Санкт-Петербургский государственный университет

***БИРИЧЕВА Ксения Васильевна***

**Выпускная квалификационная работа**

***Влияние техногенеза на изменение радиационного фона***

Уровень образования: бакалавриат

Направление 05.03.06 «Экология и природопользование»

Основная образовательная программа СВ.5024.2018 «Экология и природопользование»

Профиль «Рациональное природопользование»

Научный руководитель: профессор кафедры геоэкологии и

природопользования ИНоЗ СПбГУ, доктор физико-математических наук, **Белозерский Геннадий Николаевич**

Рецензент: заместитель директора по научной работе ЗАО «Научно-Производственная Фирма «Аргос» кандидат технических наук, доцент, **Лобынцев Валентин Васильевич**

Санкт-Петербург

2022

**СОДЕРЖАНИЕ**

[Введение 3](#_Toc104147376)

[ГЛАВА 1. ОЦЕНКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВЕЩЕСТВ НА ЗЕМЛЕ ЗА СЧЕТ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ 6](#_Toc104147377)

[1. Перенос вещества речным стоком 9](#_Toc104147378)

[2. Перенос вещества за счет эолового переноса 12](#_Toc104147379)

[3. Перенос вещества склоновым стоком 13](#_Toc104147380)

[4. Оценка общего количества массы веществ, перемещаемых за счет естественных процессов. 14](#_Toc104147381)

[ГЛАВА 2. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ВЕЩЕСТВА НА ЗЕМЛЕ ЗА СЧЕТ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ 19](#_Toc104147382)

[1. Оценка массы перемещаемого вещества за счет влияния техногенеза на естественные процессы 20](#_Toc104147383)

[2. Оценка масс перемещаемых веществ за счет некоторых отраслей промышленности 27](#_Toc104147384)

[3. Оценка масс перемещаемых веществ за счет добычи угля 28](#_Toc104147385)

[4. Оценка масс перемещаемых веществ за счет за счет добычи нефти и газа 28](#_Toc104147386)

[5. Оценка масс перемещаемых веществ за счет добычи металлических руд 29](#_Toc104147387)

[6. Оценка масс перемещаемых веществ за счет добычи урана 29](#_Toc104147388)

[7. Оценка масс перемещаемых веществ за счет добычи фосфоритов 30](#_Toc104147389)

[8. Исследования строительных материалов в РФ и за рубежом 31](#_Toc104147390)

[ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕНЕЗА НА РАДИАЦИОННЫЙ ФОН 33](#_Toc104147391)

[Заключение 41](#_Toc104147392)

[Список литературы 44](#_Toc104147393)

# **Введение**

Ионизирующие излучения – это фактор, оказавший влияние на нынешнее состояние нашей планеты, ее эволюцию. Естественный радиационный фон существовал на Земле на всех этапах ее формирования. Он образовался задолго до того, как появились первые живые организмы, а впоследствии и биосфера в целом [1].

В Федеральном Законе от 22 августа 2004 года «О радиационной безопасности населения» [2] содержится следующее определение ЕРФ: ***Естественный радиационный фон (ЕРФ)***– это доза излучения, создаваемая космическим излучением и излучением природных радионуклидов, естественно распределенных в земле, воде, воздухе, других элементах биосферы, пищевых продуктах и организме человека. Все живые организмы подвергаются влиянию радиационного фона, который характерен для определенной местности.

***Актуальность*** данной работы заключается в том, что в результате бурного развития науки, техники и промышленности антропогенное влияние на биосферу возрастает. Среди большого количества проблем, связанных с воздействием человека на окружающую среду, нельзя не выделить добычу, перемещение и использование в промышленных масштабах горных пород. Процессы образования, трансформации и перемещения вещества на Земле относятся к числу важнейших процессов, которые формируют окружающую человека среду. Вследствие влияния техногенеза происходят изменения и в радиационном фоне.

Масштабы антропогенной деятельности за последние десятилетия подтверждают мысли, высказанные в России в начале 20 века академиком-геологом Алексеем Петровичем Павловым и затем развитые академиком Владимиром Ивановичем Вернадским (в 1944 году): «…человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой». Однако, в обоих случаях никаких количественных оценок не было сделано [3].

В учебнике «Основы экология» Юджина Одума (1971 год) [4] нет конкретного определения техногенеза. Но, руководствуясь его текстом, можно сказать, что техногенез – это процесс изменения человеком физических и химических условий среды его обитания для удовлетворения собственных нужд, сопровождающихся развитием науки и техники. В курсе лекций по «Экологической седиментологии» [6] профессора Опекунова Анатолия Юрьевича содержится следующее толкование данного термина. Техногенез – это преобразование биосферы, вызываемое совокупностью геохимических процессов, связанных с технической и технологической деятельностью людей по извлечению из окружающей среды, концентрированию и перегруппировке целого ряда химических элементов, их минеральных и органических соединений. Проанализировав определение данного термина у разных авторов, мы примем следующее определение техногенеза, призванного отразить то обстоятельство, что огромные массы веществ, экранированные до этого от биосферы вышележащими слоями земли, оказываются «вдруг» на поверхности Земли.

***Техногенез*** – это процесс преобразования окружающей среды под воздействием производственной деятельности человека.

***Целью*** данной работы является изучение техногенеза и его влияния на изменение радиационного фона.

Для достижения данной цели были поставлены ***следующие задачи:***

1. Оценка количествперемещаемых веществ на Земле за счет естественных процессов.
2. Оценка влияния техногенеза на изменение количеств перемещаемого вещества за счет естественных процессов.
3. Расчет количеств перемещаемых веществ за счет некоторых отраслей промышленности (сельское хозяйство, угольная, нефтегазовая, строительная промышленность, добыча руд).
4. Оценка активности перемещаемых на Земле веществ.
5. Выявление воздействия техногенеза на изменения в радиационном фоне.

***Объект исследования:*** техногенез и изменения радиационного фона под его воздействием.

***Предмет исследования:*** анализ сведений о количествах веществ, перемещаемых за счет техногенеза, с последующим установлением их влияния на изменения радиационного фона.

В данной работе под понятием «вещество» понимается грунт и все его составляющие. Мы будем следовать определению, принятому авторским коллективом под руководством Трофимова В.Т. и данному в третьем издании учебника "Грунтоведение" (1971) [8]: «***Грунты*** — это любые горные породы и почвы, которые изучаются как многокомпонентные системы, изменяющиеся ко времени, с целью познания их как объекта инженерной деятельности человека».

Грунты разного вида и типа считаются важнейшим источником радиационного воздействия на население [9]. В их состав всегда входят радионуклиды естественного происхождения, определяющие естественный радиационный фон. Естественными радионуклидами, которые вносят наиболее значимый вклад в естественный радиационный фон являются радиоактивные семейства 238U, 235U и 232Th с дочерними продуктами их распада, а также 40K [1].

По данным, которые регулярно представляет в ООН Научный комитет по действию атомной радиации, годовая эффективная доза облучения человека за счёт естественного радиационного фона составляет в среднем 2,4 мЗв/год. Внешнее воздействие обусловлено космическим излучением - 0,41 мЗв/год, излучением от наземных источников - 0,48 мЗв/год [10].

В результате активной антропогенной деятельности на поверхность Земли вместе с горными породами добываются различные естественные радионуклиды. В следствии этого изменяется радиационный фон, что несет за собой экологические последствия.

## **ГЛАВА 1. ОЦЕНКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВЕЩЕСТВ НА ЗЕМЛЕ ЗА СЧЕТ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Естественный радиационный фон формируют 40К и члены радиоактивных семейств 235U, 238U и 232Th [1]. Одним из источников поступления в окружающую среду естественных радионуклидов естественного происхождения являются горные породы, формирование которых неразрывно связано с включением в их состав радиоактивных элементов. Различные горные породы имеют отличия в содержании радионуклидов [9].

На начальных этапах развития нашей планеты при процессах дифференциации малораспространенные элементы накапливались и концентрировались в жидких растворах в мантии, а затем мигрировали, участвуя в различных формированиях окружающей среды. В результате мантия становилась относительно обедненной, а кора обогащенной подобными элементами [1]. Концентрация урана (U) в нижней части коры равняется 0,7·10-6, а в верхней - 2,5·10-6 (средняя - 1,7·106) [11].

Рассеивание радионуклидов происходит в результате процессов циркуляции вещества на Земле путем эрозии, твердого стока рек, поверхностного стока, осадкообразования, вулканической деятельности, пыльных бурь… Еще в 1971 году в учебнике «Основы экологии» Юджин Одум рассмотрел понятие геохимических циклов и пришел к тому, что радионуклиды поступают в природную среду посредством физических процессов, переносящих их в воздушной и водной средах до того момента, пока они где-то не локализуются [4]. Благодаря непрерывным разрушительным процессам гидрологического, геохимического характера, радионуклиды подвергаются широкому рассеиванию. Эти процессы могут быть обусловлены как природной, так и человеческой деятельностью [9].

В труде Ковды В.А. «Биогеохимия почвенного покрова» (1985) [12] говорится, что продукты выветривания и почвообразования, образующиеся на суше, редко остаются и сохраняются на месте возникновения. Вследствие этого возникает ***биогеохимический перенос*** - поток водных масс, обломочного материала, твердых, растворенных и газообразных продуктов выветривания и почвообразования от горных регионов и высоких плато к низменностям, морям и океану [12]. Общая схема планетарной миграции веществ на суше показана на Рисунке 1.

