

УДК 551.515(476)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

М.Г. Ясовеев, А.И. Андрухович, Аль-Дулайми Хамид Дахил Аяйд, В.А. Гулякин,

Д.Д. Таликадзе (Белорусский государственный педагогический университет, факультет естествознания, кафедра экономической географии и охраны природы, ул. Советская, 18, г. Минск, Беларусь, 220050, annaand@tut.by)

О.В. Шершнев (Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, факультет, географический факультет, кафедра географии, ул. Советская, 104, г. Гомель, Беларусь, 246019)

Среди весьма серьезных проблем экологического плана наибольшее беспокойство вызывает нарастающее загрязнение воздушного бассейна Земли примесями, имеющими техногенную природу. Атмосферный воздух является основной средой деятельности биосферы, в том числе человека. Сложившееся на протяжении эволюции Земли постоянное соотношение между основными компонентами воздуха (азотом, кислородом и инертными газами) существенно не изменилось в результате развития цивилизации. Однако в период промышленной и научно-технической революции увеличился объем эмиссии в атмосферу газов и аэрозолей техногенного происхождения. Наиболее активными с точки зрения химического взаимодействия с компонентами атмосферы и биосферы, а также с органическими и неорганическими материалами являются соединения серы, фосфора и галогенов. Основными источниками загрязнения атмосферы являются энергетические установки, в которых используется минеральное топливо (уголь, нефть, сланцы), предприятия черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности, авиационный и автомобильный транспорт. Помимо газов в атмосферу попадает громадное количество аэрозолей различного происхождения (от предприятий строительной индустрии, энергетических станций, транспорта).

Попав в атмосферу, многие загрязнения подвергаются химическим или фотохимическим превращениям с участием компонентов воздуха.

Конечные продукты химических превращений удаляются из атмосферы с осадками или выпадают на поверхность Земли с аэрозолями. Поверхности биологических объектов, строительных конструкций других предметов, загрязнения (или продукты их превращений) интенсифицируют физико-химические процессы разрушения органических веществ, металлов и неорганических материалов.

Ущерб, наносимый атмосферными загрязнениями живой природе и продуктам производственной деятельности человека, трудно оценить, но гибель лесов, загрязнение водных бассейнов, распространение аллергических заболеваний, нарушение биологического равновесия в экосистемах не в последнюю очередь связаны с высокими концентрациями агрессивных примесей в атмосфере.

В настоящее время концентрация диоксида углерода в атмосфере в результате сжигания ископаемого топлива медленно и равномерно возрастает. Изменение концентрации диоксида углерода в атмосфере происходит вместе с изменением баланса излучения, а именно, с изменением разницы между количествами поступающей и отдаваемой энергии. Установлено, что из-за этого может заметно возрастать температура воздуха, особенно в районах Северного и Южного полюсов. Вследствие этого изменяются циркуляционные связи в атмосфере, замедляется теплообмен между местами с позитивным и негативным энергетическим балансом и происходит изменение климата (В.Ф. Логинов, 2003).

Другой источник опасности связан с производством галогензамещенных углеводородов (хлорированных и фторированных). Самыми распространенными из них являются фреоны, которые кроме всего прочего используются и в аэрозольных упаковках. Они представляют собой химически очень стойкие соединения, способные долгое время оставаться в неизменной форме в нижних слоях атмосферы. В то же время они медленно перемещаются в более высокие слои воздуха (стратосферу), где коротковолновые ультрафиолетовые лучи выбивают из них атомы хлора и фтора. Эти атомы вступают в реакцию с находящимся в стратосфере озоном (O_3) и ускоряют его распад, оставаясь при этом неизменными. В химии подобное явление называется катализом. Таким образом, фреон играет здесь роль катализатора. Один атом хлора или фтора может принять участие в нескольких сотнях циклов разрушений озона. Разрушению озона способствуют не только галогензамещенные углеводороды, но и поступившие в стратосферу оксиды азота, образующиеся при сгорании топлива самолетов и ракет. Если концентрация озона в стратосфере уменьшается, то это может привести к нарушению баланса излучения в атмосфере. Уменьшение содержания озона в стратосфере способствует прониканию на Землю коротковолновых ультрафиолетовых лучей.

Содержащийся в стратосфере озон поглощает поступающее от Солнца излучение с длиной волны менее 0,29 мкм, усиление же ультрафиолетового излучения становится в значительной степени опасным для жизни (М.Г.Ясовеев, 2009).

