза) свидетельствуют о низкой прочности закрепления алмазных зерен и частиц карбида кремния в матрице. Однако существование на поверхности алмазных зерен и частиц карбида кремния площадок износа, высокая производительность шлифования, указывают на прочное закрепление алмазных зерен в матрице (связке). Образование на поверхности обрабатываемых кристаллов алмаза грубых микрорельефов, свидетельствует о значительном воздействии алмазных зерен на поверхность алмаза [3, 10]. Высокая производительность шлифования, небольшая масса сошлифованного материала, грубые микрорельефы на обработанной поверхности дают основание считать, что часть алмазных зерен вырываются из матрицы, а часть

внедряются в матрицу и изнашиваются. Быстрый износ матрицы карбид кремния – полимер обеспечивает выступание и выкрашивание алмазных зерен из матрицы.

В композиционных материалах алмаз – карбид кремния – стекло износ матрицы протекает с меньшей скоростью, а прослойки стекла и частицы карбида кремния изнашиваются с близкими скоростями, поэтому высота вершин алмазных зерен над матрицей меньше. Следствием этого является формирование сглаженных, менее грубых микрорельефов на поверхности кристаллов алмаза. Морфология поверхностей износа композиционных материалов алмаз – карбид кремния – стекло показывает, что изнашивание поверхности матрицы протекает по двум механизмам: хрупкого разрушения и абразивного износа (рис. 2). Производительность шлифования кристаллов алмаза, морфология поверхности износа композиционных материалов показывает, что процесс шлифования кристаллов алмаза протекает в режиме близком к режиму «самозатачивания» алмазосодержащего композиционного материала.

#### **Выводы**

Исследования микроструктуры композиционных материалов систем алмаз – карбид кремния – полимер, алмаз – карбид кремния – стекло, морфологии поверхности износа композиционных материалов и кристаллов алмаза показали, что эксплуатационные характеристики композиционных материалов определяются их структурой, физико-механическими характеристиками связующего и характером взаимодействия связующего с частицами алмаза и карбида кремния. Формирование каркаса из частиц карбида кремния (алмаза) посредством прослоек связующего между частицами происходит на стадии смачивания и растекания расплавов связующих, присутствующих в форме пленок на поверхности частиц карбида кремния.

Высокие скорости шлифования не обеспечивают формирования сглаженных микрорельефов на обрабатываемых поверхностях. Формирование грубых, развитых микрорельефов на поверхностях алмаза происходит вследствие глубокого внедрения вершин алмазных зерен. Полимерное связующее в высоконаполненных пористых композиционных материалах не обеспечивает демпфирования связкой алмазных зерен и их перемещения в матрице в условиях динамических нагрузок. Формирование сглаженных микрорельефов на поверхности алмаза достигается при прочном закреплении алмазных зерен в матрице и объемной концентрации связующего 20–40 об. %.

*Методами електронної мікроскопії вивчені микроструктура композиційних алмазосодержащих матеріалів з полімерним та скляним сполучними, морфології поверхонь зносу при обробці (шлифуванні) з їх допомогою кристалів природного алмазу. Показано, що концентрація сполучного визначає структуру композиційних алмазосодержащих матеріалів. Продуктивність шлифування і якість обробленої поверхні кристалів алмазу залежить від міцності закріплення алмазних зерен у матриці висоти виступання вершин алмазних зерен над поверхнею матриці.*

**Ключові слова:** алмазоабразивний інструмент; композиційні матеріали; знос; морфологія поверхні; скануюча електронна мікроскопія

*Microstructure of diamond-containing composites based on polymeric or vitreous binders, surface morphology of natural diamond crystals' wear surfaces under processing (grinding) by the former were studied using SEM method. It was shown that a binder content determines the structure of diamond-containing composites. Also, a grinding performance and a diamond crystals' surface finish quality depend on the strength of diamond crystals' fixing and height of vertices of diamond grains' protruding over the surface of the matrix.*

**Key words:** diamond abrasive tools; composites; wear; surface morphology; scanning electronic microscopy

#### **Литература**

1. Композиционные материалы / Под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. Пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – Т.1. – 438 с.
2. Панов В. С., Чувилин А. М., Фальковский В. А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. – М.: МИСИС, 2004. – 464 с.
3. Захаренко К. Л. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента. – К.: Наукова думка, 1991. – 300 с.
4. Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента / Под ред. Т. В. Веденева. – Пенза: ППИ, 1991. – 78 с.

5. Рудман Е. В., Горбунов А. Е., Копылов В. М., Симонов-Емельянов Н. Д. Оптимизация свойств связок на основе фенолформальдегидной смолы / Труды ВНИИАлмаза «Повышение эффективности применения алмазных инструментов». – М.: 1986. – С. 77–86.
6. Злочевский Г. Д., Парсегов С. В., Зубарев Ю. М., Липскерова Е. Е. Эффективная заточка резцов с эльбором на плоскошлифовальных станках серийного производства. //Труды ВНИИ Алмаза «Повышение эффективности применения алмазных инструментов». Москва. 1986. С. 100–111.
7. Пашенко А. А. Инструмент из сверхтвердых материалов на керамических связках. Киев. – Наукова думка. – 1980. – 143 с.
8. Фишер С., Холл П. Технология толстых и тонких пленок. М.: Мир, 1972. – С. 46.
9. Лупинович Л. М., Мамин Х.Л. Опыт применения полимерных материалов в абразивной промышленности. – М.: Наука, 1993. – С. 4-16.
10. Чеповецкий И. Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке. – Киев, Наукова думка, 1978. – 225 с.

Поступила 22.07.15

УДК 549.67

**В. П. Шовкопляс**

ООО «ГЕОЛСТРИМ»

### **МИНЕРАЛ 21 ВЕКА ПРОТИВ «ЧУМЫ» 21 ВЕКА!**

*Показано, как цеолит, минерал 21 столетия, может конкретно и практически решать проблемы, связанные с электромагнитным излучением в нашей среде обитания. Электромагнитное излучение – чума 21 века, является серьезным испытанием для общества и ему предстоит решить, как уравновесить выживание и цивилизацию.*

**Ключевые слова:** *цеолит, электромагнитное излучение, иммунитет, экология*

Научно-технический прогресс современности существенно изменил нашу жизнь, особенно в сфере информационных технологий. Наряду с положительными достижениями в коммуникации человечества мы получили обратную отрицательную сторону. Вместе с техническим прогрессом в цивилизацию внедрена невидимая опасность – электромагнитное излучение.

В последние столетия всем морским ураганам и тайфунам давали названия женских имен. По странному стечению обстоятельств сокращенная аббревиатура электромагнитного излучения – (ЭМИ) также звучит как ласковое женское имя, но, при этом, несет разрушительную силу для здоровья человечества, как и цунами, только медленно и незаметно, накапливаясь в организме. У человека нет иммунитета (врожденного индикатора) над ним же созданным техногенным полем. Все искусственно созданные электромагнитные поля опасны не только для здоровья человека, но и для всей живой среды обитания, которая окружает его. Особенно это касается пчёл.

Есть предупреждение, что если пропадут пчелы, то это будет началом конца человеческой цивилизации.

Главная проблема в том, что такие техногенные поля оказывают самые разнообразные вредоносные влияния и не оказывают никаких заметных неприятных ощущений, а результаты сразу не дают о себе знать.

Не имея убедительной информации о сложности данной проблемы и, главное, не имея аргументов ее решения, подавляющее большинство людей не считает нужным принимать во внимание возможное воздействие и тихо плывёт по течению. Электромагнитный смог, который