

*В. В. Куриленко, И. М. Хайкович, С. В. Лебедев*

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

Приводится характеристика геофизических и геохимических полей Земли — гравитационного, сейсмического, теплового, электромагнитного, радиационного и геохимического. Проанализирована их роль в формировании современного облика Земли и влияние на эколого-геологические процессы, на живую природу, в первую очередь на человека. Рассмотрены основные естественно-природные и аномальные (антропогенные) факторы, которые определяют состояние и взаимосвязь в системе «геофизическое поле — эколого-геологическое пространство — растительность — животные — человек». Библиогр. 7 назв. Ил. 2. Табл. 3.

*Ключевые слова:* геохимия, геофизические поля, экологическая геология.

*V. V. Kurilenko, I. M. Khaykovich, S. V. Lebedev*

## GEOPHYSICAL FIELDS IN ENVIRONMENTAL GEOLOGY

St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

The article summarizes the geophysical and geochemical fields of the Earth — gravity, acoustic, thermal, electromagnetic radiation and geochemical. We examine the role of these fields in the formation of the modern face of the Earth and their impact on ecological and geological processes on wildlife and, above all, on the person. The main environmental and abnormal (anthropogenic) factors that determine the status and relationship of the system "geophysical field — ecology-geological space — vegetation- animal -man" are examined. Refs 7. Figs 2. Tables 3.

*Keywords:* geochemistry, geophysical fields, ecological geology.

В процессе эволюции человек всегда находился в *энергетическом поле*, точнее — под постоянным энергетическим воздействием, сформировавшим естественное геологическое (физико-химические) состояние Земли. Постепенно аккумулируясь в геологической среде, энергетика по существу определила ее современный облик и создала специфическое *геологическое пространство* (*геохимическое и геофизические поля*), которое отражает физико-химические и экологические свойства этой среды.

Факторы, характеризующие экологические свойства экосистем, зависят как от *естественно-природных*, так и от *аномальных* условий. В первом случае эти свойства формируются в основном под влиянием эволюционно развивающихся природных процессов, во втором — изменяются под воздействием аномальных (экстремальных) процессов природного и природно-техногенного происхождения. Развитие *биосферы* в современных условиях проходит под активным влиянием антропогенного фактора, подчас под лозунгом «покорение природы». Формируются *геоэкологические комплексы*, характеризующиеся многообразием экологических функций геосфер Земли и определяющие в принципе условия жизнедеятельности человека и существования биоты. Для того чтобы в таких условиях составляющие экологических функций нашей планеты сохраняли стабильность, устойчивость

и способность к самовосстановлению и саморегуляции, необходимо знать и изучать процессы, которые сформировали природное (естественное) и природно-антропогенное геологическое (физико-химические) пространство Земли и в настоящее время формируют экологическую функцию биосферы. Ниже приводится краткая характеристика геофизических полей — с точки зрения их влияния на эколого-геологические процессы, живую природу и в первую очередь на человека.

**Гравитационное поле.** Гравитационное поле сформировало современный космохимический облик Земли; способствовало образованию и удерживает вокруг себя мощный газовый слой (атмосферу) и водную оболочку (гидросферу); обеспечивает перемещение горных пород в пределах Земли, движение водных, ледовых и воздушных масс по поверхности Земли; играет активную роль (наряду с тепловой энергией Солнца) в функционировании большого геологического круговорота веществ и воды на планете.

Гравитационное поле сформировалось в процессе рождения Солнечной системы, и если менялось на протяжении истории существования биосферы, то, по всей видимости, плавно и эволюционно. Это позволяет предполагать, что в каждый достаточно большой геологический отрезок времени биосфера существовала при относительно стабильном гравитационном поле. Изучением роли гравитационных сил и взаимодействий в организации живых систем занимается *гравитационная физиология*.

Притяжение Земли, или силу тяжести, мы почти не замечаем. Но в результате эволюции у позвоночных сформировалась усиленная костно-мышечная система с развитыми конечностями, удерживающая тело в пространстве над землей в покое и в движении, возникли механизмы нервной системы, управляющие движением конечностей, и система обеспечения всех частей тела кислородом и питательными веществами — мощный сердечный насос, способный гнать кровь вверх. У животных и человека развилась гравитационно-чувствительная барорецепторная система, регулирующая давление крови, в том числе в артериях, которые снабжают мозг. Значительные изменения поля тяготения, как показали полеты в космос, приводят к дестабилизации всей барорецепторной системы.

Аномальные значения гравитационного поля в пределах *литогенной сферы* могут быть обусловлены естественными *эндогенными* и *экзогенными* геологическими процессами и *техногенными*, вызванными инженерной деятельностью человека. К эндогенным процессам относятся, например, землетрясения, вулканическая деятельность, к экзогенным — такие процессы, как обвалы, оползни, лавины, карстовые явления, а к техногенным — разработка крупных месторождений, связанная с извлечением из недр земли значительного количества ископаемого сырья, создание обширных водохранилищ, городских и промышленных агломераций. При этом техногенная деятельность может приводить к необратимым изменениям состояния, строения и состава отдельных наименее устойчивых элементов (и даже областей) геологической среды, а гравитационные аномалии, обусловленные техногенными процессами, могут быть весьма значительными и достигать значений, сравнимых с временными вариациями силы тяжести поля.