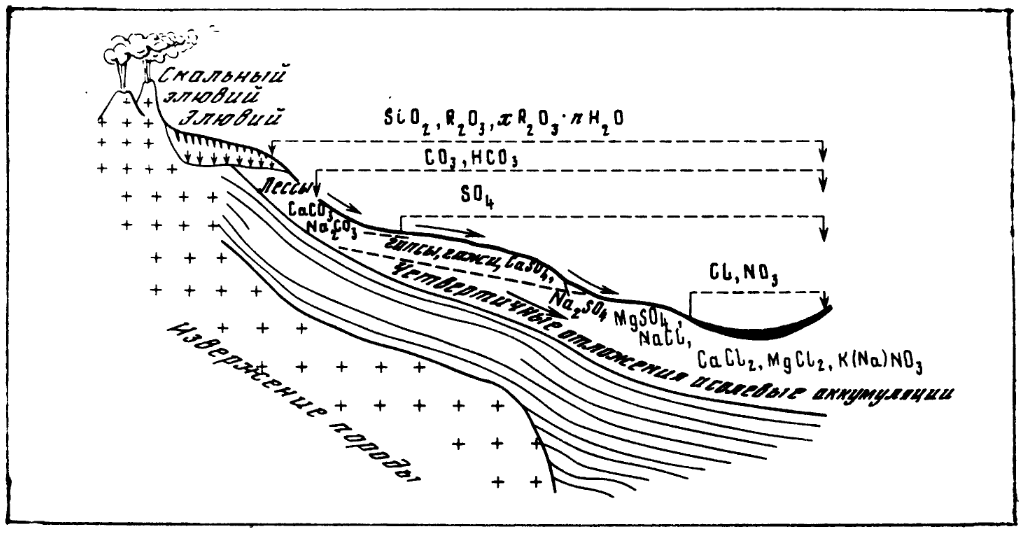


Рисунок 1. Схема аккумуляции и дифференциации вещества на бессточном континенте [12].

Если низменности материка дренируются океаном, то конечным базисом аккумуляции будет океан (Рисунок 2).

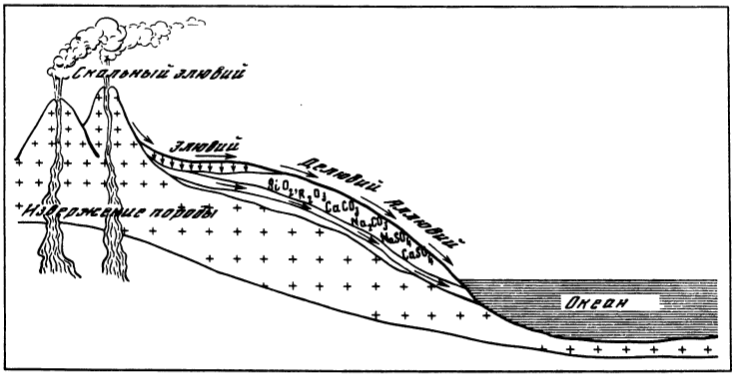


Рисунок 2. Схема аккумуляции и дифференциации вещества на континенте со стоком в океан [12].

Между горными и платообразными эрозионно-денудационными областями суши (примерно 20-30% поверхности материков) и современными аккумулятивными низменностями внутриматериковых депрессий, береговых, дельтовых, шельфовых мелководий расположены переходные транзитные области, в которых могут выпадать полностью или проявляться в ослабленной степени и сочетаться черты, свойственные как горно-эрозионным, так и аккумулятивным ландшафтам [12].

Охарактеризованные основные почвенно-геохимические макротипы территории суши связаны друг с другом гидрогеологически, геохимически, генетически и исторически. Они представляют собой главные формы проявления глобальной литологии и геохимии поверхности суши и почв: генерирование минерального и органогенного (биогенного) мелкозема, дисперсных масс и растворов, их вынос, транспорт, транзит, перераспределение, дифференциацию, частичную и основную аккумуляцию [13].

Перенос механического обломочного материала по уклону местности происходит под влиянием сил гравитации, движения льда и воды тем дальше и интенсивнее, чем больше степень его дисперсности и чем выше скорость движения [9].

Далее будут рассмотрены количественные оценки объемов веществ, перемещаемых на Земле за счет естественных процессов, упомянутых выше.

## **Перенос вещества речным стоком**

В учебнике «Геоморфология» 2022 года Сергея Фадеевича Болтрамовича [14] говорится об эрозионной работе водотоков. Ее эффект существенно зависит от водного режима (в половодья и паводки эрозия усиливается) и податливости к размыву встречающихся на пути горных пород. Текучей воде свойственно приспосабливаться к участкам относительно ослабленным - зонам разломов и повышенной трещиноватости пород, осям складок - где ей проще прокладывать себе дорогу.

В общем и целом, глубинная эрозия преобладает при больших уклонах и невыработанном продольном профиле, боковая - при малых уклонах и в условиях приближения продольного профиля водотока к равновесному состоянию [5].

Медленно, но непрерывно и на больших площадях происходит перенос минеральных частиц речными водами. Часть из них транспортируется в форме взвешенных и влекомых наносов. Другая часть переносится в растворенном виде. Всю массу переносимого рекой твердого материала называют ее твердым стоком [14].

Величина твердого стока рек зависит не только от их эрозионной способности, но и от количества материала, поступающего в русло со склонов. С высоких берегов горных рек в русло попадает много обломков - продуктов физического выветривания. Это усиливает корразию дна, но лишь до тех пор, пока не наступит перенасыщение и вся энергия потока не будет тратиться на перенос твердого материала в ущерб эрозии [14].

Маленьким твердым стоком обладают реки, вытекающие из крупных озер, которые играют роль своеобразного отстойника для взвеси. К числу таких рек относятся Нева, Ангара, Святого Лаврентия. Вообще твердый сток всех рек суши огромен — более 20 Гт/год [4], в том числе сотни миллионов тонн - в растворе (несмотря на общую малую минерализацию речных вод). Наибольшим твердым стоком обладают реки, который текут в Северный Ледовитый океан. Еще больше твердый сток у некоторых временных водотоков-селей (их называют также грязекаменными потоками). Содержание твердого материала в селях колеблется от 10 до 75% по массе [14].

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Материк | Площадь водосбора, 106 км2 | Вынос | |
| т ּ км2 | общий, Гт |
| Северная Америка | 20,7 | 634 | 1,96 |
| Южная Америка | 19,4 | 414,3 | 1,20 |
| Африка | 19,9 | 181,3 | 0,54 |
| Австралия | 5,2 | 297,5 | 0,23 |
| Европа | 9,3 | 233,0 | 0,32 |
| Азия | 26,9 | 3962,0 | 15,91 |
| Всего | 101,4 | - | 20,16 |

Таблица 1. Годовой вынос осадочного материала реками с материков в океаны [4]. Примечание: Тонны на 1 км2 можно пересчитать в объеме, исходя из того, что слой осадка толщиной в 1 м на площади 1 га (0,01 км2) весит около 11083 т.

Твердый сток для всей поверхности суши (исключая Антарктиду и Гренландию) составляет ~20 Гт/год по Ю. Одуму 4], ~24 Гт/год по Ковде В.А. [12], ~22,5 Гт/год по Р. Гаррелсу и Ф. Маккензи [12], ~14 Гт/год по Бондареву Л.Г. [15], ~14 Гт/год по Королеву В.А. [16], ~18,5 Гт/год по Лисицыну А.П. [17].

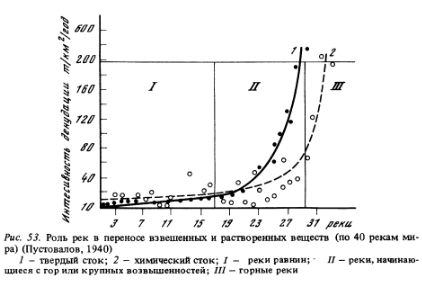


Рисунок 3. Роль рек в переносе взвешенных и растворенных веществ (по 40 рекам мира). 1 – твердый сток; 2 – химический сток; I – реки равнин; II – реки, начинающиеся с гор или крупных возвышенностей; III – горные реки [12].

В учебнике Милютина А.Г. «Геология» [20] показывается, что в тундре и тайге величина твердого стока не превышает 5-10 т/км2 в году. В зоне широколиственных лесов модуль твердого стока обычно равен 10-20 т/км2 в год, в лесостепи достигает 150 т/км2 в год, в степях – 50-100 т/км2 в год. В пустынях твердый сток резко сокращается по причине практического отсутствия жидкого стока. В экваториальных ландшафтах модуль твердого стока невелик (в бассейне р.Конго-18-37 т/км2 год, в бассейне р. Амазонка – 67-87 т/км2 год). Вынос твердого материала достигает своего максимума в горах и может составлять 2000-2500 т/км2 год и более (в горах Средней Азии). Горные реки при этом ежегодно уносят с каждого квадратного километра по 600-2300 т [20].

## **Перенос вещества за счет эолового переноса**

Почвообразование и осадконакопление сопровождается эоловой денудацией и эоловой аккумуляцией веществ. В условиях сухого климата тончайшие частицы захватываются воздушным потоком и вихревыми движениями вовлекаются в атмосферу на значительную высоту, разносятся на громадные пространства и выпадают с атмосферными осадками. Этим же путем частицы вовлекаются в воздушные потоки с поверхности солончаков, озер, морей и океана в периоды штормов и циклонов. В результате деятельности вулканов атмосфера обогащается аэросуспензиями и аэрозолями, которые уносятся воздушными потоками далеко от места извержения. Немало вещества поступает в атмосферу с космической пылью [12].

Роль эолового переноса в судьбе продуктов выветривания и почвообразования резко отличается от роли воды. Водные потоки сносят продукты выветривания и почвообразования по уклону местности (и лишь редко - в форме капиллярных и пленочных растворов - в восходящем направлении). Эоловый перенос нередко перераспределяет вещество в восходящем направлении, перенося взвешенную массу вверх по долинам рек, по склонам водоразделов и гор, через океанические водоемы [12].

Эоловая пыль осаждается на ледниковые и снежниковые покровы гор и при их таянии образуются толщи лессовидных пылеватых суглинков. Мощные потоки ветра перемещают тонкий, средний и крупный песок на значительные расстояния, формируя барханы. Ветер переносит в пустынях и "псевдопесок", т.е. агрегированную соляную пыль, состоящую из глины, гипса, крупинок хлоридов и сульфатов натрия, образуя иногда мощные эоловые солевые покровы в виде дюн и барханов [12].

Общеизвестно, что тонкая пыль за несколько дней может переместиться с воздушными массами на расстояние до 2-3 тыс км [12] на высотах от 1,8 м до 1000 м [21]. Значительные массы взвешенного в воздухе материала поступают с атмосферными осадками в реки, озера и моря, участвуя в формировании делювия, аллювия и донных отложений [12].

