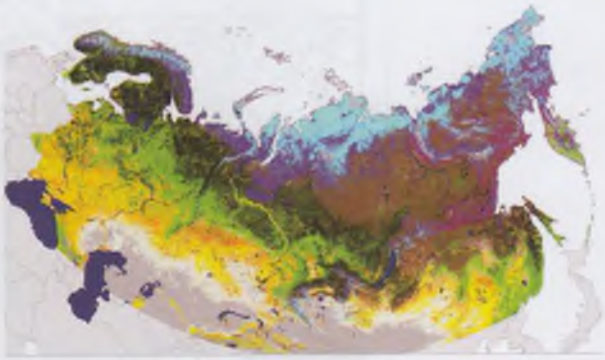
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ



Т.А. Барабошкина

МГУ имени М.В. Ломоносова

Природные геофизические факторы

Основная доля физических стрессов населения Северной Евразии связана с природными факторами риска, обусловленными радиоактивным распадом элементов естественных радиоактивных семейств урана, тория, а также калия-40. Вклад других изотопов в общем балансе радиоактивности Земной коры менее значителен. Радиогеохимической особенностью данной территории является сложная естественно-историческая мозаика распределения и миграции естественных радионуклидов (ЕРН) в горных породах, почвах и природных водах [1]. Существует четкая латеральная и вертикальная радиогеохимическая зональность на территории РФ (рис. 1).

Экологические проблемы, обусловленные природными геофизическими риск-факторами, как правило, фиксируются в тех районах, где уровень содержания природных радионуклидов в горных породах достигает 2,5 — 10 кларков и выше (что обусловлено особенностями осадконакопления и магматической дифференциации в тектонических структурах и фациальных зонах земной коры) [2 — 4].

Повышение нормативного фона в 10 — 100 раз неизбежно сказывается на уровне облучения живых организмов, в особенности в тех случаях, когда ЕРН и дочерние продукты распада попадают внутрь организма вместе с пищей, водой или воздухом [4 — 6].

Среди ЕРН наибольшую радиационную опасность представляет радон и дочерние продукты его распада. Важно подчеркнуть, что их вклад в суммарную дозу облучения составляет более 50 %. Канцерогенное воздействие этих агентов установлено в результате многолетних наблюдений за шахтерами из различных регионов мира. Следует иметь в виду, что при комплексном воздействии ионизирующего излучения и других канцерогенных факторов ионизирующее излучение усиливает влияние канцерогенов [2, 7].

Величина концентрации ЕРН в гидросфере имеет существенное значение, поскольку в водной среде происходит наиболее интенсивная миграция радионуклидов и вода (питьевая и техническая) является прямым риск-фактором воздействия на население планеты. Содержание радиоактивных элементов в поверхностной гидросфере зависит не только от геологических, но и геоморфологических, климатических и сезонных факторов.

Подземные воды со значительными концентрациями урана ($n \cdot 10^{-5}$ — $n \cdot 10^{-3}$ г/л) обычно связаны с рудными месторождениями и особую опасность представляют, когда радиоактивное равновесие сдвинуто в сторону конечных продуктов распада природного урана (от радия-226 до полония-210). Максимальные количества урана фиксируются в водах зон окисления урановых месторождений (на порядок выше предельно допустимой концентрации). Значительную опасность представляют радоновые подземные воды — с концентрацией радона более 10 Бк/л. Они могут быть синхронизированы с породами любого состава, генезиса и возраста, содержащих уран и торий как в фоновых, так и особенно в повышенных концентрациях. Миграция радона в естественных условиях может быть инициирована разведочными и эксплуатационными горными работами либо другими видами экономической деятельности [8].

Следует отметить, что вариации содержания радона в воде имеют сезонный и суточный характер, а также могут быть "внеплановыми" (например, в связи с землетрясениями), достигающими целого порядка. Поэтому с экологической позиции актуален мониторинг радиоактивности подземных вод.

Содержание ЕРН в приземном слое воздуха и в верхних слоях атмосферы лимитируется в основном процессами миграции радона и торона с поверхности и переносом радионуклидов воздушными потоками. Однако прямая корреляция содержания урана и тория в породах с распределением их эманации в воздухе — скорее исключение, чем правило. Среднее значение концентрации радона в приземном слое атмосферы составляет 4,8 Бк/м^3, а вариации могут достигать нескольких порядков, как в пространстве, так и во времени (рис. 2).