**Сейсмическое (сейсмоакустическое) поле.** Данное явление представляет собой упругие волны различной частоты — *объемные* (*продольные* с колебанием частиц вещества недр вдоль направления луча и *поперечные*, обусловленные упругими

волнами сдвига), поверхностные волны Лява и Рэлея; на границах сред с различными упругими параметрами образуются *объемные отраженные и преломленные*, а также *обменные* волны, когда падающая продольная создает поперечную волну, и наоборот. Сейсмические поля Земли разной природы и интенсивности возникли при ее образовании и сопровождают ее существование, периодически напоминая о себе тектоническими подвижками в виде землетрясений, цунами и пр. Вследствие землетрясений (их количество достигает 800 тыс. в год) в Земле практически постоянно существует поле упругих (сейсмических) колебаний. Изучение сейсмического поля и геофизических полей (электромагнитных и радоновых), изменения которых часто предшествуют сильным землетрясениям, а также организация *комплексного сейсмического, электромагнитного и радонового мониторинга* дают богатую информацию для прогнозирования катастрофических последствий в сейсмоопасных зонах.

Важным звеном в оценке сейсмической опасности является создание *карт сейсмического районирования* (рис. 1). Такие карты необходимы для долгосрочного государственного социально-экономического планирования и оценки сейсмической уязвимости строительных объектов [1], а также для организации рационального землепользования.

Самыми опасными в сейсмическом отношении в России являются Северный Кавказ, юг Сибири и Дальний Восток, где интенсивность сейсмических сотрясений может достигать 8–10 баллов. Определенную угрозу представляют и 6–7-балльные зоны в густозаселенной европейской части Российской Федерации.

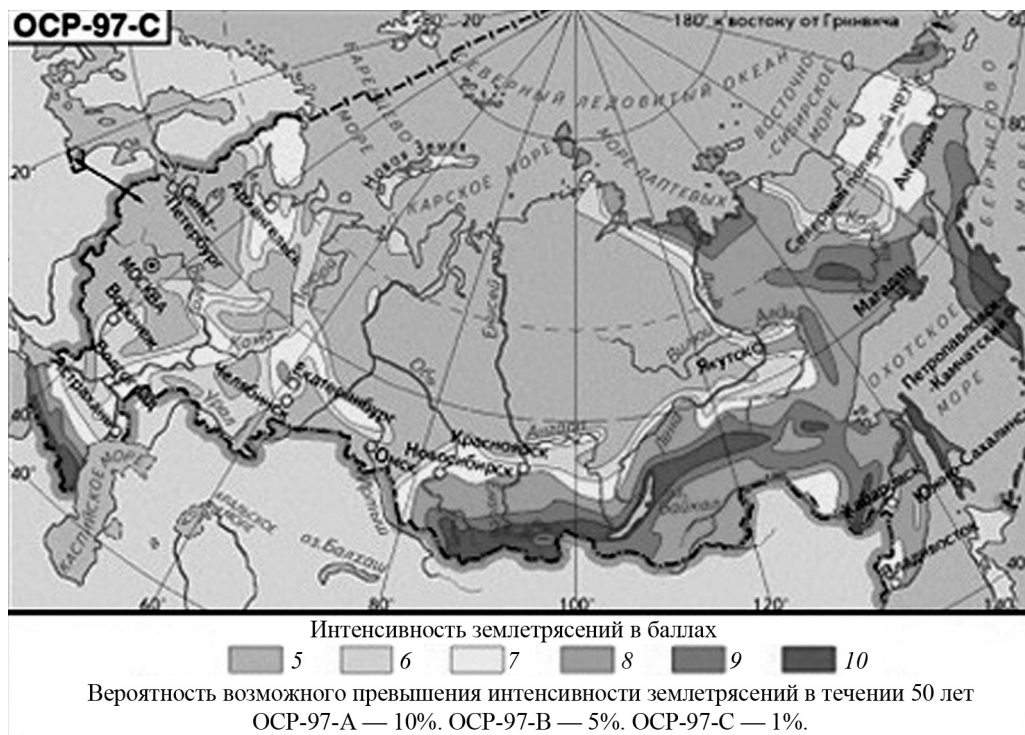


Рис. 1. Карта сейсмического районирования территории Российской Федерации [1]

**Температурное (тепловое) поле.** Земля представляет собой гигантскую энергетическую машину. Различные виды энергии — *солнечная, энергия радиоактивного распада естественных радионуклидов, вулканической деятельности, землетрясений, гравитационного сжатия, приливного трения* и т. д. — превращаются в *тепловую энергию*, формируя тепловой режим ее недр, поверхности и поверхностной оболочки — атмосферы. Множественность энергетических источников, их историческая роль и соотношение менялись на разных стадиях развития планеты. В процессе земной эволюции абиотическая и биотическая компоненты всегда находились и находятся под постоянным энергетическим воздействием, которое сформировало геологическую форму движения материи, естественное геологическое (физико-химические) состояние и, как следствие, биосферу Земли и способствовало зарождению жизни на Земле.