Согласно Кларку, в среднем на каждый километр суши ежегодно выпадает от 2 до 20 т вещества в результате эолового переноса [12]. По Ковде В.А. эоловый перенос веществ составляет ~1 Гт/год [12].

Роль эоловых агентов в формировании коры выветривания и почвенного покрова изучена недостаточно. Вокруг этой проблемы идет борьба мнений, и следует признать, что значение этого процесса недооценивается.

## **Перенос вещества склоновым стоком**

Непрерывные тектонические движения земной коры сопровождаются непрерывным стоком, т.е. перераспределением продуктов выветривания и почвообразования делювиальными водами в направлении к низменностям и депрессиям [12].

Вследствие деятельности склонового стока происходит постоянный смыв продуктов первичного почвообразовательного процесса и остатков организмов с поверхности скал. На склонах, даже покрытых древесной растительностью, имеет место слабый, но постоянный снос верхней части гумусового горизонта. Движущиеся делювиально-пролювиальные потоки воды уносят в направлении стока наиболее подвижные продукты из коры выветривания и почвенных горизонтов. Этим стоком осуществляется постоянная общая денудация поверхности горной суши [12].

В среднем денудация склоновым стоком для 1 км2 суши составляет ~26 т/год [12]. Следовательно, если площадь суши Земли без Антарктиды и Гренландии составляет ~133 млн км2, то за год склоновым стоком смывается ~3,5 Гт/год. В то время, когда твердым стоком ландшафты суши теряют ежегодно ~14 Гт вещества, что составляет 100-110 т/км2 [15], например, эоловым переносом 1 Гт/год [12].

Эти величины невелики на первый взгляд, но в абсолютных цифрах и за несколько тысячелетий почвообразования процессы денудации приводят к значительным почвенно-геохимическим изменениям.

## **Оценка общего количества массы веществ, перемещаемых за счет естественных процессов.**

Поиск информации для подсчета баланса перемещения веществ на Земле в результате деятельности природных процессов затруднен, потому что она часто труднодоступна. Но все же эти данные необходимы в настоящей работе, поскольку для оценки влияния техногенеза на радиационный фон нужно изначально разобраться в том, что же происходило в природе до того, как человек начал воздействовать на окружающую его среду (изучить фон перемещения веществ на Земле за счет естественных процессов).

За период написания настоящей выпускной квалификационной работы для количественной оценки перемещаемого вещества на Земле за счет естественных процессов были проанализированы труды нескольких ученых.

Так в учебнике «Основы экологии» Юджина Одума (1971 г.) [4] показана обобщенная схема цикла переноса вещества на Земле за счет естественных процессов (Рисунок 4). В отдельных случаях около стрелок приведены количества веществ, участвующих в круговороте. Там, где возможны оценки количеств веществ, они указаны в геограммах на миллион лет (1 геограмм = 1020 г = 1014 т (Ю. Одум, 1971)). Суммарно (в пересчете на 1 год) ~18 Гт/год [4]

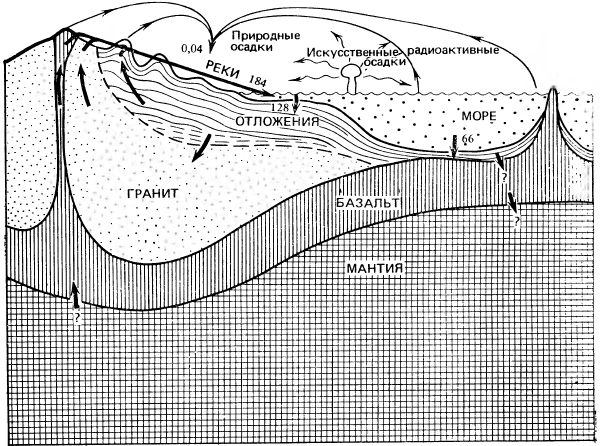


Рисунок 4. Схема осадочного цикла [4]

По Р. Гаррелсу и Ф. Маккензи круговорот веществ за счет естественных процессов представлен на Рисунке 5 (в геограммах на млн лет). Суммарно (в пересчете на 1 год) ~25 Гт/год [12].

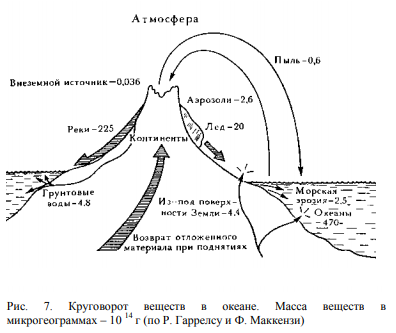


Рисунок 5. Круговорот веществ по Р. Гаррелсу и Ф. Маккензи [12].

В работах Бондарева Л.Г. [15], Королева В.А. [16], Лисицына А.П. 17] были найдены следующие данные по перемещению веществ за счет естественных процессов (Таблица 2):

Таблица 2. Количество переносимого вещества на Земле за счет естественных процессов согласно работам [15-17].

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Статья баланса | Масса перемещаемого вещества, Гт/год | | |
| По Бондареву | По Королеву | По Лисицыну |
| Твердый сток рек | 14,1 | 14,1 | 18,53 |
| Сток растворенных веществ | 1,6-1,7 | 3,3 | 3,2 |
| Денудация в областях покровного оледенения, ледниковый сток | 2,2-2,3 | 2,2-2,3 | 1,5 |
| Морская абразия (абразия берегов) | 0,7-1,1 | 0,7-1,0 | 0,5 |
| Эоловый вынос | 2,0-4,0 | 0,3-0.5 | 1,6 |
| Фитогенный вынос минеральных веществ | 1,1-1,6 | 1,0 | - |
| Вулканизм | 1,8 | 3,0 | 1,8 |
| Биогенная аккумуляция | 1,0 | - | 1,7-1,8 |
| Аккумуляция вещества, поступающего из космоса (космогенный материал) | <0,02 | - | 0,01-0,08 |
| Общий итог | 23,5-27,5 | 24,6-25,2 | 28,84-29,01 |

Объемы перемещаемых грунтов и горных пород за счет природных процессов (с учетом сжигаемого топлива) по Бондареву Л.Г. составляют 26,1-30,1 Гт/год, по Королеву В.А. – 31,1-31,7 Гт/год, а по Лисицыну А.П. - 28,84-29,01 Гт/год. Разница в подсчетах объясняется тем, что Бондарев Л.Г. подходил к оценке перемещаемых грунтов с позиций биогеохимического круговорота веществ, осуществляемого на планете; Королев В.А. в качестве подхода принимал количество вещества, перемещаемого с поверхности суши в океан и обратно, а Лисицын А.П. высчитывал баланс осадочного материала в Мировом океане.

В работе Ковды В.А. «Биогеохимия почвенного покрова» (1985) [12] представлена следующая таблица по перемещению веществ на Земле за счет естественных процессов (Таблица 3):

Таблица 3. Количество переносимых, в начале 1980-х г.г., веществ на Земле за счет естественных процессов согласно Ковде [12].

|  |  |
| --- | --- |
| Статья баланса | Масса переносимого вещества, Гт/год |
| Механический перекат обломочного гравийного материала | 15-20 |
| Взвешенные в текучей воде пыль и глины | 6 |
| Растворенные в текучих водах соли | 3-4 |
| Эоловый перенос вулканических выбросов и солей океана и суши | 2-3 |
| Зольные вещества растений | 5 |
| Мусор, шахтные породы, отходы, отбросы | 20-30 |
| Суммарно | 49-68 |
| Суммарно (за исключением антропогенной деятельности) | 29-38 |

Суммарно по [12] масса перемещаемых веществ за счет естественных процессов составляет 29-38 Гт/год. Помимо статей баланса перемещаемого вещества, указанных в Таблице 3, Ковда рассматривает также оползни и селевые выносы, но поскольку вышеупомянутые авторы не учитывали эту статью, мы не будем отдельно добавлять ее к средним значениям перемещаемых масс веществ.

По данным Ю. Одума (1971) [4], Ковды В.А. [12], Бондарева Л.Г. [15], Королева В.А. [16] и Лисицына А.П. (1974) [17] наибольшая поставка осадочного материала осуществляется речным стоком. Приблизительно в равных количествах поступает в океаны и моря ледниковый и эоловый материал (в среднем 1 Гт/год). Количественная оценка поступления вулканогенного осадочного материала затруднена и разными авторами указываются величины 1,8-3 Гт/год. Важную роль в осадконакоплении играют биогенные процессы, их вклад в баланс осадочного материала в океанах в первом приближении оценивается в 1-5 Гт/год. В Мировой океан поступает и космогенный материал, величина которого ориентировочно оценивается в 0.01 – 0.08 Гт/год.

По найденным данным, суммарный баланс перемещения грунтов за счет природных процессов составляет ~***26 Гт/год*** (без учета оползней и селей), это значение будет использовано в главе 3.

Твердые вещества, переносимые по воздуху в виде пыли, в учебнике «Основы экологии» Ю. Одум (1971 год) [4] названы «осадками». Кроме веществ, образованных природой, в состав таких «осадков» входят и вещества, образующиеся в результате деятельности человека. О процессах переноса веществ на Земле в последствии влияния антропогенной деятельности будет написано в следующей главе.

# **ГЛАВА 2. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ВЕЩЕСТВА НА ЗЕМЛЕ ЗА СЧЕТ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

На огромной площади (до 25-30% суши)[[1]](#footnote-1) природные экосистемы полностью замещены техногенными [13]. Большие города, крупные индустриальные предприятия, животноводческие комплексы отчуждают и «сжимают» биосферно активную площадь планеты (Таблица 4) [12].

В статье «Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground in Great Britain» [20] показывается, что во всем мире антропогенно обусловленное ежегодное перемещение вещества составляет 57 Гт (меньше, чем в учебнике у Еремченко О.З. – 200-300 Гт/год [13]) и превышает перенос по рекам в океаны 22 Гт почти в три раза. И, наконец, в статье «Техногенез, его воздействие на ландшафты» [24] говорится, что человечество ежегодно переносит около 100 Гт вещества.