Проблема накопления радона в атмосфере жилых и служебных помещений в последние годы привлекает всеобщее внимание, так как в 20 % случаев причиной заболевания раком легких диаг-

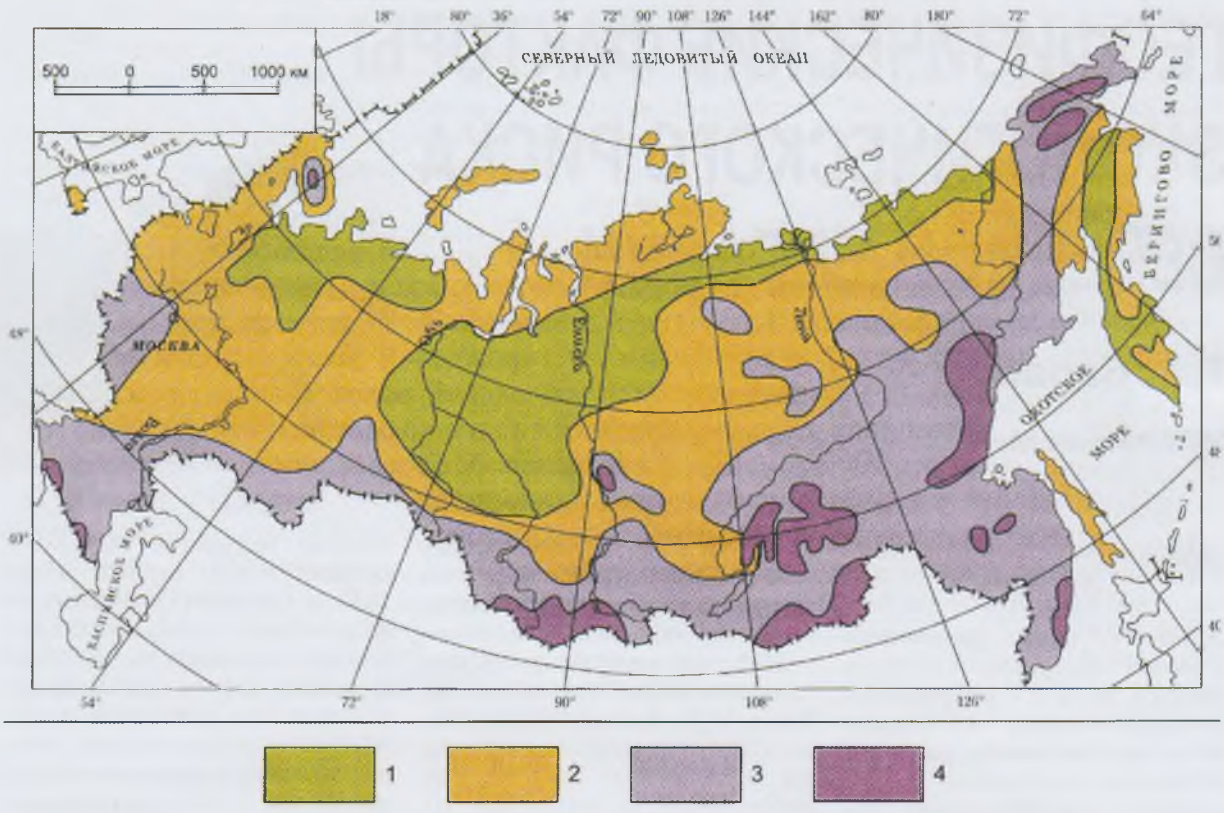


Рис. 1. Зоны природной радиации на территории России (по данным ВИРГ-Рудгеофизика [5], 10^{-2} м³ в/год: *1* — пониженной (до 60); *2* — умеренной (до 60 — 90); *3* — повышенной (до 90 — 135); *4* — высокой (до 135 — 500)

ностируется радон и продукты его распада. Согласно данным выборочных обследований, осуществленных в США, от 8 до 12 % домов отличаются содержанием радона свыше допустимого уровня (200 Бк/м³), в Англии и Швеции эта доля еще выше [5, 8].

Для России, в современный период бума индивидуального коттеджного строительства, данные вопросы также актуальны, вследствие слабой изоляционной защиты подвальных помещений от миграционных потоков ЕРН.