Ещё одной серьезной экологической проблемой является повышение кислотности среды. В последнее время средства массовой информации часто сообщают о случаях гибели рыбы и лесов, подкисления почвы, коррозии памятников и зданий, связанных с кислотными дождями. Кислотным дождям давно уделяется должное внимание, специалисты скандинавских стран еще в 50-е годы указывали на эту опасность. Само выражение «кислотный дождь» существует уже более 130 лет; впервые его использовал британский исследователь Роберт Ангус Смит в 1872 г. Таким образом, эта проблема отнюдь не нова, и можно предположить, что вряд ли она будет решена в ближайшее время.

При изучении кислотных дождей нужно прежде всего ответить на два основных вопроса: что является причиной кислотных дождей и как они воздействуют на различные земные сферы, живые существа, предметы и т. д. Далее встает важный вопрос о том, чего мы ждем в будущем, можно ли приостановить нежелательные процессы и возместить уже понесенный ущерб.

По существу кислотный дождь представляет собой следствие взаимного воздействия друг на друга различных сфер Земли (атмосферы, гидросферы, литосферы, биосферы и т. д.). Как известно, отдельные элементы и соединения участвуют в круговороте веществ на Земле. Такой же обмен веществ постоянно происходит и между различными сферами, включая, естественно, атмосферу. За исключением некоторых инертных газов составляющих атмосферу, вещества находятся в ней в течение определенного времени. На основании этого газы, входящие в состав атмосферы, можно разбить на три группы (М.Г.Ясовеев, 2009):

- устойчивые (азот, кислород, аргон и др.);
- неустойчивые (диоксид углерода, метан, водород и др.);
- сильно изменяющиеся (диоксид серы, оксид и диоксид азота, аммиак и т. д.).

Изменение концентрации постоянных составляющих атмосферу можно не принимать во внимание, поскольку деятельность человека не может оказать на нее существенное влияние в течение ограниченного отрезка времени. Трудно представить себе, например, что количество молекулярного азота, занимающего в объеме атмосферы 78 % может быть значительно увеличено или уменьшено под воздействием человека. По-другому обстоит дело у неустойчивых и сильно изменяющихся составляющих, концентрации которых обычно значительно меньше и могут легко измениться в результате деятельности человека. Сильно изменяющиеся вещества обладают одной интересной особенностью: несмотря на свою малую концентрацию, они могут заметно влиять на физическое и химическое состояние атмосферы. Атмосферу нельзя представить как однородную газообразную среду, она является дисперсной системой, состоящей из воздуха и взвешенных в ней аэрозольных твердых частиц и капель жидкости. Если бы не было аэрозольных частиц, то была бы возможна видимость на многие сотни километров. Эти частицы в значительной мере определяют уровень излучения в атмосфере. Без частиц аэрозолей невозможно было бы образование облаков и тумана, а также прекратился бы круговорот воды.

Поскольку состав атмосферы относительно постоянен, можно сделать заключение, что за одно и то же время количества поступивших в нее (эмиссия) и выбывших веществ одинаковы. При изучении движений веществ в атмосфере необходимо учесть ее основные особенности (М.Г.Ясовеев, 2009):

- воздух представляет собой легко перемещающуюся среду, во время движения которой происходят быстрые передвижения с одного места на другое;
- в состав атмосферы входят окислители, а излучение Солнца способствует химическим превращениям, происходящим при окислении;
- непрерывающаяся смена агрегатных состояний атмосферной воды (пар, жидкость, лед) в значительной мере влияет на круговорот микроэлементов, растворенных в воде или вступающих в химическую реакцию с ней.

Известно, что источником кислотных осадков в атмосфере являются газы, содержащие серу и азот. Наиболее важные из них – диоксид углерода, сероводород и оксиды азота. Эти соединения попадают в атмосферу не только в результате жизнедеятельности человека; приблизительно половина из них поступает в воздух естественным путем. Таким образом, существует и «естественный кислотный дождь». Установлено, что из-за CO_2 , находящегося в атмосфере, и попавших туда естественным путем микроэлементов, вода осадков может быть кислой без воздействий человека. Деятельность человека накладывается на естественный «базис». Таким образом, беда была бы не столь велика, если бы загрязняющие воздух вещества техногенного (а также естественного) происхождения равномерно распределялись по

поверхности Земли. Проблема возникает из-за того, что эмиссия загрязняющих среду веществ ограничена относительно узкой территорией. Большая часть загрязняющих веществ высвобождается над наиболее загрязненными территориями Европы и Северной Америки, что составляет примерно 5% суши. Кое-где искусственная эмиссия в 5-20 раз выше естественной. В этих районах простирающихся на сотни и тысячи километров, природа уже не может выдерживать дополнительных нагрузок, не изменяясь.

Как попадают соединения серы и азота в атмосферу?