Температурное поле Земли в историческом плане претерпело значительные изменения, однако они, по всей видимости, в основном происходили постепенно, хотя отдельные участки земной поверхности периодически подвергались резким колебаниям, о чем свидетельствуют данные палеобиологии. Тепловое поле Земли и закономерности его изменения определяются общим тепловым балансом, который складывается из поступающей энергии солнечного и космического излучений и внутреннего тепла, обусловленного особенностями строения и состава планеты. *Внешними источниками тепловой энергии являются солнечная радиация (в первую очередь), излучение звезд, энергия падающих на Землю метеоритов, гравитационное воздействие Луны и Солнца.* Главным внешним энергетическим источником является излучение Солнца — из общего внешнего притока энергии на поверхность Земли 99,98% приходится на солнечную радиацию, ежегодное поступление которой достигает  $1,72 \cdot 10^{17}$  Дж.

Важную роль в формировании теплового поля Земли играло радиогенное тепло, основная доля которого (более 99%) была связана с распадом радионуклидов трех радиоактивных семейств естественных радионуклидов (ЕРН): урана ( $^{238}_{92}\text{U}$ ), актиноурана ( $^{235}_{92}\text{U}$ ), тория ( $^{232}_{90}\text{Th}$ ) — и радионуклида  $^{40}_{19}\text{K}$ . При этом доля радиогенной составляющей в земной коре в общем тепловом балансе является преобладающей и составляет порядка 50–60% — как для современной, так и для прошлых эпох развития Земли.

В табл. 1 приведены значения кларковых содержаний ЕРН в различных геосферах земной коры и количество генерируемого ими тепла.

Таблица 1. Содержание ЕРН и генерация радиогенного тепла в геосферах Земли (по [2])

Геосферы	Мощность, км	U, $10^{-4}\%$	Th, $10^{-4}\%$	K, %	Генерация тепла,	
					$10^{-6}$ Вт/м <sup>3</sup>	Дж/(м <sup>3</sup> ·год)
Гранитная	20	3,6	12	2,8	1,88	59,3
Базальтовая	40	0,9	4	0,5	0,52	16,4
Перидотитовая	1540	0,03			0,007	0,24

Если подсчитать общее количество тепловой энергии, генерируемое ежегодно этими сферами, то получим значение порядка  $1,8 \cdot 10^{21}$  Дж, а 4 млрд лет тому назад

ежегодное выделение радиогенного тепла более чем в два раза превышало современный уровень.

Теплоперенос в недрах Земли происходит в результате обмена энергией (теплообмена) между геологическими телами и может осуществляться по трем механизмам — *конвективному, кондуктивному (или диффузионному) и лучистому*. Современная скорость потери тепла Землей (в основном вследствие кондуктивного переноса) равна примерно  $1,35 \cdot 10^{21}$  Дж/год, в то время как полный вынос энергии в мировое пространство за весь геологический период развития Земли оценивается примерно в  $4,5 \cdot 10^{30}$  Дж [3].

Сейчас много говорят об изменении климата Земли и роли человечества в этом процессе. Исключать техногенный фактор при оценке климата нельзя, но как потепление, так и похолодание земной поверхности наблюдались неоднократно в течение истории Земли. Естественно, что далеко не все виды биоты приспособились к глобальным температурным изменениям, которым подвергалась планета. Достаточно сравнить теплый климат карбона (360 ÷ 286 млн лет) и период оледенения в плейстоцене (10 ÷ 800 тыс. лет). Мы живем в голоцене, длящемся 10 тыс. лет. За это время человек успел создать массу глобальных проблем, включая, глобальное потепление климата. Из результатов многолетних наблюдений следует, что за последние 150 лет температура на Земле увеличилась на  $0,7^\circ\text{C}$ , но если исходить из геологических данных о периодичности оледенений, то нас в будущем, скорее всего, ожидает глобальное похолодание. При этом «разрешенные» вариации глобального температурного поля не так уж велики: понижение или повышение средней температуры на поверхности планеты на  $3\text{--}4^\circ\text{C}$  грозит последствиями, с которыми современная цивилизация может и не справиться.

Между тем не всегда учитываются гигантские по своей энергетике природные процессы, наносящие огромный ущерб экономике многих стран, создающие угрозу человеку и подчас уносящие тысячи жизней. Если обратиться к статистике природных явлений, то станет совершенно ясна необходимость принятия самых серьезных мер, учитывающих перспективу катастрофических природных явлений, таких как землетрясения, извержения вулканов, цунами, наводнения, торнадо, энергетика которых намного превышает энергетические возможности человечества. Так, энергия тектонического землетрясения —  $10^{18}\text{--}10^{19}$  Дж, в то время как энергия атомной бомбы мощностью 100 Мт — порядка  $10^{17}$  Дж, а среднесуточная выработка энергии всеми электростанциями США —  $10^{16}$  Дж. И это ставит на первый план задачу по принятию серьезнейших предупредительных мер.

**Геоэлектромагнитное поле.** В соответствии с теорией Максвелла *электрическое и магнитное поля являются частным случаем единого электромагнитного поля*. Раздельное исследование этих полей является чисто условным — магнитных масс как особых субстанций в природе не существует, а магнитные свойства физических тел обусловлены движением электрических зарядов (токов). Между покоящимися материальными частицами, которые имеют электрический заряд, существуют гравитационное и электростатическое поля, проявляющиеся в виде сил притяжения и отталкивания, и любое изменение этих полей приводит к взаимному перемещению заряженных частиц. Эта форма материального взаимодействия между частицами получила наименование *магнетизм*. Пространство, в котором действуют силы магнетизма, называют *магнитным полем*.