Физические факторы

Значительный вклад в коллективную дозу облучения населения России (наряду с природными источниками ионизирующего излучения) вносят источники, используемые для медицинских диагностических рентгенорадиологических процедур. На их долю приходится более 90 % коллективной дозы, в т. ч. за счет "медицинского" облучения около 24 %. В ряде субъектов Российской Федерации особенности радиационной обстановки до сих пор определяются радиоактивным загрязнением, обусловленным последствиями аварии на Чернобыльской АЭС (1986 г.), деятельностью ПО "Маяк" (г. Кыштым) и Семипалатинского полигона в предыдущие годы (см. таблицу). Наиболее загрязнённой остается территория в районе р. Теча, куда попадают сбросы технологических вод ПО "Маяк". Среднегодовая удельная активность стронция — на 3 порядка выше фонового уровня для рек России [3, 6, 9].

К зонам радиоактивного загрязнения различного уровня в результате аварии на Чернобыльской АЭС были отнесены территории, расположенные в Белгородской, Брянской, Воронежской, Калужской, Курской, Ленинградской, Липецкой, Орловской, Пензенской, Рязанской, Тамбовской, Тульской и Ульяновской областях.

В соответствии с Постановлением Правительства России "Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС" (№ 1582) к зонам радиоактивного загрязнения (зоны отчуждения, отселения, с правом на отселение и социально-экономическая) отнесены 4343 населенных пункта (где проживало более 1,5 млн человек).

Значительный вклад в дестабилизацию природного фона имеют также и образующиеся радионуклиды в результате ядерных реакций при атомных взрывах (как мирного, так и военного характера), а также при работе промышленных и исследовательских атомных реакторов, ускорителей и др. [6, 10].

С 1965 по 1988 гг. в СССР было проведено около 124 ядерных взрывов в интересах народ-

Крупнейшие аварии на территории СССР и России [5]

Год	Место аварии	Классификация аварий по шкале МАГАТЭ	Выброшенная активность, Ки
1957	г. Кыштым	6	2 000 000
1986	Чернобыльская АЭС	7	50 000 000
1993	Сибирский химический комбинат	5	1 000