Виды соединений серы. К наиболее важным соединениям серы, находящимся в атмосфере, относятся диоксид серы (SO_2), окисульфид (сероокись углерода, COS), сероуглерод (CS_2), сероводород (H_2S) и диметилсульфид ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$). Последние четыре соединения вследствие сильного окислительного действия атмосферы легко превращаются в двуокись серы или в серную кислоту (сульфаты). Под влиянием деятельности человека более всего изменяется содержание диоксида серы (М.Г.Ясовеев, 2006).

В сильно загрязненных районах уровень диоксида серы может 1000 и даже в десятки тысяч раз превысить естественную границу значений на суше и в океане. Среди соединений серы, находящихся в твердом и жидком состоянии, принимаются в расчет только серная кислота и сульфаты (сульфат и гидросульфат аммония), а также морская соль.

Источники соединений серы. Соединения серы частично попадают в атмосферу естественным путем, а частично техногенным. Поверхность суши, как и поверхность океанов и морей, играет роль естественного источника. Обычно деятельность человека ограничивается сушей, поэтому мы можем учитывать загрязнение серой только на этой территории.

Существуют три основных источника естественной эмиссии серы.

Разрушение органики. С помощью анаэробных (действующих без участия кислорода) микроорганизмов происходят процессы разрушения органических веществ, а содержащаяся в них сера образует газообразные соединения.

Вначале в атмосфере был обнаружен сероводород, а затем с развитием измерительных приборов и способов отбора проб воз, удалось выделить ряд органических газообразных соединений серы. Наиболее важными источниками этих газов являются болота, зоны приливов и отливов у береговой линии морей, устья рек и некоторые почвы, содержащие большое количество органических веществ. Можно предположить, что выделение серы биологическим путем не превышает 30-40 млн. т в год, что составляет около 1/3 всего выделяемого количества серы из всех источников.

Вулканическая деятельность. При извержении вулкана в атмосферу, наряду с большим количеством диоксида серы, попадают сероводород, сульфаты и элементарная сера. Эти соединения поступают главным образом в нижний слой - тропосферу. С извержением вулканов в атмосферу ежегодно в среднем попадает около 2 млн. т серосодержащих соединений.

Поверхности океанов. После испарения капель воды, поступающих в атмосферу с поверхности океанов, остается морская соль, содержащая наряду с ионами натрия и хлора соединения серы - сульфаты.

Вместе с частицами морской соли ежегодно в атмосферу попадает 200 млн. т серы, что гораздо больше, чем эмиссия серы биологическим путем. Следует также учесть, что из сульфатов морского происхождения не может образоваться серная кислота, поэтому с точки зрения образования кислотных дождей они не имеют существенного значения. Их влияние сказывается лишь на регулировании образования облаков и осадков.

В результате техногенной деятельности в атмосферу выбрасываются значительные количества соединений серы, главным образом в виде ее диоксида. Среди источников этих соединений на первом месте стоит уголь, сжигаемый в печах и на электростанциях, который дает 70 % техногенных выбросов. Содержание серы (несколько процентов) в угле достаточно велико (особенно в буром угле). В процессе горения сера превращается в сернистый газ, а часть серы остается в золе в твердом состоянии.

Содержание серы в неочищенной нефти также достаточно велико в зависимости от места происхождения (0,1-2%). При сгорании нефтяных продуктов сернистого газа образуется значительно меньше, чем при сгорании угля (М.Г.Ясовеев, 2005).

Источниками образования диоксида серы могут быть так же отдельные отрасли промышленности, главным образом металлургическая, а также предприятия по производству серной кислоты и переработке нефти. На транспорте загрязнение соединениями серы относительно незначительно, там в первую очередь необходимо считаться с оксидами азота.

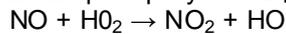
Таким образом, ежегодно в результате деятельности человека в атмосферу попадает сотни миллионов тонн серы в виде ее диоксида. Сравнение естественных и техногенных выбросов соединений серы показывает, что человек загрязняет атмосферу газообразными

соединениями серы в 2 раза больше, чем это происходит в природе. К тому же эти соединения концентрируются в районах с развитой промышленностью, где антропогенные выбросы в несколько раз превышают естественные, т. е. главным образом в Европе, Северной Америке, Китае, Японии.

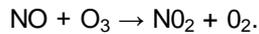
Виды соединений азота. В состав атмосферы входит ряд азотсодержащих веществ, из которых наиболее распространена закись азота N_2O . Этот газ в нижних слоях воздуха нейтрален и с рассматриваемой здесь точки зрения не представляет интереса. В то же время в воздухе имеются кислотные оксиды азота, например, оксид азота NO и диоксид азота NO_2 .