Магнитное (геомагнитное) поле Земли можно разделить на:

— *нормальное*, или главное, магнитное поле, которое испытывает медленные изменения во времени (вековые вариации) с периодами от 10 до 10 000 лет, сосредоточенными в интервалах 10–20, 60–100, 600–1200 и 8000 лет (динамикой геомагнитного поля обусловлен дрейф магнитных полюсов и изменение полного магнитного момента планеты);

— *мировые аномалии* — отклонения напряженности отдельных областей геомагнитного поля от нормального;

— *магнитные поля локальных областей* внешних оболочек протяженностью от нескольких до сотен километров, которые обусловлены намагниченностью горных пород в верхнем слое Земли, слагающих земную кору (например, Курская магнитная аномалия);

— *переменное* (внешнее) магнитное поле Земли. Основными источниками таких полей и их изменений являются корпускулярные потоки намагниченной плазмы, приходящие от Солнца вместе с солнечным ветром и формирующие структуру и форму земной магнитосферы.

Магнитное (геомагнитное) поле на протяжении истории Земли неоднократно подвергалось (причины пока до конца не установлены) радикальным скачкообразным изменениям. Об этом свидетельствуют дрейф геомагнитных полюсов и смена магнитной полярности (*инверсии геомагнитного поля*) с временным интервалом от 0,5 до 10 млн лет, что подтверждают данные палеомагнитных исследований. Наиболее ярко вариации нормального магнитного поля, которые называют *вековыми*, проявляются в *дрейфе* геомагнитных и магнитных полюсов (рис. 2).

Нерегулярные вариации магнитного поля зависят от возмущений в ионосфере, которые, в свою очередь, связаны со вспышками на Солнце и приходом на Землю корпускулярных потоков. Эти вариации проявляются в виде *магнитных бурь*, характеризующимися изменением и колебанием локальных характеристик магнитного поля иногда в течение многих часов — с последующим их восстановлением до прежнего уровня.

Все живые существа Земли миллионы лет эволюционировали именно в условиях электромагнитного поля и без него существовать не могут. Геомагнитное поле является щитом, который защищает жизнь на планете, и его исчезновение автоматически лишило бы Землю магнитосферы — природного барьера, стоящего на пути солнечного ветра и космического излучения. Крупные биологические кризисы возникали на этапах глобальных регрессий, когда происходило периодическое ослабление магнитного поля и, как следствие, уменьшалось количество влаги и питательных веществ в почве, наступало похолодание климата. Наиболее известным проявлением экологического воздействия магнитного поля на здоровье человека являются магнитные бури. Однако их механизм воздействия до сих пор вызывает споры.

Реакция на изменения внешнего магнитного поля связана с тем, что многие жизненные процессы в организме человека и животных основаны на электромагнитных явлениях и их изменение приводит к изменению скорости химических реакций в организме, скорости распространения нервных импульсов и т. д. Некоторые факты. Во время магнитных бурь наблюдается ухудшение состояния больных, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, повышается артериальное

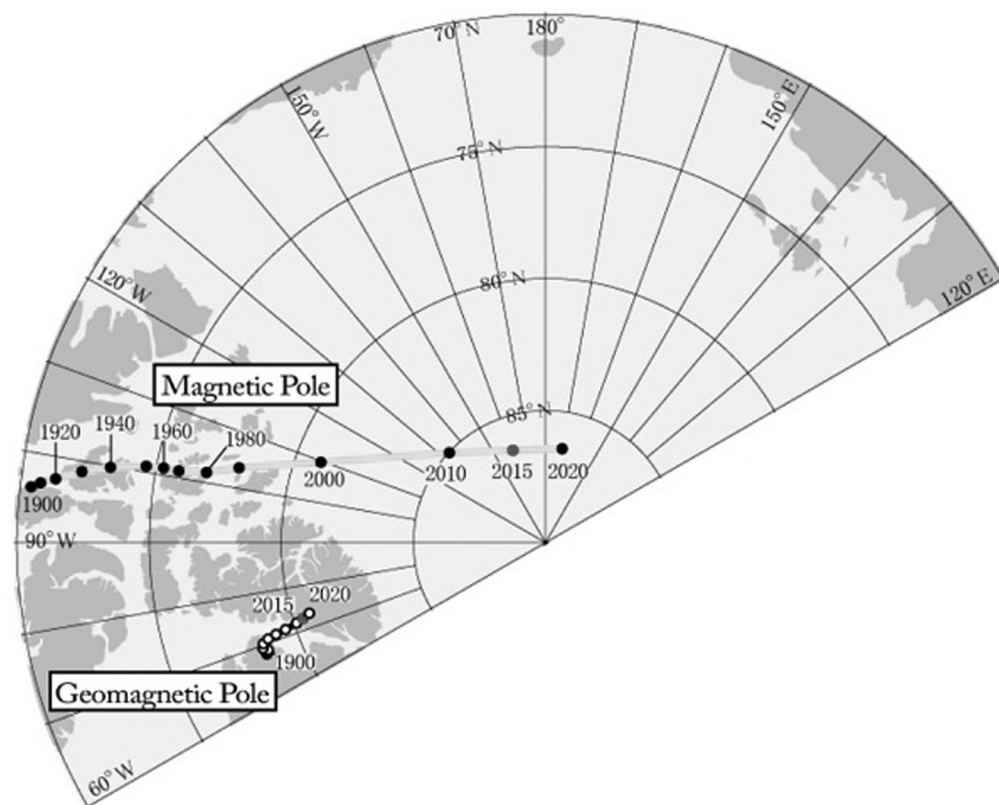


Рис. 2. Смещение северного магнитного и геомагнитного полюсов в XX и XXI вв. [4]