В статье The Earth moves most for humans [23] говорится о том, что «Деятельность человека перемещает в десять раз больше вещества на поверхности Земли, чем все естественные геологические процессы вместе взятые». К такому выводу пришел геолог Б. Уилкинсон из Мичиганского университета, который использовал геологические данные для оценки способности природных процессов перемещать вещество на Земле за последние полмиллиарда лет. Б. Уилкинсон взял за основу для вычислений масс перемещаемых на Земле почв и отложений статью геоморфолога Роджера Гука [24]. Р. Гук назвал людей "геоморфологическими агентами", сравнив их силу антропогенной деятельности с силами природы, формирующими сушу (как реки, ледники, дождь и ветер) [25].

Р. Гук реконструировал историю антропогенного воздействия на экосистемы, основываясь на преднамеренных процессах перемещения грунта (земельные работы и добыча полезных ископаемых), а также непреднамеренных последствиях этих процессов, вызванных эрозией обрабатываемых земель [25]. Расчеты Б. Уилкинсона подтвердили результаты деятельности Р. Гука («Мы в десять раз активнее перемещаем сушу, чем природа») [24].

Люди трансформируют ландшафты Земли посредством физической модификации формы и свойств земной поверхности и недр. Таким образом, человек является геологическим и геоморфологическим агентом, а также доминирующим фактором в эволюции ландшафтов в антропоценез. Потоки, связанные с антропогенными процессами выноса, переноса и осаждения, аналогичны геологическим процессам эрозии, переноса и осаждения.

## **Оценка массы перемещаемого вещества за счет влияния техногенеза на естественные процессы**

Человечество существенно изменило доиндустриальные потоки вещества на Земле. Причем это воздействие глобального масштаба, возникающее в результате бесчисленных действий человека, происходит преимущественно в очень локальных масштабах, но отражается через непрерывность процессов, которые связывают отложения из исходных районов в зоны поглощения. Понимание этого цикла является центральной проблемой глобальных изменений. Основные факторы, которые ускоряют перемещение веществ с суши, включают переустройство земель, управление пахотными землями и пастбищами, строительство, добычу полезных ископаемых [13].

На протяжении всей истории человеческого общества постоянно возрастает влияние антропогенного фактора на окружающую его среду. Технический прогресс идет с ускорением благодаря успехам наук, и сам способствует развитию научных знаний. В статье Earth’s sediment cycle during the Anthropocene (Jaia Syvitski and other, 2022) [26] говорится, что в период с 1950 по 2010 год антропогенная деятельность повлияла на естественное перемещение вещества на Земле до такой степени, что человеческие действия теперь доминируют над этими потоками в глобальном масштабе.

Техногенные воздействия могут усиливать или ослаблять «эффективность» деятельности природных процессов. В качестве примера рассмотрим данные, приведенные в учебнике Еремченко [13] и представленные в Таблице 4. В Таблице 4 эти данные подтверждают наш тезис о том, что антропогенная деятельность оказывает воздействие и на естественные процессы.

Таблица 4. Фрагмент таблицы «Биогенные и техногенные характеристики биосферы» [13].

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Твердый сток рек | | Гт/год |
|  | В прошлом | ~ 9 |
|  | В настоящем | ~ 24 |
|  | В будущем | ~ 40-50 |

По [26] деятельность человека увеличила твердый сток 215%. Масса наносов в результате антропогенной эрозии почв, строительных работ, добычи полезных ископаемых, добычи агрегатов, а также добычи песка и гравия с побережий и рек увеличилось примерно на 467% в период с 1950 по 2010 год. Нынешний перенос вещества на Земле под воздействием антропогенной деятельности, превышает 300 Гт/год. Этот массовый поток включает (~6%) вклад природных процессов [26].

Гидротехнические сооружения (такие как плотины и водохранилища) препятствуют перемещению значительной части естественных глобальных потоков вещества, а межбассейновые перекачки перенаправляют эти потоки. Естественный цикл перемещения вещества на Земле в настоящее время сильно не сбалансирован. Дисбаланс возникает из-за тесной связи людей с водой и отложениями [26].

Таблица 5. Сток частиц на Земле в 1950 и 2010 г.г. Фрагмент таблицы из [26].

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Участок поверхности Земли | Сток твердых частиц, Гт/год | |
| 1950 год | 2010 год |
| Африка | 1.7 | 0.6 |
| Азия | 5.5 | 2.4 |
| Австралия | 0.3 | 0.2 |
| Европа | 0.6 | 0.3 |
| Индонезия, Борнео и Папуа-Новая Гвинея | 2.6 | 1.8 |
| Северная Америка | 1.8 | 0.8 |
| Южная Америка | 3.0 | 1.3 |
| Гренландия | 0.2 | 1.1 |
| Небольшие острова в океане | 0.003 | 0.002 |
| Суммарно по всему миру | 15.7 | 8.5 |

Деятельность человека может одновременно увеличивать (Таблица 4) и уменьшать (Таблица 5) естественный цикл переноса веществ в океан (в зависимости от местоположения. Изменения количеств перемещаемых веществ реками отражает крупномасштабные нарушения ландшафта, которые включают вырубку лесов (р. Арагуайя, Бразилия), перевод пастбищ в пахотные земли (р. Магдалена, Колумбия), интенсификацию сельского хозяйства (р. Желтая, Китай), промышленное сельское хозяйство (р. Миссисипи, США), дорожное строительство (р. Ланьян, Тайвань), а также добычу полезных ископаемых (р. Колыма, Россия) [26].

Часто наблюдается определенная последовательность вышеперечисленных вмешательств человека, сначала приводящая к увеличению нагрузки на реку (например, от вырубки лесов и промышленного сельского хозяйства), а затем к уменьшению нагрузок (например, путем перекрытия рек).

Таблица 6. Влияние антропогенной деятельности на перемещение вещества за счет естественных процессов в 1950 и 2010 г.г. [26].

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Фактор, влияющий на перемещение вещества | | Количество перемещаемого вещества, Гт/год | | Изменение, % |
| 1950 | 2010 |  |
| 1. Эрозия почв (в результате деятельности с/х и вырубки лесов) | | 25 | 75 | 200 |
| 2. Строительство | | 7,5 | 22,5 | 200 |
| 3. Добыча полезных ископаемых и образование отходов горнорудной промышленности | | 10 | 101 | 910 |
| 4. Производство цемента | | 1,6 | 50 | 3,025 |
| 5. Добыча песка и гравия | | 0,1 | 2 | 1,900 |
| 1. *Суммарно (1+2+…+5)* | | *44,2* | *250,5* | *467* |
| 7. Влияние водохранилищ | | 2,8 | 65 | 2221 |
| 8. Влияние автомагистралей | | 0,1 | 20 | 19,900 |
| 9. Добыча угля | | 0,7 | 5.6 | 700 |
| 10. Производство бетона | | 0,9 | 28.5 | 3,067 |
| *11. Суммарно (7+8+…+10)* | | *4,5* | *119,1* | *2,547* |
| Перенос вещества с суши в океан в антропоцене | | | | |
| 12. Твердый сток рек | | 14,5 ± 1,5 | 7,2 ± 0,9 | -50 |
| 13. Русловый сток | | 1 ± 0,4 | 0.3 ± 0,2 | -70 |
| 14. Растворенное вещество в реках | | 3,9 | 3,6 | -7.3 |
|  | Растворенный кремнезем | 0,42 ± 0,07 | 0.42 ± 0.07 | 0 |
|  | Растворенный органический углерод | 0,21 | 0,21 | 0 |
|  | Растворенный неорганический углерод | 0,38 | 0.38 | 0 |
| 15. Органический углерод в виде твердых частиц | | 0,24 | 0,24 | 0 |
| 16. Эоловый перенос | | 1,5 | 1,5 | 0 |
| 17. Склоновая (береговая) эрозия | | 0,5 | 0,5 | 0 |
| 18. Ледниковый сток | | 0,2 | 1 | 400 |
| 19. Деятельность айсбергов | | 0,6 | 3 | 400 |
| *20. Суммарно (12+13+…+19)* | | *22,4* | *17,3* | *-23* |
| 21. Потенциальная нагрузка речными твердыми частицами | | 2,1 | 48 | 2,186 |
| *22. Суммарно (12 + 13 + 15 + 21)* | | *17,8* | *55,7* | *212* |
| 23. Перемещение ресуспензий | | 2,9 | 22 | 659 |
| 24. Дноуглубительные работы и рекультивация земель | | 0,7 | 9,8 | 1,300 |
| *25. Суммарно (23 + 24)* | | *3,6* | *31,8* | *783* |
| **Суммарное влияние антропогенной деятельности на естественный перенос (6+20+25)** | | **70,2** | **299,6** | **327** |

Даже в 1950 году перемещение веществ в результате деятельности человека было значительным (~44,2 Гт/год), что почти вдвое превышает ~22 Гт/год (естественный перенос) (Таблица 6). Крупнейшим источником антропогенной деятельности cтала эрозия почвы в результате обезлесения и сельского хозяйства (~25 Гт/год), далее следовали добыча полезных ископаемых и образование отходов горнорудной промышленности (~10 Гт/год), строительство (~7,5 Гт/год), производство цемента (1,6 Гт/год) и добыча гравия на побережьях рек (0,1 Гт/год) (Таблица 6).

К 2010 году перенос веществ в результате деятельности человека увеличился на 467% (до 250,5 Гт/год), при этом перемещение грунтов в результате деятельности горнорудной промышленности в настоящее время превышает перенос веществ в результате эрозии почвы (Таблица 6) [26].

Опубликовано много результатов наблюдений за смывом почвы ливнями, стоком талых вод в различных природных зонах, на разных угодьях. В целом сейчас из 17 млн км2 обрабатываемых пахотных земель на нашей планете более 6-7 млн км2 подвержено эрозии (Лисицын, 1974). Ежегодно эрозия и дефляция переносит из ландшафтов суши миллиарды тонн почвенных частиц. За один ливень с 1 га (0,01 км2) обрабатываемых склонов часто смывается 10-20 т, нередко 50-100 т, иногда и 200-300 т почвы. При очень сильных ливнях на отдельных участках склонов смывается весь взрыхленный обрабатываемый слой (10-20 см), а иногда и весь пахотный слой (от 1 ливня с га теряется 3000-4000 т почвы). Если взять площадь обрабатываемых площадей на Земле, которые подвержены эрозии, 6-7 млн км2, то в сумме по миру от 1 ливня теряется ~100 Мт почвы [27].