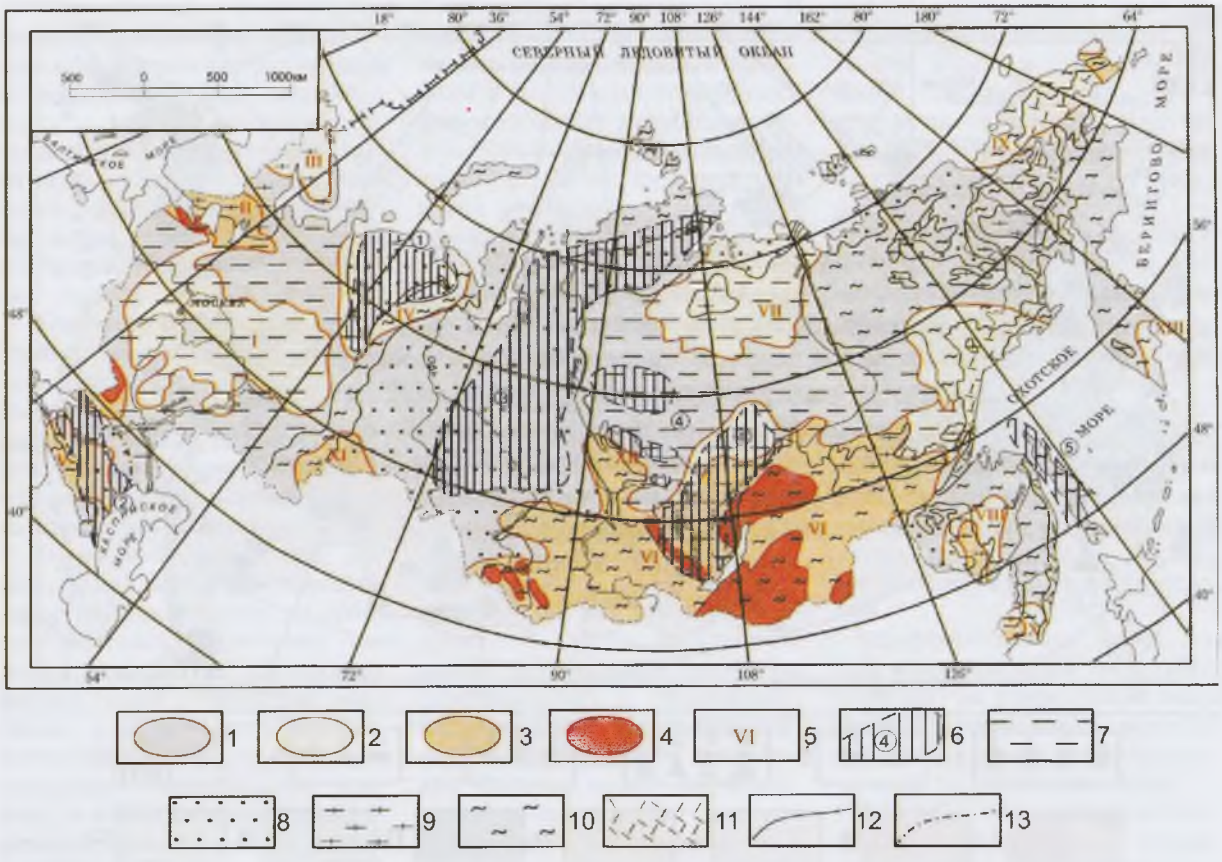


Рис. 2. Степень радоноопасности регионов России (по данным Геологического атласа России, 1996 [4]): *1 — 4* — степень радоноопасности регионов России: *1* — кларковая или докларковая концентрация радона; *2* — потенциально опасные; *3* — опасные; *4* — повышенного риска; *5* — номера радоноопасных районов (римские цифры на схеме): I — Волго-Камский; II — Прибалтийский; III — Кольский; IV — Ухта-Северо-Уральский; V — Северо-Кавказский; VI — Забайкальско-Южно-Сибирский; VII — Анабарский; VIII — Буреинский; IX — Чукотский; X — Приморский; XI — Зауральский; XII — Енисейский; XIII — Камчатский; *6* — регионы с повышенной концентрацией радия и радона в подземных водах нефтегазоносных провинций (цифры в кружках): *1* — Тимано-Печорской, *2* — Северо-Кавказской, *3* — Западно-Сибирской, *4* — Лено-Тунгусской, *5* — Охотско-Сахалинской; *7 — 13* — тектоническое районирование: *7* — древние платформы; *8* — молодые платформы; *9* — щиты и срединные массивы; *10* — складчатые области фанерозоя; *11* — вулканогенные пояса; *12* — границы тектонических структур; *13* — граница Русской и Скифско-Туранской платформ

ного хозяйства, 117 из которых были осуществлены вне границ ядерных полигонов. Из них 3 (в Ивановской области и в Якутии) сопровождались авариями, при которых произошла утечка продуктов радиоактивного распада.

Источником создания локальной радиоэкологической напряженности, как видно из рис. 3, является и эксплуатация урановых месторождений или месторождений уран- и торийсодержащих полезных ископаемых, к которым прежде всего должны быть отнесены некоторые виды агроруд, каменных и бурых углей, горючих сланцев. Начальные этапы топливно-ядерного цикла, охватывающие добычу и первичную переработку урановых руд, вносят при этом наиболее существенный и постоянно действующий вклад в осложнение как радиационной, так и экологической обстановки в целом [5].

Неуклонный рост количества используемых минеральных удобрений также может провоцировать интенсификацию круговорота естественных и искусственных радионуклидов в системе почва — сельскохозяйственные растения. Фосфорные удобрения в этом отношении наиболее показательны. Вследствие длительного применения фосфатных удобрений в почве может увеличиваться количество радионуклидов рядов урана и тория на 0,25 — 1 % к естественной активности, хотя при этом заметного увеличения активности сельхозпродукции не отмечается.

Интенсификация трансформации компонентов экосистем под влиянием техногенной миграции радионуклидов происходит и в результате сжигания и традиционных энергоносителей (газ, горючие сланцы, нефть, угли, торф), так как все они содержат в различных (небольших) концентрациях ЕРН. Концентрация радионуклидов в атмосферных выбросах зависит от их концентраций в ископаемом топливе, его зольности, технологии сжигания, соотношения тяжелых и легких шлаков, эффективности фильтрующих систем.