давление, ухудшается коронарное кровообращение. Магнитные бури оказывают неблагоприятное влияние на больных, страдающих заболеваниями органов дыхания, изменяются биоритмы. Во время магнитных бурь наблюдается ухудшение состояния людей, страдающих психическими заболеваниями, увеличивается число несчастных случаев и травматизма на транспорте. Чем дальше на Север, тем интенсивнее возмущенность магнитного поля во время магнитных бурь и тем сильнее их влияние на состояние здоровья людей, возрастает число преждевременных родов, токсикозов, отмечается наибольшая заболеваемость раком, обострение глазных болезней.

В настоящее время источниками техногенных электромагнитных полей *промышленной частоты* являются оборудование повышающих и понижающих напряжение электрических (трансформаторных) подстанций, тяговые электромоторы и энергетические установки, а также высоковольтные линии электропередачи; источники электромагнитных полей в *диапазоне радиоволн* — это антенны радиовещательных и телепередающих станций, излучатели специальных средств связи и радиолокационных станций, а также многие промышленные установки, бытовая и оргтехника.

Результаты клинических исследований показали, что длительный контакт с электромагнитными приборами в СВЧ-диапазоне может привести к развитию

заболеваний, клиническую картину которых определяют прежде всего изменения функционального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем. Физиологический эффект заключается в том, что в электромагнитном поле через ткани тела человека начинают протекать индуцированные токи. Безопасный предел индуцированного тока — 0,005 А.

**Радиационное поле (поле ионизирующих излучений).** Под термином *ионизирующее излучение* понимают любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов различных знаков. Это излучение обычно делят на два класса: непосредственно ионизирующее излучение (заряженные частицы — электроны, позитроны ( $\beta$ -частицы), протоны,  $\alpha$ -частицы и т. д.) и косвенно ионизирующее излучение (незаряженные частицы — нейтроны, фотоны и др., ионизирующие свойства которых проявляются в результате их взаимодействия с электронами (атомами) вещества).

Современный радиационный фон формируют: природные источники, которые существуют на протяжении всей геологической истории Земли; техногенные радионуклиды естественного происхождения — разведка и отработка месторождений полезных ископаемых, энергетика и т. п.; радионуклиды, образованные в результате работы АЭС, ядерных взрывов различного назначения и аварийных ситуаций [5].

Естественные (природные) источники ионизирующего излучения существуют в окружающей среде с момента образования Земли и подразделяются на внешние источники внеземного происхождения (космическое излучение и космогенные радионуклиды); внешние источники земного происхождения (радионуклиды, присутствующие в земной коре, атмосфере, гидросфере) с момента ее образования; внутренние источники — природные радионуклиды, поступающие в организм человека с пищей, воздухом и т. д.

*Космическое излучение* состоит из протонов (83–89 %) и частиц небольшого числа ядер тяжелых элементов (10–15%). В процессе взаимодействия космического излучения с атмосферой в ней возникают так называемые *космогенные радионуклиды*.

*К земным источникам* излучения относятся долгоживущие радионуклиды, возникшие в недрах Земли при ее образовании. В настоящее время в природе известно около 100 различных естественных радионуклидов (ЕРН), среди которых следует выделить две группы — «тяжелые» и «легкие» радионуклиды: «тяжелые» —  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ , образующие в процессе радиоактивного распада семейства урана, актиноурана и тория, каждое из которых включает до 14 элементов; «легкие» естественные радионуклиды  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ , не образующие радиоактивные семейства. Все они характеризуются большим временем жизни, но заметный вклад в естественный радиоактивный фон вносит только калий.

Радиоактивность вещества принято характеризовать его *активностью А*, которая численно равна числу распадов ядер радионуклида в единицу времени. Основной физической величиной, используемой в качестве оценки меры действия ионизирующего излучения, является поглощенная доза. Интенсивность излучения в дозиметрии характеризуют мощностью дозы, численно равной дозе, приходящейся на единицу времени.

При биологическом воздействии ионизирующего излучения на человека определяющую роль играет ионизация живой ткани, которая зависит от вида ионизиру-



ющего излучения, определяющего характер распределения поглощенной энергии. Для характеристики нормируемых величин вводят два понятия — *эквивалентная доза облучения органа или ткани* (equivalent dose in organ or tissue)  $H_T$  и *эффективная эквивалентная доза*, или *эффективная доза* (dose effective)  $E$ .