В Таблице 6 указано, что по последним данным на Земле из-за эрозии почв, вызванной антропогенной деятельностью (а точнее обезлесения и сельского хозяйства) перемещается ***Mс.х. ~75 Гт/год*** вещества [26].

Современное состояние почвенного покрова внушает большую тревогу. Наблюдаются значительные потери продуктивных пастбищ и пашни вследствие распространения эрозии, пыльных бурь, вторичного засоления и заболачивания, отчуждения земель под строения, населенные пункты и т.д. Уменьшаются ресурсы речных, озерных и подземных вод, следовательно происходят изменения в склоновом стоке, стоке растворенных веществ и твердом стоке. По данным из Таблицы 6 перемещение веществ реками, измененное под воздействием антропогенной деятельности, составляет ***Mр. ~56 Гт/год*** [26].

С 2010 года глобальные скорости ветра над сушей увеличились в ответ на внутренние десятилетние колебания океана и атмосферы. Это усиление увеличило потенциальную энергию ветра на 17 ± 2% за 2010-2017 годы [19]. Ожидается, что перенос эоловых отложений увеличится с увеличением скорости наземного ветра и опустынивания, но количественная оценка этого процесса авторами статьи [19] не проводилась. Но в статье [26] говорится, что сейчас на Земле эоловым переносом, в т.ч. с пыльными бурями переносится ***Мп.б.~1,5 Гт/год.***

Данные, обозначающие количества веществ, перемещаемых на Земле за счет влияния антропогенной деятельности на эрозию почв, деятельность рек и эоловый перенос, будут использованы в 3 главе.

На Рисунках 6 и 7 наглядно представлена информация по переносу веществ на Земле в период антропоцена. Количественные данные, содержащиеся на схемах, были указаны выше в Таблице 6, а впоследствии прокомментированы автором настоящей работы.

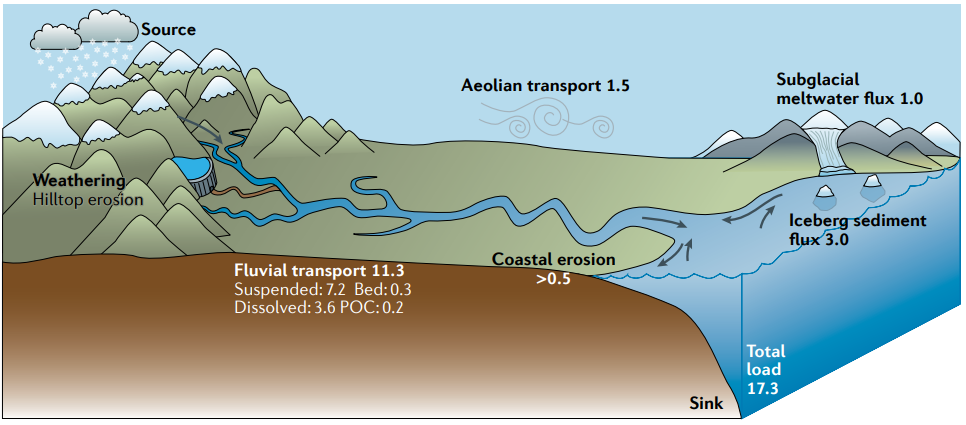


Рисунок 6. Перенос веществ с суши в океан. Данные представлены на 2010 год, Гт/год [26].

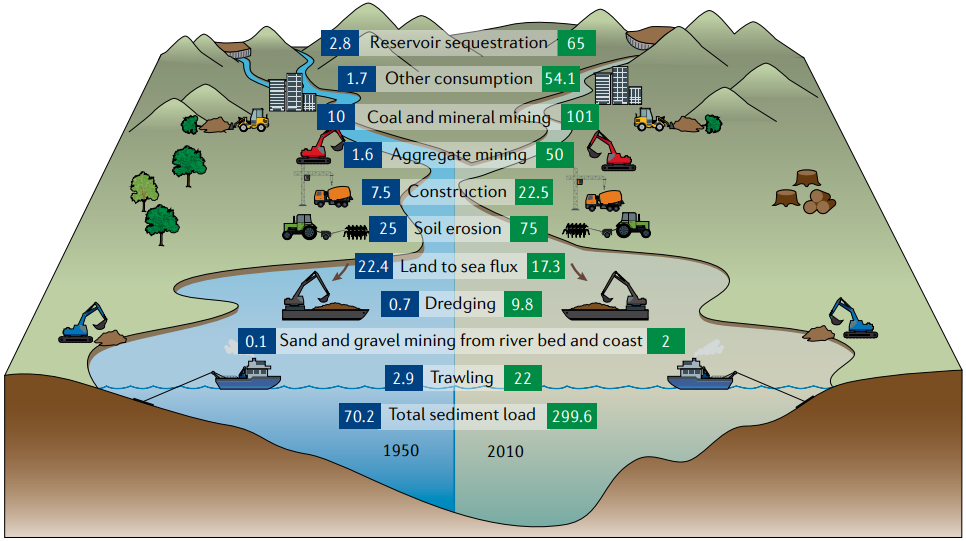


Рисунок 7. Влияние техногенеза на перемещение веществ на Земле. В синих прямоугольничках представлены данные за 1950 год, а в зеленых за 2010 год [26].

По данным, приведенным в Таблице 6, горнорудная промышленность также оказывает влияние на перемещение веществ на Земле. Некоторые отрасли, наиболее влияющие на него, будут рассмотрены далее.

## **Оценка масс перемещаемых веществ за счет некоторых отраслей промышленности**

Мы будем рассматривать только небольшую часть отраслей промышленности. Тем же, кто желает ознакомиться с вкладом от военной активности, мы рекомендуем монографию Байдукова А.К., Летучего Ю.А. и Лобынцева В.В. «Экологическая безопасность Военно-морской деятельности» (2020 год).

Добыча полезных ископаемых сильно влияет на внешний вид Земли. Объемы ежегодно выводимых на поверхность горных пород составляют сотни миллиардов тонн. Все процессы, связанные с переработкой веществ, содержащих в значимых количествах радионуклиды, а также с концентрированием активности в конечных продуктах или отходах, неизбежно повышают содержание радионуклидов в среде обитания. В процессе горного производства образуются и быстро увеличиваются пространства, нарушенные горными выработками, отвалами пород и отходов переработки и представляющие собой бесплодные поверхности, отрицательное влияние которых распространяется на окружающие территории.

Мировая добыча угля вместе с сопутствующими породами и отходами производства составляет ~74 Гт/год при уровне добычи угля в ~7,7 Гт/год [39]. Введем коэффициент Ку, показывающий отношение всех перемещаемых пород при добыче угля к массе полезного ископаемого. Этот коэффициент равняется Ку. = 10.

Согласно [30], для добычи металлической руды массой 30 Гт необходимо переместить около 450 Гт породы. Исходя из этого мы можем ввести коэффициент, который будет показывать отношение всех перемещаемых пород при добыче к массе самой руды, Км.р.= 15.

По данным [35], в 2017 году в России результате деятельности нефтяной промышленности было образовано ~1,2 Мт твердых отходов. Всего в России в 2017 году было добыто ~555,7 Мт нефти. Исходя из этой информации, можно посчитать коэффициент, который показывает сколько твердых отходов перемещается при добыче 1 т нефти и газа, он равен Кнг = 0,002.

Следовательно, зная эти и другие (для других ПИ) коэффициенты, зная массы добываемого полезного ископаемого, мы можем посчитать и объемы перемещаемых при этом.

## **Оценка масс перемещаемых веществ за счет добычи угля**

На 2020 год добыча угля в мире составила ~7,7 Гт/год. Твердые отходы добычи и переработки углей составляют значительную часть в общем объеме образующихся в мире промышленных отходов.

Используя коэффициент, введенный выше, мы можем оценить объемы, перемещаемых грунтов при добыче угля (Mуг.п.):

Mуг.п. (Гт) = m (Гт) ּ К,

Mуг.п. (Гт) = 7,741 (Гт) ּ 10,

Mуг.п. ~ 77 Гт

Полученный результат (***Mуг.п.. ~ 77 млрд. т)*** будет использован в 3 главе.

## **Оценка масс перемещаемых веществ за счет за счет добычи нефти и газа**

В 2020 году, по данным British Petroleum, в мире было добыто ~3850 км3 природного газа. 1 м3 природного газа весит ~0,7 кг. Следовательно, масса добываемого природного газа газа в 2020 году составляет mг ~2,7 Гт. А объем мировой добычи нефти в 2020 году составил mн ~3,1 Гт.

Далее найдем массу перемещаемых горных пород от нефтяной и газовой промышленности в мире ().

3,1 Гт ּ

2,7 Гт ּ

=

Следовательно, масса горных пород и грунтов, перемещаемых при деятельности нефтяной и газовой промышленности, составляет ~ ***12 Мт***. Полученный результат будет использован в 3 главе.

## **Оценка масс перемещаемых веществ за счет добычи металлических руд**

Ежегодно в мире добывается примерно 3 Гт металлических руд (если грубо округлить). Масштабы добычи велики – в расчете на одного жителя Земли в год добывается до 30 тонн руды, из которых менее 15% переходит в конечный продукт, а остальные 85% – отходы. Получаемые в результате добычи техногенные образования представляют собой отделённые от массива минеральные скопления, складированные на поверхности или в горных выработках.

Выше мы вычислили коэффициент, который показывает среднее отношение всех перемещаемых пород при добыче полезных ископаемых к массе самой руды (К = 15). Следовательно, зная массу добываемых руд, можно посчитать и массу перемещаемых при этом грунтов и горных пород (Mруд.п.).

Mруд.п. (Гт) = m (Гт) ּ К,

Mруд.п. (Гт) = 3 (Гт) ּ 15,

Mруд.п. ~ 45 Гт

Полученный результат (***Mруд.п*** ~***45 Гт***) будет использован в 3 главе.

