

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

И. М. Хайкович, С. В. Лебедев

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ
В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ**

Учебное пособие

Под редакцией проф. В. В. Куриленко

Санкт-Петербург
2013

УДК 504.05+504.5+550.3

ББК 26.2+20.1

X-16

Рецензент: докт. геол.-минер. наук, проф. *К. В. Титов*
(С.-Петербург. гос. ун-т)

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
геологического факультета*

Санкт-Петербургского государственного университета

И. М. Хайкович, С. В. Лебедев

X-16 Геофизические поля в экологической геологии: учеб. пособие /
И. М. Хайкович, С. В. Лебедев; под ред. В. В. Куриленко. – СПб.:
С.-Петербург. гос. ун-т, 2013. – 156 с.

Настоящее учебное пособие построено в соответствии с курсом «Экологическая геофизика», который читается студентам кафедры «Экологическая геология» геологического факультета СПбГУ. В пяти разделах пособия последовательно описаны физические свойства и экологические функции геофизических полей (естественных и техногенных), под постоянным энергетическим воздействием которых находится человек: гравитационное, сейсмическое (сейсмоакустическое), тепловое, электрическое и магнитное (электромагнитное), радиационное (поле ионизирующих излучений). Пособие содержит основные сведения о современном состоянии естественных и антропогенно-технических геофизических (точнее – экогеофизических) полей, об их природе, физико-теоретических основах, о влиянии геофизических полей на окружающую среду, биоту и человека.

Учебное пособие ориентировано прежде всего на студентов вузов. Однако оно также представляет интерес для преподавателей и научных работников, профессиональные интересы которых связаны с охраной окружающей среды, природопользованием и обеспечением экологической безопасности.

УДК 504.05+504.5+550.3

ББК 26.2+20.1

© И. М. Хайкович,
С. В. Лебедев, 2013

© Санкт-Петербургский
государственный
университет, 2013

Введение

Природная среда – это оболочка Земли, которая состоит из четырех элементов: атмосферы, литосферы, гидросферы и биосферы. Атмосфера, литосфера и гидросфера представляют собой ареал, в котором функционируют живые организмы – главный компонент четвертой составной окружающей среды – биосферы.

Внешняя газовая оболочка Земли, или *атмосфера*, простирается до высоты примерно 3000 км. Масса современной атмосферы составляет одну миллионную массы Земли, но она защищает все живые организмы Земли от космических излучений, определяет температурный режим и динамику всех экзогенных процессов в литосфере.

Внешняя твердая оболочка Земли, или *литосфера*, включает всю земную кору с частью верхней мантии; она является средоточием всех природных ресурсов, столь необходимых для существования жизни на Земле (минеральное сырье, энергоносители, вода и т. д.), и одним из главных объектов антропогенной деятельности. Основная часть литосферы – это изверженные магматические породы (95%) – граниты и гранитоиды на континентах (мощность 25–200 км), в океанах – базальты (мощность 5–100 км). Земная кора – тонкая верхняя оболочка Земли, мощность которой на континентах 40–80 км, под океанами – 5–10 км. Масса земной коры всего около 1% массы Земли, и на 99,5% она состоит из восьми элементов – кислород, кремний, водород, алюминий, железо, магний, кальций, натрий. В верхней части континентальной земной коры развиты грунты, представляющие собой органо-минеральный продукт многолетней деятельности живых организмов (растений, животных и микроорганизмов), воды, воздуха, солнечного тепла и света и являющиеся важнейшим природным ресурсом. В зависимости от климатических и геолого-географических условий мощность грунтов варьирует от 15–25 см до 2–3 м.

Водная сфера нашей планеты, или *гидросфера*, представляет собой совокупность вод океанов, морей, континентов, ледниковых покровов. Общий объем природных вод – примерно 1,39 млрд км³ (около 1/780 объема планеты) и покрывают они приблизительно 71% поверхности пла-

неты (361 млн км²). Вода играет практически основную роль в формировании поверхности Земли, ее ландшафтов, в развитии экзогенных процессов, переносе химических веществ и загрязнителей окружающей среды (ОС). Кроме того, вода – это

- составная часть всех живых организмов;
- основной элемент, который формирует обмен веществ в природной среде;
- важнейшее минеральное сырье (человечество использует ее в тысячи раз больше, чем угля или нефти).

Живые организмы неравномерно распространены в геологических оболочках Земли: литосфере, гидросфере и атмосфере. Поэтому биосфера включает *верхнюю* часть литосферы, *всю* гидросферу и *нижнюю* часть атмосферы.