*Эквивалентная доза*  $H_T$  характеризует меру риска возникновения последствий для определенного органа и ткани с учетом вида облучения, а *эффективная доза*  $E$  характеризует меру риска возникновения последствий облучения всего тела человека с учетом радиочувствительности отдельных органов и тканей. Таким образом, эквивалентная и эффективная дозы являются биофизическими величинами и не могут быть непосредственно измерены, а только смоделированы. При этом для биологического эквивалента ткани мощность дозы в 1 мкР/ч эквивалентна 96 мкЗв/ч, а 1 мкЗв/ч эквивалентен 104,2 мкР/ч.

Природное излучение существовало в течение всей эволюции человека и влияло на его становление как биологического вида. В связи с этим можно предположить, что радиоактивный фон (ионизирующее излучение) необходим для существования жизни на планете в современной форме и только его повышенный уровень связан с риском для организма.

По характеру воздействия на организм человека естественные источники излучения обычно подразделяют на две категории — внешние и внутренние. К внешним относят источники внеземного происхождения (первичное космическое излучение) и излучение ЕРН. Источниками внутреннего облучения являются радионуклиды, присутствующие в организме человека и поступающие в организм с воздухом, пищей и водой. Из внутренних источников наиболее опасными являются  $\alpha$ -частицы, поступающие в организм с радоном.

В табл. 2 показано, что средняя эффективная эквивалентная доза облучения непрофессиональных групп населения равна примерно 2,4 мЗв/год и что основной вклад в дозовую нагрузку на человека вносят источники ряда  $^{238}\text{U}$  (56%), причем более 50% приходится на долю продукта деления  $^{238}\text{U}$ – $^{222}\text{Rn}$  и его короткоживущие продукты распада, которые являются основными источниками  $\alpha$ -излучения. Отсюда следует, что при оценке вклада источников ионизирующего облучения в дозовую нагрузку необходимо обращать особое внимание на радон, дозовая

Таблица 2. Среднегодовые эффективные эквивалентные дозы на душу населения от природных источников радиации

Источники излучения	Доза облучения, мкЗв/год		Всего	Вклад, %
	внешнее	внутреннее		
Космическое излучение	355		355	14
Космогенные радионуклиды		15	15	2
Земные (примордиальные радионуклиды):				
Ряд $^{238}\text{U}$ (в том числе $^{222}\text{Rn}$ )	100	1240 (1100)	1340	56 (51)
Ряд $^{232}\text{Th}$ (в том числе $^{220}\text{Tn}$ )	160	176 (160)	336	14 (7)
$^{40}\text{K}$	150	180	330	14
Итого:	765	1591	2356	100

нагрузка которого при неблагоприятных условиях может превышать в сотни и тысячи раз нагрузки от остальных источников радиации.

Табл. 3 отражает средние данные и не учитывает неоднородность естественного и техногенного фонов. Источники, которые возникают в результате хозяйственной деятельности человека и вообще от вмешательства человека в естественные природные процессы, могут варьировать в значительных пределах. В определенных условиях техногенный фон может значительно превышать естественный, а на территориях, где произошли ядерные аварии, фон может превысить естественный в тысячи раз.

Таблица 3. Эффективные эквивалентные дозы на душу населения от различных источников радиации

Источник облучения или вид практической деятельности	Доза на душу населения, мЗв	Эквивалентное число лет облучения от естественного фона
<i>За год</i>		
Естественный фон	2,4	1
Медицинское (диагностическое) облучение	0,4–1,0	0,2–0,4
Профессиональное облучение (медработники, работники атомной энергетики и промышленной рентгенографии)	0,002	0,001
Производство ядерной энергии	0,0002	0,0001 (0,004 )
<i>Однократно</i>		
Все испытательные ядерные взрывы	0,01	0,5 (2,4)
Аварии, связанные с утечкой радиоактивности		

К настоящему времени накоплен значительный опыт экогеологического изучения районов освоения месторождений полезных ископаемых. В то же время с методологической точки зрения вопросы радиоэкогеологической оценки месторождений, особенно месторождений нерадиоактивного сырья, проработаны недостаточно, несмотря на то что вклад в дозу облучения от техногенного загрязнения сопутствующими ЕРН может быть значительным и в ряде случаев едва ли не доминирующим. И потому при организации обеспечения радиационной безопасности следует придерживаться концепции (принципа) «не навреди»: любой вид деятельности, связанный с возможным негативным воздействием на людей, может быть использован в народном хозяйстве в том случае, если он приносит чистую прибыль, которая равна разности между суммарной прибылью и полными затратами, в том числе на обеспечение и соблюдение норм безопасности [6, 7].

**Геохимическое поле.** Оно формировалось в процессе рождения Земли под влиянием всех составляющих геофизического поля (в основном гравитационного и теплового) и на протяжении всей ее истории претерпевало значительные изменения. Формирование химического состава верхней части земной коры и атмосферы происходило путем закономерной дифференциации химических элементов в земной коре и элементов, выделенных из недр в виде восстановленных газов.

Изначально дифференциацию обеспечивала абиогенная система. По мере развития жизненных форм глобальный круговорот химических элементов стал контролироваться жизнедеятельностью организмов. Вследствие этого менялся состав атмосферы, а также океана и горных пород на поверхности древней суши. Изменение эколого-геохимических условий среды обитания оказывало, в свою очередь, воздействие на развитие организмов и совершенствование биогеохимических циклов. В глобальной системе биогеохимических циклов ведущее положение занял *углеродно-кислородный цикл*, главным звеном которого является система «высшие растения — почва». И потому есть все основания полагать, что изменения в геохимическом поле биосферы происходили относительно плавно. Становлению современной биосферы и существованию жизни на Земле, несомненно, способствовала эта относительная стабильность геохимического поля.