К сожалению, степень озабоченности научной общественности физическими стрессами техногенного характера достигает максимума, как правило, только в период катастроф глобального масштаба, инициирующих региональное загрязнение компонентов экосистем и вызывающих масштабную угрозу здоровью и жизни населения [9, 11].

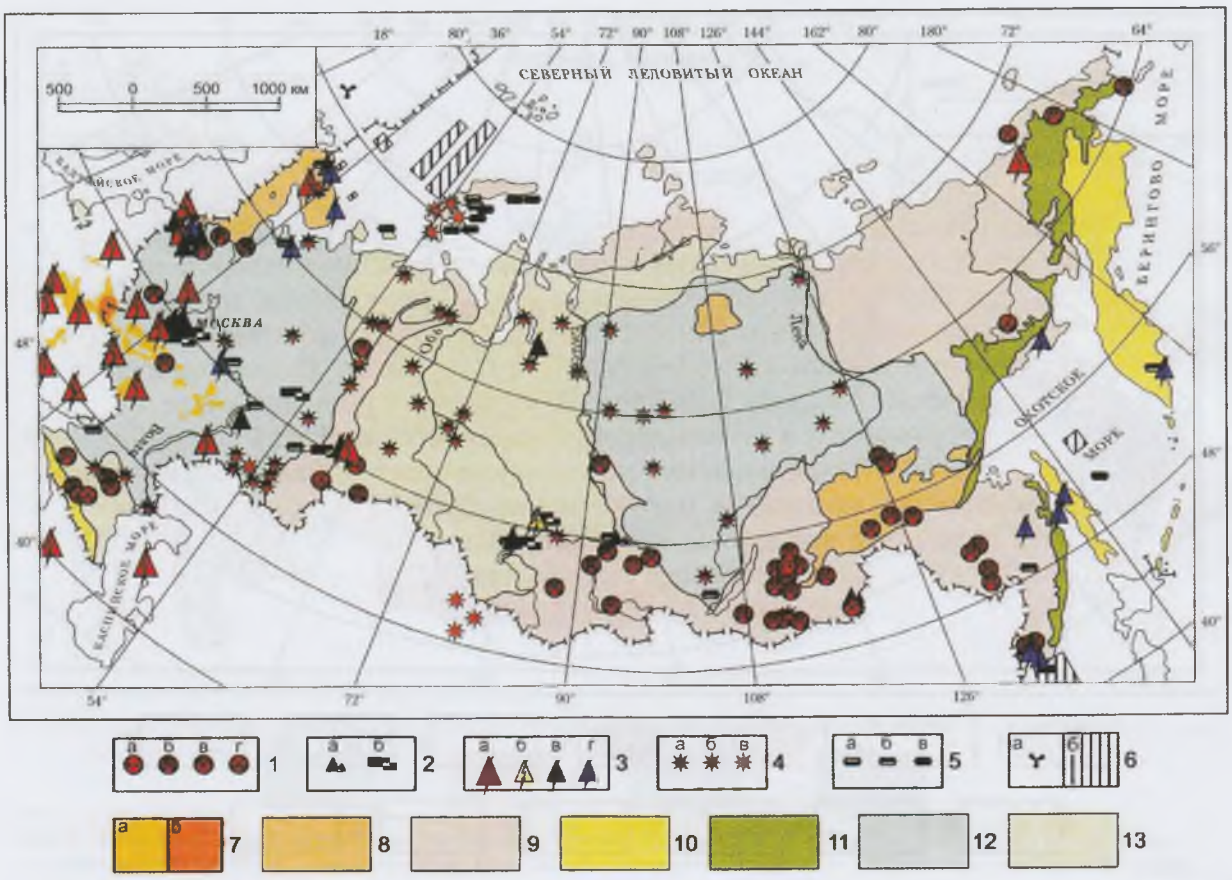


Рис. 3. Схема радиоактивного загрязнения России (с учетом техногенных и природных риск-факторов) [5]: *1* — месторождения урана (*а* — разведуемые; *б* — подготовленные к эксплуатации; *в* — эксплуатируемые; *г* — отработанные); *2* — комбинаты горнохимические (*а*); радиохимические и металлургические (*б*); *3* — атомные электростанции (*а*); технологические (*б*) и исследовательские (*в*) атомные реакторы; базы атомного флота (*г*); *4* — места проведения атомных взрывов (*а* — подземных в мирных целях; *б* — приповерхностных в мирных целях, *в* — в военных целях); *5* — пункты захоронения радиоактивных отходов (*а* — подземного; *б* — приповерхностного; *в* — подводного); 6 — локальное радиоактивное загрязнение местности (*а*) и места слива жидких радиоактивных отходов в морях (*б*); *7* — площадное радиоактивное загрязнение местности (*а* > 1; *б* > 5 Ки/км²); *8* — *13* — тектоническое районирование (*8* — щиты (докембрийские складчатые области); *9* — фанерозойские складчатые области и обрамление щитов; *10* — современные подвижные области; *11* — вулканические пояса; *12*, *13* — чехлы древних и молодых платформ)

Глобальное техногенное загрязнение радионуклидами равномерно охватывает территорию Земного шара и вносит относительно небольшие дозы ионизирующего облучения. Глобальное загрязнение формируется за счет взрывов ядерных бомб, когда мелкие частицы поднимаются в верхние слои атмосферы (15 — 25 км) и затем медленно в течение нескольких лет выпадают на Землю. Основное значение приобретают долгоживущие радионуклиды (цезий-137, стронций-90 и др.) [1, 8].

Региональное техногенное загрязнение радионуклидами формируется за счет выпадения из радиационного облака в течение ближайших дней (и даже часов) целого комплекса радионуклидов, где к ранее упомянутым добавляются более короткоживущие. След радиоактивного облака может протягиваться на тысячи километров и охватывать площади в сотни и тысячи квадратных километров (Восточно-Уральский, Чернобыльский, Фокусимский и др.)

Локальное техногенное загрязнение охватывает относительно небольшие участки (десятки и сотни квадратных километров) на разном удалении от непосредственных источников загрязнения (вблизи различных ядерных производств или соответствующих военных объектов). При этом наблюдается наиболее пестрый состав радионуклидов. В среднем годовая доза облучения населения за счет ядерного комплекса в нормальных условиях работ эквивалентна лишь небольшой части облучения за счет естественной радиации (менее 0,2 %). Основная доза приходится на людей, живущих не далее нескольких километров от станции [1, 8].