Мощность верхней твердой оболочки Земли – литосферы – колеблется в пределах 50–200 км. Распространение жизни в ней ограничено и резко уменьшается с глубиной. Подавляющее количество видов сосредоточено в верхнем слое, мощностью в несколько десятков сантиметров. Наибольшая глубина, на которой были обнаружены некоторые виды бактерий, составляет 3–4 км (в подземных водах и нефтеносных горизонтах). Распространению жизни в глубь литосферы препятствуют различные факторы, главными из которых являются возрастающие с глубиной плотность среды и температура. В среднем температурный прирост составляет около 3 °С на каждые 100 м. Именно поэтому *нижней* границей распространения жизни в литосфере считают трехкилометровую глубину, где температура достигает около +100 °С.

Верхней границей биосферы принято считать озоновый слой, располагающийся на высоте от 30 до 50 км над поверхностью Земли. Он защищает все живое на нашей планете от мощного ультрафиолетового солнечного излучения, в значительной мере поглощая эти лучи. Выше озонового слоя существование жизни невозможно.

В целом биосфера очень похожа на гигантский суперорганизм, в котором автоматически поддерживается динамическое постоянство физико-химических и биологических свойств внутренней среды. Если бы на Земле не было жизни, то и «лик Земли стал бы также неизменен и химически инертен, как является неподвижным лик Луны, как инертны обломки небесных светил...» (Вернадский В. И., 2004. § 20. С. 56).

Особая роль в формировании экологической обстановки в биосфере – как на планете в целом, так и в отдельных ее регионах – принадлежит энергетике. Энергетическое состояние влияет (прямо или косвенно) на

живую природу и человека, на национальную безопасность и, в конечном счете, определяет само существование и жизнеобеспеченность нашей цивилизации.

Энергетика Земли складывается из внутренней энергии и энергии, поступающей из космоса, – главным образом энергии Солнца: ежесекундно Солнце направляет на землю энергию, равную $16,76 \cdot 10^{13}$ кДж. Примерно половина этой энергии достигает земной поверхности. Часть энергии, поглощенной атмосферой и гидросферой, расходуется на круговорот веществ в природе или же превращается в энергию ветра, волн, морских течений. Энергия, поглощенная верхним слоем литосферы, направлена на изменение рельефа, разрушение пород и другие процессы. Значительная часть солнечной энергии идет на развитие биосферы и расходуется на фотосинтез и создание живого вещества.

Необходимо отметить, что в настоящее время потребление энергии человечеством происходит весьма быстрыми темпами и составляет примерно 20% в год, причем основная энергия (от 80 до 90%) потребляется развитыми странами.

В целом для Земли наиболее правильным следует признать представление о множественности энергетических источников, историческая роль и соотношение которых менялись на разных стадиях развития планеты. Постепенно аккумулируясь в геологической среде, энергия по существу сформировала ее современный облик и создала специфическое *геофизическое поле*, отражающее физические свойства этой среды. Наиболее распространенным понятием поля является свойство материи, которое осуществляет определенные взаимодействия между макроскопическими телами или частицами, входящими в состав вещества, т. е. само понятие поля несет в себе энергетическое начало. Например, в поле тяготения осуществляются гравитационные взаимодействия, в электрическом и магнитном полях – взаимодействия электрических зарядов и намагниченных тел и т. д. На это собственное геофизическое поле накладывается геофизическое поле планет и межпланетного пространства, которые и создают в околоземном пространстве так называемое естественное **геофизическое** поле Земли, которое следовало бы называть **энергетическим** полем Земли, поскольку по существу отражает ее энергетику. Следуя определению, приведенному в Геологическом словаре (Т. 2. С. 107, «Поле геофизическое»), под **«геофизическим полем (или физическим полем Земли)»** будем понимать *множество значений физических величин (параметров), количественно характеризующих естественное или созданное в Земле искусственное физическое поле (или от-*

дельные его элементы) в пределах определенной области или территории Земли».

В процессе своей эволюции человек всегда находился и находится в энергетическом поле, точнее – под постоянным энергетическим воздействием составляющих естественного геофизического поля Земли, основными из которых являются следующие:

- гравитационное,
- сейсмическое (сейсмоакустическое),
- тепловое,
- электрическое и магнитное (электромагнитное),
- радиационное (поле ионизирующих излучений).

Все составляющие единого геофизического поля Земли, существующие на Земле с момента ее возникновения, определили облик нашей планеты и в процессе эволюции биосферы позволили устойчиво существовать живой природе вплоть до переживаемых нами исторического и геологического отрезков времени, а точнее – обеспечили динамически устойчивый процесс приспособления живых организмов к окружающему миру. В последние два столетия на естественные геофизические поля накладываются разнообразные по характеру и все возрастающие по интенсивности антропогенные геофизические поля, обусловленные хозяйственной деятельностью человека, причем их вклад в общее поле Земли настолько велик, что подчас превышает его естественную составляющую. Примером могут служить электромагнитные поля в мегаполисах. Понятно, что любое изменение составляющих геофизического поля Земли в принципе может оказывать (и оказывает) влияние (в том числе и негативное) на биоту и человека. Поэтому *физические поля всех видов, действующие в пределах литосферы или на ее границе с другими «сферами», могут быть отнесены к экогеофизическим*¹ *вне зависимости от их природы.* Но следует иметь в виду, что влияние геофизического поля Земли на живые организмы обусловлено не только пространственно-временной структурой каждой составляющей единого геофизического поля и их физическими свойствами, но и особенностями строения самих живых организмов. Отсюда ясна роль исследований влияния геофизических полей на биоту. Все это свидетельствует о необходимости постоянного изучения и мониторинга геофизических полей с точки зрения их влияния на ОС, биоту и человека.