Среднее содержание химического элемента в определенном районе для данного типа пород представляет собой норму и называется *геохимическим фоном*. На геохимическом фоне можно выделить участки горных пород с повышенным содержанием рассеянных элементов — *геохимических аномалий*. Для рудных тел характерны аномалии в виде ореолов рассеяния, которые возникают над рудными телами. Конфигурация ореолов разнообразна и зависит от геологического строения и состава вмещающих пород, а также условий рудообразования и геохимической миграции.

Роль и значение природных и антропогенных геохимических процессов в зарождении, формировании, а также в эволюционном развитии жизни на Земле, с учетом сохранения комфортных условий и безопасности жизнедеятельности биоты и человека, определяются *геохимической экологической функцией* геологического пространства.

Процессы поступления в окружающую среду химических элементов, которые формируют геохимические поля (аномалии), имеют природное и антропогенное происхождение.

Природное поступление химических (в том числе и токсичных) элементов в окружающую среду определяется влиянием космохимических процессов и явлений, вулканической деятельностью, геодинамическими и геохимическими процессами, воздушной средой, а также фауной и флорой.

О космохимических источниках наши знания пока малы; однако установлено, что ежедневно на Землю выпадает до 170 т метеоритного вещества, в состав которого входят полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), хром, никель и другие элементы. В настоящее время на нашей планете насчитывается около 850 действующих вулканов, извергающих ежегодно более 3–6 млрд тонн вещества. Среди токсичных химических соединений вулканических выбросов наибольшее значение имеют *полициклические ароматические углеводороды*. Так, например, содержание такого высокотоксичного химического вещества, как бензо(а)пирен, составляет от 0,3–0,4 (вулкан Тятя) до 5,4–6,1 мкг/кг (вулкан Плоский Толбачик). Это означает, что при современном уровне вулканической активности в биосферу Земли ежегодно с пеплом поступает 12–24 т одного только бензо(а)пирена и от нескольких десятков до сотен тонн с лавой, не считая других (ПАУ).

Геохимические поля природно-антропогенного происхождения (аномалии), которые формируются в процессе накопления химических элементов в окружающей природной среде, по мере роста уровня антропогенного прессинга также

постоянно пополняются опасными веществами: *пестицидами* (альдрин, хлордан, ДДТ, дильдрин, эндрин, гептахлор, мирекс, хлордекон, эндосульфат, токсафен, гексахлор-циклогексан, линдан, гептахлорэпоксид, атразин); *промышленными веществами* (полихлорированные бифенилы (ПХБ), гексабромбифенил, пентахлорфенол, октил- и нонилфенолы, пентахлорнитробензол, фталаты, 1,2-, 1,3- и 1,4-дихлорбензолы, 1,2,4-трихлорбензол, 1,2,4,5-тетрахлорбензол, пента- и гексахлорбензолы, хлорированные насыщенные углеводороды (хлорпарафины)); *побочными продуктами* (полихлорированные дибензо-*n*-диоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)); *органическими соединениями металлов* (ртуть, свинец, олово).

Взаимосвязь в системе «эколого-геологическое пространство — растительность — животные — человек» осуществляется в результате миграции химических элементов. При этом на изменение параметров геохимических полей в первую очередь реагирует ее биотическая составляющая, а в различных видах растений, подверженных избыточным концентрациям токсикантов (Zn, Ni, Sr, Pb и др.), наблюдается значительная анатомическая изменчивость.

Источниками поступления токсичных химических элементов в компоненты окружающей среды являются различные виды хозяйственной деятельности, и в частности, добыча и переработка полезных ископаемых. К экологически значимым параметрам рудных месторождений относятся такие опасные химические элементы и их соединения, количества которых превышают ПДК в отвалах, хвостах, атмосфере и воде, а также взвешенные в воздухе твердые частицы, которые постоянно разносятся с территорий хвостохранилищ. Так, установлено, что частицы размером более 100 мкм полностью оседают в полости носа и рта, не проникая в трахею; частицы 50 мкм способны проникнуть в трахею, где они и осаждаются, а частицы размером 10–30 мкм уже проникают в бронхи и бронхиолы.

Производство химических веществ в мире стало резко увеличиваться. В настоящее время в базе данных Chemical Abstract Services имеются сведения почти о 8 млн соединений, многие из которых находят широкое применение в различных сферах жизни человека и которые содержат элементы, во много раз превышающие их кларковые содержания. И, естественно, это не может не влиять на состояние окружающей среды и здоровье человека. Вот некоторые факты.

Определенную опасность острого отравления человека представляют принимаемые внутрь лекарственные препараты *железа*, в частности сульфат железа. Известны заболевания и при дефиците железа — атрофический ринит, атрофия слизистой оболочки носа и др.

Отдельные случаи отравления *марганцем* выявлены у шахтеров марганцевых рудников. Токсическое действие марганца связано с проявлением аллергии, поражением центральной нервной системы, нарушением сердечно-сосудистой системы, поражением печени.