За последние десятилетия в целом на территории Северной Евразии радиационно-гигиеническая ситуация улучшилась. Доля проб продуктов питания, не отвечающих гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов, уменьшилась в два раза.

Однако отмечены случаи превышения допустимого содержания радионуклидов в продуктах питания местного производства в Брянской и Калужской областях — в основном в мясомолочных продуктах, производимых в частном секторе, а также в грибах и ягодах.

Изменение динамических и энергетических параметров других видов физических полей так же может привести к необратимым явлениям, десинхронизации отдельных органов, рассогласованности биоритмов человека.

Поля с аномальными энергетическими характеристиками являются факторами поражающего воздействия на кору головного мозга и высшую нервную деятельность, нарушающими иммунную систему человека. Наиболее чувствительные системы организма человека — нервная, иммунная, эндокринная и половая.

Благодаря длительным мониторинговым наблюдениям и учитывая важность воздействия на здоровье человека вариаций геомагнитного поля планеты прогноз его изменения включен в официальные выпуски новостей наравне с прогнозом погоды.

Продуктом современной цивилизации, имеющим повсеместное распространение на урбанизированных территориях, является воздействие электромагнитных полей (ЭМП). Так, например, в Санкт-Петербурге интенсивность ЭМП в 1000 раз превышает внегородской уровень. А в Москве уровень электромагнитного фона за последние десятилетия вырос в 100 — 1000 раз. Наиболее типичными экологическими последствиями является рост числа таких заболеваний у населения, как инфаркты, лейкозы, злокачественные новообразования. Кроме того, увеличивается количество патологических состояний (головная боль, ослабление памяти, быстрая утомляемость, потеря аппетита) у населения мегаполисов [3].

Одновременно с растущим действием ЭМП население подвергается все большему негативному ультразвуковому и инфразвуковому воздействию. Ранее они диагностировались преимущественно при землетрясениях и релаксации сейсмических напряжений, вызывая галлюцинации, страх и панику. Новые виды современной техники могут провоцировать аналогичные биологические реакции живых организмов. Физические стрессы населения могут усиливаться в районе разломных зон, а также на территориях с высоким уровнем трансформации геохимических полей [2, 3].