В дальнейшем, следуя устоявшейся в литературе традиции, каждую

¹ Приставка «эко» подчеркивает, что геофизические поля оказывают воздействие на природные и природно-техногенные системы и биосферу в целом.

из составляющих геофизического поля будем также называть «полем» – с добавлением названия характеризующего его физического параметра.

Остановимся кратко на основных особенностях перечисленных выше геофизических полей.

Гравитационное поле сформировалось в процессе рождения Солнечной системы и если менялось на протяжении истории существования биосферы, то, по всей видимости, плавно, эволюционно. Это позволяет предполагать, что в каждый достаточно большой геологический отрезок времени биосфера существовала при относительно стабильном гравитационном поле.

Сейсмическое поле Земли разных природы и интенсивности существовало с момента возникновения планеты Земля и сопровождает ее существование, периодически напоминая о себе в виде тектонических движений, сопровождаемых землетрясениями, цунами и пр.

Температурное поле Земли в историческом плане претерпело значительные колебания, однако они, по всей видимости, в среднем происходили постепенно, хотя отдельные участки земной поверхности периодически претерпевали резкие изменения, о чем свидетельствуют данные палеобиологии.

Магнитное (геомагнитное) поле подвергалось более 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*.

Радиационное поле (поле *ионизирующих излучений*) обязано своим существованием ядерным процессам и ядерным реакциям в теле Земли и в окружающем ее космическом пространстве. Это поле, по-видимому, изменялось постепенно в сторону уменьшения – в связи с постепенным распадом образованных при рождении нашей планеты радиоактивных элементов.

Все естественные геофизические поля обусловлены особенностями строения литосферы и Земли в целом (например, гравитационное и геомагнитное поля) или характером геодинамических, физических и химических процессов (в частности, сейсмическое, радиационное, температурное, электромагнитное поля) и определяют форму и состояние Земли в целом, связывая массивы горных пород в единые системы геологических тел, удерживая гидросферу и атмосферу, поддерживая процессы энергомассопереноса и осуществляя передачу энергии и информации между геологическими телами и сферами, столь необходимые для суще-

ствования жизни на Земле. Следует иметь в виду, что жизнь на Земле появилась, развивалась и находится под постоянным влиянием природных (преимущественно гравитационных, геомагнитных, радиационных и температурных) полей. Геофизические поля Земли (особенно магнитное, электрическое, радиационное и тепловое) в настоящее время уже не первозданные, не природные по своей структуре и свойствам. Они в большей или меньшей степени антропогенно искажены, причем далеко не в благоприятном для жизнедеятельности человека и других организмов направлении.

Обычно наложение геофизических полей происходит в соответствии с *принципом суперпозиции*, согласно которому влияние полей друг на друга отсутствует, а экологический эффект можно оценить по сумме эффектов, создаваемых отдельными источниками. Однако в ряде случаев в физических полях Земли наблюдаются и так называемые *нелинейные эффекты*, когда изменение параметров одного геофизического поля приводит к изменению параметров и других геофизических полей (например, сейсмoeлектрический, пьезoeлектрический эффекты и др.). При наложении таких полей экологический эффект, как правило, будет превышать (иногда значительно) простую сумму экологических эффектов от каждого поля в отдельности. Кроме того, следует иметь в виду, что и живые организмы могут реагировать на геофизическое поле не как на сумму его отдельных составляющих, так что влияние суммарного геофизического поля не всегда можно отнести к линейным процессам. Так, одновременное действие сразу нескольких факторов ОС – температурного поля и поля ионизирующего излучения, вариаций геомагнитного, электростатического и электромагнитного полей и т. п. – может влиять (и довольно значительно) на пределы толерантности (переносимости) организмом каждого из них в отдельности. Как правило, при этом фиксируется сужение рамок толерантности, поскольку действие отдельных факторов может усиливаться за счет ослабляющего организм действия других факторов (синергетический эффект).

Но возможны ситуации, когда действие одного из факторов может оказаться «защитным» в отношении действия другого фактора. Так, постоянное магнитное поле, микроволновое излучение могут повысить радиационную устойчивость живого организма. Возможны, по крайней мере гипотетически, аналогичные эффекты, вызываемые геофизическими полями других видов, присущими литосфере.