## **Оценка масс перемещаемых веществ за счет добычи урана**

Сейчас мировая добыча урана составляет ~54 тыс т/год. При разработке месторождений подземным способом на каждую тонну добываемой руды приходится примерно 0,3 т пустых пород и забалансовых руд из горно-капитальных, горно-подготовительных и нарезных работ. На предприятиях, ведущих открытую добычу, на каждую тонну руды может приходиться до 8-10 т пустых пород от вскрытия карьера. Кроме того, в каждой тонне добытой урановой руды может находиться от 5 до 30% пустых пород. Таким образом, при добыче и переработке 1 т урановый руды выделяется от 1,3-1,6 (подземный рудник) до 10-15 т (карьер) грунтов и горных пород (Кп = 1,45; Ко = 12,5). Уран добывается выщелачиванием на месте и подземным способом (57%) или же способом открытых карьеров (43% добычи).

Следовательно, при общей добыче в 54 тыс. т, mо = 23 тыс. т добывается открытым способом, а mп = 31 тыс. т – подземным и выщелачиванием. Зная объемы добычи и коэффициенты, показывающие сколько пустых пород образуется, можно посчитать массу грунтов и горных пород, перемещаемых при добыче урана (Mу.п.):

Mу.п. (тыс. т) = Мо + Мп

Мо (тыс. т) = mо (тыс. т) ּ Ко

Мо (тыс. т) = 23 ּ 12,5

Мо = 288 тыс. т

Мп (тыс. т) = mп (тыс. т) ּ Кп

Мп (тыс. т) = 31 ּ 1,45

Mп. = 45 тыс. т

Mу.п. (тыс. т) = 288+ 45

Mу.п ~ 333 тыс. т

Полученный результат (***Mу.п.*** ~ ***333 тыс. т***) будет использован в 3 главе.

## **Оценка масс перемещаемых веществ за счет добычи фосфоритов**

Добыча, переработка, транспортировка фосфоритового сырья характеризуется образованием значительного количества побочных продуктов и отходов (пустых вмещающих горных пород и грунтов, перемещаемых в процессе добычи). Это объясняется не только неоднородностью исходного сырья со сложным вещественным составом, но и отсутствием совершенных способов предварительной подготовки сырья для электротермической возгонки фосфора.

Суммарно в мире добывается 140 Мт фосфатной руды, а производство фосфатного сырья сопровождается образованием на 1 т фосфора 10-12 т (в среднем Kф = 11) пустых горных пород и грунтов (Производство фосфора и фосфорной кислоты. Экологические проблемы фосфорного производства, 2014).

Следовательно, зная массу добываемых фосфатов в мире за 2020 год, мы сможем посчитать и массу грунтов и горных пород, перемещаемых из-за фосфоритовой промышленности (Mф.п.):

Mф.п. (Мт) = m (Мт) ּ К,

Mф.п. (Мт) = 140 (Мт) ּ 11,

Mф.п. = 1550 Мт ~ 1,5 Гт

Полученный результат (***Mф.п.*** ~***1,5 Гт***) будет использован в следующей главе для расчёта активности, обусловленной антропогенной деятельностью.

## **Исследования строительных материалов в РФ и за рубежом**

В зависимости от отраслевой специфики только 5-10% добытого из недр сырья превращается в готовую продукцию, остальная же часть — это отходы, которые обладают огромным экономическим потенциалом с одной стороны, но при этом загрязняют окружающую среду с другой. В отвалах месторождений полезных ископаемых накоплено около 34 Гт вскрышных пород, среди которых на строительную промышленность приходится около 9 %. Следовательно, масса горных пород от строительной промышленности ***Mс.п.*** ~ ***3 Мт.***

Известно, что для производства стройматериалов используются различные отходы промышленности (например, шлаки, золы, шламы и т.д.), отходы при добыче и переработке минеральных ресурсов (например, отвалы обедненных пород, сопутствующие компоненты и т.д.), а также природные и искусственные добавки и материалы, в состав которых также входят горные породы или продукты их переработки.

Масса созданных человеком на Земле объектов составила приблизительно 1,1 трлн. т и превысила массу всех биологических объектов, чья суммарная масса составляет примерно 1 трлн. т. Об этом пишет журнал The Nature. Специалисты идентифицировали те материалы и вещества, открытие человеком которых ускорило антропогенный прогресс. Данное исследование было проведено учеными из израильского Института Вейцмана. Для расчетов исследователи разделили созданные человеком объекты на шесть основных категорий: бетон, заполнители (включая такие материалы, как гравий), кирпичи, асфальт, металлы и др. (в т.ч. пластик, используемое для строительства дерево, бумагу и стекло). Для расчета массы созданных человечеством материалов ученые собирали разрозненные данные об их производстве, а также о их применении в различных странах в разные годы. (The Nature).

Человек изменяет литогенез и качественно, и количественно. В настоящее время перемещается более 200-300 Гт в год минерального вещества. При таких темпах всю земную кору можно было бы обновить за 40-50 млн лет, а для воссоздания всего осадочного слоя (2 ּ 1018 т) понадобилось бы в 10 раз меньше времени [13].

Подведем итоги. Современная промышленная деятельность приводит к перемещению огромных масс грунтов. Все эти вещества содержат радионуклиды. А тогда, когда речь идет о рудах, то содержание в них радионуклидов, как правило, превосходит средние их содержания в окружающей среде. Эти «добавочные» радионуклиды поступают в атмосферу, воду и почву как в результате используемых технологических процессов, так и в виде побочных продуктов производства и отходов. Как правило, их радиационные воздействия достаточно локализованы. Наибольшее воздействие оказывают радон и продукты его распада.

# **ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕНЕЗА НА РАДИАЦИОННЫЙ ФОН**

Антропогенная деятельность в настоящее время приводит к перемещению огромных масс грунтов на Земле. Все эти вещества содержат в своем составе радионуклиды. Эти радионуклиды поступают во все части биосферы как в результате используемых технологических процессов, так и в виде побочных продуктов производства и отходов [13].

Чтобы оценить влияние техногенеза на радиационный фон за счет антропогенной деятельности необходимо провести некоторые расчеты. Но для начала нужно определиться, какие показатели мы будем учитывать и с чем будем сравнивать получившийся результат.

Для проведения такого анализа мы воспользуемся данными о перемещении грунтов вследствие природной и антропогенной деятельности, представленными в Таблицах 7 и 8.

В Таблице 7 представлены данные о том, какое количество вещества перемещается на Земле за счет естественных процессов, а также за счет измененных в результате техногенеза эрозии почв, деятельности рек и эолового переноса. Также в Таблице 7 приведены количества урана и тория в перемещаемых грунтах, полученные путем умножения массы переносимого вещества на кларки урана (Клu = 2,5 ּ 10-6 [1]) и тория (Клu = 1,3 ּ 10-5 [1]) в верхних слоях земной коры.

Таблица 7. Количество перемещаемого вещества на Земле за счет естественных процессов, а также некоторых видов антропогенной деятельности, влияющих на естественные процессы (без учета влияния горнорудной промышленности) (создано автором).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Количество перемещаемого вещества,  Гт/год | Количество перемещаемого урана,  Тыс. т/год | Количество перемещаемого тория,  Тыс. т/год |
| Природная деятельность | | 26 | 65 | 338 |
| Антропогенное влияние на естественный перенос | | 132,5 | 331 | 1722 |
|  | Эрозия почв (с/х и обезлесение) | 75 | 187 | 975 |
|  | Перенос вещества реками | 56 | 140 | 728 |
|  | Эоловый перенос | 1,5 | 4 | 195 |

В Таблице 8 представлены данные о том, какие отрасли горнорудной промышленности были рассмотрены выше, а также о количествах веществ, переносимых за счет представленных отраслей горнорудной промышленности и о количествах урана и тория в перемещаемых грунтах, полученные путем умножения массы переносимого вещества на кларк урана (Клu = 2,5 ּ 10-6 [1]) и тория (Клu = 1,3 ּ 10-5 [1]) в верхних слоях земной коры.

Таблица 8. Количество перемещаемого вещества на Земле за счет некоторых отраслей горнорудной промышленности (создано автором).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Отрасль горнорудной промышленности | | Количество перемещаемых веществ., Гт/год | Количество перемещаемого урана, млн Тыс. т/год | Количество перемещаемого тория, Тыс. т/год |
|  | Угольная | 77 | 192,5 | 1001 |
|  | Нефтегазовая | 12 ּ 10-3 | 0,03 | 0,15 |
|  | Добыча металлических руд | 45 | 112,5 | 585 |
|  | Добыча урановых руд | 333 ּ 10-6 | 0,83 | 4 |
|  | Добыча фосфатов | 1,5 | 4 | 19,5 |
|  | Строительная промышленность, добыча стройматериалов | 3 ּ 10-3 | 7,5 ּ 10-3 | 4 ּ 10-3 |
|  | Суммарно | 123,5 | 310 | 1610 |

Таким образом, мы получаем полное количество тонн перемещаемых грунтов (не учитываются массы веществ, переносимые вследствие влияние антропогенной деятельности на естественные процессы, которые были сосчитаны выше в Таблице 7) на Земле.

Проанализировав Таблицы 7 и 8, мы можем сделать вывод, что за счет антропогенной деятельности на Земле происходят перемещения веществ, количественно превышающие в 10 раз перенос за счет естественных процессов. Полученные результаты подтверждают наш тезис о том, человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой, а его деятельность по масштабам значительно превышает работу природы.

Несмотря на то, что для характеристики количества радионуклидов в перемещаемых потоках веществ в радиоэкологии используется активность, часто оказывается полезным понимать, о каком количестве радиоактивного вещества в граммах идет речь. Полезно иметь представление о соотношении массы препарата и его активности при анализе равномерности загрязнения каких-то площадей и в ряде других случаев. Чтобы проводить такие сравнения необходимо получить выражение для массы 1 Бк любого радионуклида [1].

Пусть у нас имеется радионуклид с грамм-атомным весом А и периодом полураспада T1/2 = 0,693/λ Активность 1 Бк всегда обусловлена количеством атомов N = 1/λ. Таким образом, мы имеем пропорцию:

* В 1 г всегда содержится NA /A = 6,02 · 1023/A атомов.
* В х г (соответствующих 1 Бк) всегда содержится T1/2 /0,693 атомов.