Недостаток в организме *хрома* проявляется в угнетении роста, нарушении обмена углеводного обмена, глюкозы, липидов и белка, возможно, способствует развитию сахарного диабета. Поступление хрома через дыхательные пути способствует возникновению изменений динамики легочной функции и заболеванию рака легких, развитию атеросклеротических явлений, нарушению деятельности нервной системы, половой функции и др.

Вдыхание пыли и дыма с повышенным содержанием *алюминия* поражает легкие, вызывая так называемую болезнь «алюминиевые легкие». Особенно токсичны сплавы алюминия с *магнием*, контакт с которыми вызывает одышку, боли в груди, кашель и изменения в слизистой верхних дыхательных путей.

Высокой токсичностью для любых форм жизни отличается *ртуть*, которая еще с древнейших времен используется в хозяйственной деятельности человека и является серьезным профессиональным заболеванием ювелиров, зеркальщиков, скорняков, врачей. В природных и техногенных системах ртуть имеет много форм нахождения, в том числе органо-металльную — очень опасную для человека.

\* \* \*

Приведенный выше краткий обзор геофизических и геохимических полей дает лишь общее представление об их влиянии на биосферу, на абиотическую и биотическую составляющие литосферы. Многие вопросы, касающиеся влияния внешних полей на живой организм, взаимосвязь полей с живым организмом, и в первую очередь с человеком, изучены не до конца. В частности — как реагирует живой организм и как организовать режим экологической безопасности, когда параметры нескольких полей одновременно выходят за «нормальные» рамки, насколько справедлива при этом линейная модель. Все это свидетельствует о том, что взаимосвязь в системе «геофизические поля — эколого-геологическое пространство — растительность — животные — человек» является многофакторной, чрезвычайно сложной, во многом не исследованной и для своего решения требует кооперации усилий — как геологов, так и специалистов в области биологии и медицины.

## Литература

1. СНиП II–7–81. Строительство в сейсмических районах (утв. постановлением Госстроя СССР от 15.06.1981 № 94) (ред. от 27.12.1999).
2. Новейший и современный вулканизм на территории России: Коллективная монография / под ред. Н. П. Лаверова. М.: Наука, 2005. 604 с.
3. Моисеенко У.И., Смыслов А.А. Температура земных недр. Л.: Недра, 1986. 178 с.
4. World Data Center for Geomagnetism, Kyoto. URL: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html> (дата обращения: 15.12.2015).
5. Беляев А. М., Иванюкович Г. А., Куриленко В. В., Хайкович И. М. Радиоэкология: учебное пособие / под ред. В. В. Куриленко. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2003. 324 с.
6. Нормы радиационной безопасности. СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009).
7. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. СП 1.2.6.1.2612–10 (ОСПОРБ-99/2010).

## References

1. SNiP II–7–81. *Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh (utv. postanovleniem Gosstroia SSSR ot 15.06.1981 № 94) (red. ot 27.12.1999)* [Sanitary Norms and Rules II–7–81. Building in the seismic regions (approved. Resolution of the USSR State Committee of 15.06.1981 № 94) (Ed. by 27.12.1999)].
2. *Noveishii i sovremennyi vulkanizm na territorii Rossii. Kollektivnaia monografiia* [Newest and contemporary volcanism in Russia. Collective monograph]. Ed. N. P. Laverova. Moscow, Nauka Publ., 2005. 604 p. (In Russian)
3. Moiseenko U. I., Smyslov A. A. *Temperatura zemnykh neдр* [Temperature of the Earth]. Leningrad, Nedra Publ., 1986. 178 p. (In Russian)
4. *World Data Center for Geomagnetism, Kyoto*. Available at: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html>.

5. Beliaev A. M., Ivaniukovich G. A., Kurilenko V. V., Khaikovich I. M. *Radioekologiya: uchebnoe posobie* [Radioecology: Textbook]. Ed. V.V.Kurilenko. St. Petersburg, St.-Petersburg University Press, 2003. 324 p. (In Russian)

6. *Normy radiatsionnoi bezopasnosti. SanPiN 2.6.1.2523-09 (NRB-99/2009)* [Radiation Safety Standards. Sanitary Rules and Norms 2.6.1.2523-09 (NRB-99/2009)].

7. *Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniia radiatsionnoi bezopasnosti. SP 1.2.6.1.2612-10 (OSPORB-99/2010)* [Basic Sanitary Rules of Radiation Safety. Sanitary Rules 1.2.6.1.2612-10 (OSPORB-99/2010)].

Статья поступила в редакцию 22 декабря 2015 г.

#### Контактная информация:

*Куриленко Виталий Владимирович* — доктор геолого-минералогических наук, профессор;

*vvk\_eco@mail.ru*

*Хайкович Иосиф Мордухович* — доктор физико-математических наук, профессор;

*imkha@inbox.ru*

*Лебедев Сергей Васильевич* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент;

*sergey-lebedev1950@yandex.ru*

*Kurilenko Vitaly V.* — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor;

*vvk\_eco@mail.ru*

*Khaykovich Iosef M.* — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor;

*imkha@inbox.ru*

*Lebedev Sergey V.* — PhD, Associate Professor; *sergey-lebedev1950@yandex.ru*