На современном этапе развития цивилизации техногенные вариации физических риск-факторов имеют параметры не сопоставимые с природными. В процессе адаптации живых организмов к их техногенным вариациям в популяциях формируется широкий спектр негативных биологических реакций (онкопатология, нарушение функционирования эндокринной, нервной и др. систем организма человека) с непредсказуемыми социально-экономическими последствиями снижающими устойчивость развития общества.

Однако модернизация промышленности — важная задача научно-технического потенциала России. Разрабатывая инновационные подходы в промышленности, важно помнить, что человек, по сути, является наиболее сложной организованной системой. И для его существования и жизнедеятельности важно оптимальное сочетание биофизических и биохимических процессов. Их разбалансировка под влиянием физических стрессов может иметь трагические последствия как для индивидиума в частности, так и для популяции в общем. У мирового научного сообщества накоплен колоссальный опыт исследования воздействий на организм человека радиационных полей, как природного, так и техногенного генезиса. Индуцируемые разноплановые физические поля зачастую не имеют природных аналогов, что особенно опасно в местах компактного проживания или работы людей. Организм человека не приобрел в процессе эволюционного развития даже минимального опыта адаптации к ним, поэтому очень важно, чтобы комплексные меры защиты населения от новых физических риск-факторов разрабатывались синхронно с модернизацией промышленной базы России, минимизируя риски для населения.

Дифференциация науки (узкая специализация отдельных отраслей) на современном этапе является тормозом в решении основной задачи сформулированной на "Саммите Земли — РИО+20" — обеспечение комфортного сосуществования человечества в гармонии с природой и обществом.

Литература

1. **Атлас** геолого-геохимических и эколого-геологических карт Российской Федерации (1:5 000 000) / Э.К. Буренков, М.В. Кочетков, А.Ф. Морозов, Л.А. Островский, В.С. Певзнер, Е.И. Филатов, Е.П. Ширай. М.: ИМГРЭ, Минприроды, 1994-1997.

2. **Барабошкина Т.А.** Геохимические факторы экологического риска. Геориск. 2012. № 3.

3. **Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К.** Экологическая геофизика. М.: Изд-во МГУ, 2000.

4. **Косинова И.И., Барабошкина Т.А., Золототрубов Е.Б.** Экологическая оценка динамики радиационного поля некоторых участков горнодобывающих районов Курской магнитной аномалии // Юг России: экология, развитие. 2007. № 1.

5. **Смыслов А.А., Межеловский Н.В., Алексеев С.В. и др.** Недра России. В 2-х т. Т. 2. Экология геологической среды / Под ред. Н.В. Межеловского, А.А. Смыслова. Санкт-Петербург. Горный ин-т. Межрегион. центр по геол. картографии. СПб.-М., 2002.

6. **Трофимов В.Т., Жигалин А.Д., Барабошкина Т.А. и др.** Изменение экологических функций литосферы при военных действиях // Вестник Московского университета. Сер.4. Геология. 2006. № 5.

7. **Baraboshkina T.A.** The geological factors of ecological risk of Russia//50 godini Minno-geolojki universitet "Sv. Ivan Rilski". Godishnik, t. 46, svitak 1, Geologiya i geofizika, Sofija. 2003.

8. **Максимовский В.А., Мальцев А.В., Харламов М.Г.** Эколого-радиогеологическая карта (1:5 000 000). Объяснительная записка. М., 1998.

9. **Иванов В.К., Цыб А.Б.** Медицинские последствия аварии на ЧАЭС для ликвидаторов и населения загрязненных радионуклидами территорий России: Прогноз и фактические данные национального регистра//Чернобыль: 15 лет спустя. М.: Контакт-культура, 2001.

10. **Trofimov V.T., Ziling D.G., Baraboshkina T.A.** Ecological functions of lithosphere & life // South-Russian bulletin of geology, geography and global energy. 2004. V 3. № 9.

11. **Глобальная** экологическая перспектива (ГЭП-5). Программа Организации объединенных наций по окружающей среде. ЮНЕП. Найроби: Секция типографских услуг ЮНОН. 2012. ■