Таким образом, 1 Бк весит x = (T1/2/0,693) · (A/6,02 · 1023) = (T1/2 · А) / (0,693 · 6,02 · 1023) = 2,4 · 10-24 · T1/2 · A (г).

238U: T1/2 = 4,47 ⋅ 109 лет (это 1,41·1017 с), следовательно 1 Бк 238U весит 8,05 · 10-5 (г).

232Th: T1/2 = 1,4⋅1010 лет (это 4,43·1017 с), следовательно 1 Бк 232Th весит 2,46 · 10-4 (г).

Каждый радионуклид, содержащийся в перемещаемых грунтах, обладает определенной активностью (т.е. определенным числом радиоактивных распадов в единицу времени). Знание всех этих активностей необходимо в экологии для оценки фонового радиационного воздействия биосферу и, в частности, на население Земли[1].

Зная содержание урана и тория в переносимых потоках вещества (Таблица 7 и Таблица 8), мы можем получить активность перемещаемых объемов, а впоследствии оценить влияние техногенеза на радиационный фон за счет влияния человека на естественные процессы и за счет горнорудной промышленности.

По [1] удельная активность урана (возьмем удельную активность 238U, поскольку его содержание в природном уране 99,2739%) A238U ~30 Бк/кг-1, а тория (возьмем удельную активность 232Th, поскольку его содержание в природном тории практически 100%) A232-Th ~45 Бк/кг-1. Посчитаем активность перемещаемых потоков вещества за счет естественных процессов и техногенеза (данные будут взяты из Таблицы 7 и Таблицы 8). Полученные результаты активности перемещаемых грунтов представлены в Таблице 9.

Таблица 9. Активность перемещаемых грунтов за счет естественных процессов и техногенеза (создано автором)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Кол-во U, Тыс. т/год | Кол-во Th, Тыс. т/год | А238U, Бк | А232Th, Бк |
| Перенос за счет естественных процессов | | 65 | 338 | 2 ּ 109 | 1,5 ּ 1010 |
| Перенос за счет техногенеза | | 641 | 3508 | 20 ּ 109 | 15 ּ 1010 |
|  | Эрозия почв (с/х и обезлесение) | 187 | 975 | 5,6 ּ 109 | 4,4 ּ 1010 |
|  | Деятельность рек | 140 | 728 | 4,2 ּ 109 | 3,3 ּ 1010 |
|  | Эоловый перенос | 4 | 195 | 0,12 ּ 109 | 0,1 ּ 1010 |
|  | Горнорудная промышленности | 310 | 1610 | 9,3 ּ 109 | 7,2 ּ 1010 |

Проанализировав Таблицу 9, можно сделать вывод, что активность как урана, так и тория в перемещаемых потоках веществ на Земле за счет техногенеза более чем на порядок выше, чем за счет естественных процессов. Следовательно, в околоземное пространство за счет антропогенной деятельности поступает намного больше радионуклидов, чем за счет деятельности природы. Последняя величина количественно характеризует ту угрозу для людей, которая ежегодно возникает вследствие перемещения грунтов за счет антропогенной деятельности. Очевидно, что само по себе появление «нового, добавочного» урана и тория в окружающей человека среде обязано увеличивать среднюю дозу внешнего обучения населения. Пусть в случае семейства урана это характеризуется коэффициентом KUХ > 1. Так как в пределах нашей планеты имеет место вековое равновесие для урана, тория и продуктов их распада, активность всех этих продуктов распада, и прежде всего (в случае урана) Ra-226, Rn-222 и Bi-210 на такую же величину.

Т.к. количество веществ, переносимых за счет техногенеза на порядок выше, чем за счет деятельности природы, логично, что и количество добавочных радионуклидов, поднятых в околоземное пространство из недр нашей планеты человеком, вносит существенный вклад изменение его состава. При значительном увеличении числа радионуклидов в околоземном пространстве (в частном случае урана и тория), которые обладают определенной активностью, происходит и увеличение дозы внешнего облучения населения Земли.

При анализе внешнего облучения от естественных радиоактивных семейств уходом дочерних радионуклидов из тех мест, где были материнские, часто пренебрегают и после получения значений ξ - дозовых коэффициентов для внешнего облучения – оценка значимости прямого воздействия сводится к перемножению значений ξ на соответствующие средние удельные активности в грунте [1] и суммированию полученных результатов.

Далее, зная коэффициенты для внешнего облучения ураном и торием, взятые из [1], мы можем посчитать внешнюю дозу облучения населения от перемещаемых грунтов за счет антропогенных процессов и оценить, какой вклад в дозу внешнего облучения населения Земли они вносят. Вклад во внешнее облучение на открытом воздухе от семейства 238U составляет 0,0184 м3в ּ год-1. Что касается семейства 232Th, то его вклад во внешнее облучение на открытом воздухе оказывается равным 0,0325 м3в ּ год-1.

Существенно более сложными являются оценки доз от внутреннего облучения. В отличие от калия уран, торий и все члены их семейств не являются биогенными элементами. Содержание всех этих радионуклидов зависит как от особенностей организма, так и от состава среды, пищи (в частности, для растений — от концентрации и растворимости солей в почвенной воде) и других факторов [1] Рассмотрим ингаляционный путь проникновения веществ в организм человека.

Что касается ингаляционного пути, то достаточно легко оценить поступление активности этим путем внутрь любого млекопитающего. Обычно считается, что присутствие в воздухе всех радионуклидов от примордиальных семейств до радона обусловлено, в первую очередь, пылью, поднятой с поверхности Земли [1]. Предположим, что все переносимое вещество за счет техногенеза превратится в пыль. Посчитаем предполагаемую запыленность в околоземном слое воздуха высотой 1 км, если мы примем за площадь суши 133 млн км2 (площадь суши Земли без учета Антарктиды и Гренландии). Результаты представлены в Таблице 10.

Таблица 10. Запыленность околоземного слоя воздуха высотой 1 км за счет естественных процессов и техногенеза (создано автором)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | Количество переносимого вещества, Гт/год | Запыленность околоземного слоя воздуха, г ּ м-3 |
| Перенос за счет естественных процессов | | 26 | 0,2 |
| Перенос за счет техногенеза | | 256 | 2,0 |
|  | Эрозия почв (с/х и обезлесение) | 75 | 0,6 |
|  | Деятельность рек | 56 | 0,4 |
|  | Эоловый перенос | 1,5 | 0,01 |
|  | Горнорудная промышленности | 123,5 | 0,9 |

Исходя из анализа данных, представленных в Таблице 10, можно предположить, что предполагаемая запыленность околоземного слоя воздуха высотой 1 км в населенных регионах земного шара (133 млн км2) обусловленная природной деятельностью составляет ~0,2 г · м-3, а антропогенной ~2 г · м-3, что на порядок выше.

Будем считать, что средняя концентрация урана (берем 238U) ~30 Бк · кг-1, а тория (берем 232Th) ~45 Бк · кг-1 [1]. Следовательно, концентрация урана в околоземном слое воздуха ~0,06 мБк · м3 и ~0,6 мБк · м3 (за счет природной и антропогенной деятельности соответственно), а тория ~0,09 мБк · м3 и ~0,9 мБк · м3. Указанные концентрации радионуклидов обусловлены процессами, постоянно происходящими в природной среде. Они являются хорошими индикаторами радиоэкологической обстановки в том или ином месте [1].

Для того, чтобы оценить среднегодовое поступление активности в организм, необходимо знать потребление им воздуха. По [1] оно составляет ~7300 м3/год. В Таблице 11 представлены данные о количествах поступаемого урана и тория в организм взрослого человека за счет естественных процессов и техногенеза.

Таблица 11. Поступаемый U и Th в организм взрослого человека ингаляционным путем (создано автором)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | U, Бк/год | Th, Бк/год |
| Природная деятельность | 0,44 | 0,66 |
| Техногенез | 4,4 | 6,6 |

Уран, не будучи биогенным элементом, удерживается преимущественно в скелете. Распределение его в костях разного типа примерно одинаковое. Торий — это остеотропный элемент, который в течение продолжительного времени удерживается в скелете (-60 %), накапливаясь, по всей вероятности, в поверхностном слое костей. Для него наблюдается примерно та же картина, что и для урана, но суммарно в организм взрослого человека его поступает в ~1,5 раза меньше.

Подводя итоги, следует сказать, что необходимо помнить об определенных погрешностях и неопределенностях при получении усредненных оценок с учетом возрастных и географических аспектов, особенностей национальных традиций и огромного разнообразия пищевых ресурсов.

С учетом всего вышесказанного, для ингаляционного пути поступления усредненная средняя эффекттивная доза от уранового и ториевого семейств составляет ~6 мк3в.

Исходя из расчетов и полученных, представленных выше, мы можем сделать следующие выводы. При сравнении значений активности вследствие деятельности природы и техногенеза можно заметить, что наибольший вклад в дозу облучения населения вносит техногенез, значения которого на порядок превышают, обусловленные природной деятельностью. Активность, обусловленная антропогенной деятельностью, значительно превышает активность, обусловленную природой. Это можно объяснить тем, что за счет человеческой деятельности переносятся большие веществ, чем за счет естественных процессов, а вследствие выходит на поверхность большее число радионуклидов. Вклад во внешнее облучение от семейства 238U за счет техногенеза составляет ~18,4 мк3в/год, 232Th ~32,5 мк3в/год. Доза внутреннего облучения человека от поступаемого урана и тория составляет ~6 мк3в/год. Следовательно, суммарные вклады в дозу облучения (внешнего и внутреннего) от урана и тория, поступающих за счет техногенеза, составляют ~24,4 мк3в/год и ~38,5 мк3в/год соответственно.

Из этого можно сделать вывод, что техногенез, вносит существенный вклад в дозу облучения (значительно влияет на радиационный фон).

# **Заключение**

Люди постоянно подвергаются воздействию облучения от естественных радионуклидов в воздухе, почве, горных породах, воде и строительных материалах. Основными природными «переносчиками» являются поверхностный сток и ветер. Логично, что перемещение огромных масс веществ (грунтов) на Земле как из одного места в другое, так и из глубины наружу не может не воздействовать на экологическую обстановку на планете.