Естественные геофизические поля являются в принципе *неуправляемыми*, т. е. они существуют помимо воли исследователей, исполь-

зующих их для решения тех или иных задач, например для изучения свойств оболочек Земли, в том числе и экогеологических. Искусственные геофизические поля можно подразделить на неуправляемые и управляемые. К первым следует отнести все техногенные поля, в том числе обусловленные работой механизмов и машин, энергетических установок, транспортных средств, средств связи и других источников антропогенной деятельности. Управляемыми являются геофизические поля, создаваемые специально для изучения состава и строения Земли, для поисков и разведки полезных ископаемых, решения инженерных, технических и экологических задач с помощью разных источников (возбудителей упругих волн, батарей и генераторов постоянного или переменного тока, радиоактивных и радиационных источников гамма-излучения и нейтронов и т. д.).

Среди методов изучения состава и свойств геологической среды, экогеологического ее состояния и антропогенного воздействия на нее большая роль принадлежит геофизическим методам, точнее экогеофизическим. Поэтому вполне оправдано существование такого научно-прикладного направления в геофизике как **экологическая геофизика**, которое можно определить как *раздел прикладной геофизики, изучающий с помощью геофизических методов природные, природно-техногенные и техногенные процессы и явления и порождаемые ими естественные и техногенные геофизические поля – с целью получения измерительной информации о воздействии этих полей, явлений и процессов на человека и биоту.*

Если исходить из этого определения, то следует признать, что объектом исследования экологической геофизики в общем случае являются верхняя часть литосферы, гидросфера, нижняя часть атмосферы и вся техносфера, а предметом – изучение влияния естественных (космических и земных) и искусственных (антропогенных) геофизических полей, их изменяющихся в пространстве и во времени свойств и характеристик на природную среду, биоту и человека. При этом под «верхней частью литосферы» обычно подразумевают поверхностную оболочку Земли мощностью в несколько сотен метров (назовем ее геофизической средой), которая включает почвы, горные породы, поверхностные и подземные воды и которая подвержена воздействию экзогенных (атмосферных и поверхностных) и техногенных (физико-химических и энергетических) факторов, а также эндогенных (внутриземных) процессов.

Содержание

Введение	3
1. Гравитационное поле	10
1.1. Общие сведения	–
1.2. Нормальное гравитационное поле и форма Земли	14
1.3. Гравитация и живые организмы	16
1.4. Гравитация и экогеологические процессы	17
1.5. Гравитация и техногенез	24
2. Сейсмоакустические и шумовые поля	27
2.1. Общие сведения	–
2.2. Внутреннее строение Земли	29
2.3. Некоторые характеристики сейсмических волн в горных породах ...	32
2.4. Оценка и прогноз землетрясений	34
2.5. Экологические последствия землетрясений	37
3. Тепловое поле	44
3.1. Общая характеристика формирования теплового поля	–
3.2. Теплоперенос и тепловой поток из недр Земли	47
3.3. Роль радиогенной составляющей в формировании теплового потока Земли	50
3.4. Роль вулканических процессов в тепловом потоке и их экологическое воздействие	63
3.5. Влияние теплового поля на изменение климата Земли и на живые организмы	69
4. Геоэлектромагнитное поле	73
4.1. Общие сведения об электрических и магнитных полях	74
4.2. Магнитное поле Земли	82
4.3. Естественные электрические и электромагнитные поля	92
4.4. Влияние электромагнитных полей на человека	96
5. Поле ионизирующих излучений	103
5.1. Общая характеристика формирования поля ионизирующих излучений	–
5.2. Естественные источники ионизирующих излучений	107
5.3. Характеристики величин и единиц в области ионизирующих излучений	112
5.4. Механизм воздействия ионизирующего излучения на человека	129
5.5. Основные принципы нормирования дозовых нагрузок	133
5.6. Современный радиоактивный фон	137
5.7. Радиоактивное загрязнение окружающей среды при эксплуатации месторождений	147
Приложение	151
Рекомендуемая литература	153

Учебное издание

Хайкович Иосиф Мордухович
Лебедев Сергей Васильевич

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ
В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ**

Учебное пособие

Под редакцией проф. *В. В. Куриленко*

Редактор *Э. А. Горелик*
Верстка *Н. В. Беляевой*

Подписано в печать 09.04.2013.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 9,68. Уч.-изд. л. 11,3. Тираж 100 экз. Заказ 4.

Геологический факультет СПбГУ.
Отпечатано в участке Службы оперативной полиграфии
по направлениям «геология и менеджмент»
Издательского центра Издательства СПбГУ.
199034, С.-Петербург, Университетская наб., 7/9