В настоящей выпускной квалификационной работе показано, что деятельность человека, как связанная с горнорудной промышленностью, так и не связанная с ней (техногенез), действительно приводит к заметному изменению радиационного фона, влияет на внешнее и внутреннее облучение населения Земли.

Был проведен анализ параметров, необходимых для оценки влияния техногенеза на радиационный фон. Для этого было сделано следующее:

1. Проведен анализ научной литературы, монографий и учебников: Ю. Одума [4], Ковды В.А. [12], Бондарева Л.Г. [15], Королева В.А. [16], Лисицына А.П. [17], по которым количество перемещаемых веществ на Земле за счет естественных процессов составляет ~26 Гт/год.
2. Произведена оценка объемов перемещаемого грунта за счет техногенеза, который мы условно разделили на деятельность, связанную с горнорудной промышленностью и не связанную с ней. Установлено, что человек оказывает воздействие на перенос веществ за счет естественных процессов, количественно изменяя их. Выяснено, что антропогенная деятельность влияет на эрозию почв (путем интенсификации сельского хозяйства и облесения), перемещение вещества реками и эоловый перенос. Количества грунта, перемещаемого за счет указанных категорий, составляют ~75, ~56 и ~1,5 Гт/год соответственно.
3. Произведена оценка объемов перемещаемого грунта за счет антропогенной деятельности, связанной с горнорудной промышленностью. Рассмотрено несколько ее отраслей, а точнее добыча угля, нефти и газа, металлических, урановых, фосфатных руд и строительной промышленности. Для каждого вида ресурса был найден коэффициент, показывающий отношение всех перемещаемых пород при добыче полезного ископаемого к массе полезной руды. С его помощью была посчитана масса всех пород, перемещаемых человеком за счет горнорудной промышленности. Масса грунтов, перемещаемых за счет горнорудной промышленности, суммарно составила ~123,5 Гт/год
4. За счет техногенной деятельности в настоящее время суммарно перемещается ~256 Гт/год вещества. Это значение в ~10 раз превышает количества грунтов, переносимых за счет естественных процессов. Таким образом, оценки Павлова А.П. и Вернадского В.И. впервые получили количественное значение.
5. Нами получены оценки активностей урана и тория, перемещаемых за счет природных процессов (А238U = 2 ּ 109 Бк, А232Th = 1,5 ּ 1010 Бк) и техногенеза (А238U = 20 ּ 109 Бк, А232Th =15 ּ 1010 Бк). Оказалось, что активности урана и тория, содержащихся в грунтах, переносимых за счет антропогенной деятельностью, на порядок выше активностей этих радионуклидов, перемещаемых за счет природных процессов.
6. Активность как урана, так и тория в перемещаемых потоках веществ на Земле за счет техногенеза более чем на порядок выше, чем за счет естественных процессов. Следовательно, в околоземное пространство за счет антропогенной деятельности поступает намного больше радионуклидов, чем за счет деятельности природы. Пусть в случае семейства урана это характеризуется коэффициентом KUХ > 1. Так как в пределах нашей планеты имеет место вековое равновесие для урана, тория и продуктов их распада, активность всех этих продуктов распада, и прежде всего (в случае урана) 226Ra, 222Rn и 210Bi на такую же величину.
7. И, наконец, выявлены суммарные вклады в дозу облучения населения (внешнего и внутреннего) от урана и тория. Они составляют ~24,4 мк3в/год и ~38,5 мк3в/год соответственно при том, что среднегодовая доза облучения населения составляет ~2,4 мЗв/год.

Таким образом, техногенез вносит вклад в дозу облучения. Антропогенная деятельность (как связанная с горнорудной промышленностью, так и не связанная с ней) влияет на внешнюю и внутреннюю дозу облучения населения Земли, а следовательно, и воздействует на радиационный фон.

# **Список литературы**

1. Белозерский Г.Н. Радиационная экология. Учебник для бакалавриата и магистратуры. — 2-е изд., пер. и доп. — СПб : Изд. Юрайт, 2021. — 419с.
2. Федеральный Закон от 22 августа 2004 года N 122-ФЗ «О радиационной безопасности населения» (с изменениями на 8 декабря 2020 года).
3. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. — М.: Айрис-пресс, 2012. — 576 с.
4. Одум, Юджин П. Основы экологии. — М. : Изд. Мир, 1971. — 741c.
5. Одум, Юджин П. Основы экологии. — М. : Изд. Мир, 1986 — 373с.
6. Опекунов А.Ю. Экологическая седиментология. Учебное пособие. — СПб : Изд. дом СПбГУ, 2012. — 224с.
7. Опекунов А.Ю. Техногенное воздействие и загрязнение окружающей среды. Лекции по Геоэкологии для студентов 3 курса. - 2021г.
8. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. — 6-е изд., переработ, и доп. — М.: Изд. МГУ, 2005. — 1024с.
9. Трофимов В.Т. Экологическая геология. Учебник для вузов / под ред. Д.Г. Зилинг. — М.: Геоинформмарк, 2002. — 416с.
10. Доклад Научного Комитета ООН по действию атомной радиации; Приложение, А-облучение за счет естественных источников ионизирующего излучения, — Нью-Йорк : ООН, 2018. — 23с.
11. Бекман И. Н. Радиоэкология и экологическая радиохимия. Учебник для вузов. - 2-е изд., испр. и доп. — М. : Изд. Юрайт, 2021. — 497с.
12. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. — М. : Наука, 1985. — 262с.
13. Еремченко О.З. Учение о биосфере. Учебное пособие для ВУЗов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. Юрайт, 2020. – 236с.
14. Болтрамович С.Ф. Геоморфология. Учебник для ВУЗов / под ред. А.И. Жирова, — 3-е изд.., перераб. и доп. — М : Изд. Юрайт, 2022. — 733с.
15. Бондарев Л.Г. Планетарное перемещение вещества и человек. - Москва: Мысль, 1974. — 158 с.
16. Королёв В. А. Мониторинг геологической среды. Учебник для вузов / под ред. В.Т. Трофимова. — М.: Изд. МГУ, 1995. — 272с.
17. Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. Количественное распределение осадочного материала. — М.: Наука, 1974. — 438с.
18. Васильев С.П. Шахтная геология угольных месторождений. Учебное пособие. — М.: Углетехиздат, 1950. — 213с.
19. Пустовалов Л.В. Петрография осадочных пород. М. : Изд. Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1940. — 476с.
20. Милютин А.Г. Геология. Учебник для бакалавров, — 3-е изд. — М.: Изд. Юрайт, 2019. — 543с.
21. Кларк, Франк У. Состав земной коры. - Вашингтон, 1924.
22. Сажин А.Н, Васильев Ю.И., Чичагов В.П., Ларионов Г.А. Эоловый морфолитогенез и современный климат Евразии. Ст.2. Катастрофические эоловые процессы, динамические различия эоловых процессов современной и ледниковой эпох. Геоморфология. – 2013.– С. 3–14С.
23. Simon J. Price. Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground in Great Britain. – 2011. – 29с.
24. Техногенез, его воздействие на ландшафты. Лекция 17. [электронный ресурс] <https://pandia.ru/text/80/144/55914.php>
25. Протасова Н.А. Геохимия техногенных ландшафтов. Учебное пособие для ВУЗов. — Воронеж : Изд. ВГУ, 2009. — 37с.
26. Ball P. The earth moves most for humans. – International weekly journal of science Nature, 2005. [электронный ресурс] <https://www.nature.com/news/2005/050307/full/news050307-2.html>
27. Уилкинсон Б.Х. Геология. — 2005. — 161-164С.
28. Гук Р. Геология. — 2000. — 843-846С.
29. Jaia Syvitski and other. Earth’s sediment cycle during the Anthropocene. — 2022. — 32c.
30. Middleton N., Kang U. Sand and Dust Storms: Impact Mitigation. — 2017. — 22с.
31. Добровольский Г.В. Глобальные проблемы: Деградация почв – угроза глобального экологического кризиса, - 2008 г. [электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/degradatsiya-pochv-ugroza-globalnogo-ekologicheskogo-krizisa/viewer>
32. Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России, — 254с. [электронный ресурс] <https://www.rfbr.ru/rffi/portal/books/o_36421#179>
33. Милютин А.Г. [и др.] Экология. Основы геоэкологии. Учебник для академического бакалавриата / под ред. Н.К. Андросова, И.С. Калинина, А.К. Порцевского — М. : Изд. Юрайт, 2019. — 542с
34. Белозерский Г.Н. Введение в глобальную экологию. Учебник для ВУЗов. — СПб: Изд. СПбГУ, 2001. — 464с.
35. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно- эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09) —М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. — 100с.
36. Кузнецов, В.А. Радиоактивные элементы в горных породах / под ред. P.C. Журавлева, Д.К. Осипова. — Новосибирск : Изд. Наука, 1975. – 300с.
37. Ермолов В.А. Основы геологии. Учебник для вузов / под ред. Л.Н. Ларичева, В.В. Мосейкина. — 2-е изд., стер. — М. : Изд. Московского государственного горного университета, 2008. - 598с.
38. Редина М.М., Хаустов А.П. Вторичные ресурсы, образующиеся в нефтедобывающей промышленности. — 2020 [электронный ресурс] <https://eipc.center/wp-content/uploads/2020/08/encycl/p_three/chpt_17.pdf>
39. Cooper A.H., Brown T.J., Price S.J., Ford J.R. & Waters C.N. Humans are the most significant global geomorphological driving force of the 21st century. Anthropocene Rev. 5, 2018. - 222–229С.
40. Global Aggregates Information Network (GAIN). GAIN newsletter #4, January 2019. GAIN [электронный ресурс] https://www.gain.ie/s/GAIN\_Newsletter\_Jan19.pdf
41. Statistical Review of World Energy: 70th edition, — 2021 [электронный ресурс] <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
42. Байдуков А.К., Летучий Ю.А., Лобынцев В.В. Экологическая безопасность Военно-морской деятельности. — СПб : Изд. Наука, 2020. — 606с.

1. площадь суши примем за 133 млн км2 – площадь материков и островов Земли без учета Антарктиды и Гренландии [↑](#footnote-ref-1)