При нормальных атмосферных условиях имеют экологическое значение только оксид, диоксид и закись азота. Последняя не принимает участия в кислотной седиментации, следовательно, остаются только оксид и диоксид азота, которые в результате протекающих в атмосфере реакций образуют азотистую кислоту.

Оксид азота под действием окислителей (например, озона) или различных свободных радикалов преобразуется в диоксид азота:



или



Итак, можно предположить, что оксидом азота можно пренебречь вследствие указанных окислительных процессов. Однако это не совсем так, что объясняется двумя причинами. Первая заключается в том, что выброс оксидов азота в значительной степени происходит в форме окиси азота, и требуется время, чтобы NO полностью превратилась в NO_2 . Обычно пользуются формулой NO_x , которая обозначает сумму объемов оксида и диоксида азота.

Кислотную среду в атмосфере создает также азотная кислота, образующаяся из оксидов азота. Если находящаяся в воздухе азотная кислота нейтрализуется, то образуется азотнокислая соль, которая обычно присутствует в атмосфере в виде аэрозолей. Это относится также к солям аммония, которые получаются в результате взаимодействий аммиака с какой-либо кислотой (Состояние природной среды Беларуси, 2010).

Источники соединений азота. Эти источники могут быть как естественными, так и техногенными. Наиболее важные естественные источники:

– *почвенная эмиссия оксидов азота.* В процессе деятельности живущих в почве денитрифицирующих бактерий из нитратов высвобождаются оксиды азота. Согласно современным данным, ежегодно во всем мире образуется 8 млн. т оксидов азота (в пересчете на азот);

– *грозовые разряды.* Во время электрических разрядов в атмосфере из-за очень высокой температуры и перехода в плазменное состояние молекулярные азот и кислород в воздухе соединяются в оксиды азота. В состоянии плазмы, «четвергом агрегатном состоянии», атомы и молекулы ионизируются и легко вступают в химическую реакцию. Общее количество образовавшихся таким способом оксидов азота составляет 8 млн т в год;

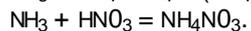
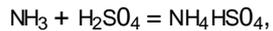
– *горение биомассы.* Этот источник может быть как естественным, так и искусственным. Наибольшее количество биомассы сгорает в результате выжигания леса (с целью получения производственных площадей) и пожаров в саванне. При горении биомассы в воздух поступает 12 млн т оксидов азота (в пересчете на азот) в год.

Среди техногенных источников образования азота на первом месте стоит горение ископаемого топлива (уголь, нефть, газ и т. д.). Во время горения в результате возникновения высокой температуры находящиеся в воздухе азот и кислород соединяются. Количество образовавшегося оксида азота NO пропорционально температуре горения. Кроме того, оксиды азота образуются в результате горения имеющихся в топливе азотсодержащих веществ. Сжигая топливо, человек ежегодно выбрасывает в воздух 12 млн т оксидов азота. Немного меньше оксидов азота (8 млн т в год) поступает от двигателей внутреннего сгорания. Значительным источником оксидов азота является транспорт (Состояние природной среды Беларуси, 2010).

Промышленность, выбрасывающая в воздух ежегодно 1 млн т оксидов азота, не представляет собой серьезного источника загрязнения по сравнению с отоплением и транспортом. В целом количество естественных и искусственных выбросов приблизительно одинаково, однако последние, так же как и выбросы соединений серы, сосредоточены в ограниченных территориях Земли.

Только в Европе в результате сжигания топлива, а также от транспорта и промышленности, ежегодно поступает в воздух десятки миллионы тонн оксидов азота.

Атмосферный аммиак. Аммиак, имеющий в водном растворе щелочную реакцию, играет значительную роль в регулировании кислотных дождей, так как он может нейтрализовать атмосферные кислотные соединения с помощью следующих реакций:



Эти химические реакции ведут к образованию сульфата и нитрата аммония.

Важнейшим источником атмосферного аммиака является почва. Находящиеся в почве органические вещества разрушаются определенными бактериями, и одним из конечных продуктов этого процесса является аммиак. Установлено, что активность бактерий, приводящая в конечном счете к образованию аммиака, зависит в первую очередь от температуры и влажности почвы.

Распространение кислотных веществ в атмосфере

Загрязняющие вещества, выделяющиеся из источников, близкие к поверхности Земли, естественно, не задерживаются на одном месте, а распространяются в вертикальном и горизонтальном направлениях, частично преобразовываясь при этом. Рассмотрим сначала вертикальное перемешивание, которое происходит посредством конвекционных (упорядоченных вертикальных) или турбулентных (неупорядоченных) движений. В зависимости от структуры атмосферы и ее состояния в данный момент перемешивание может достигнуть только определенной высоты. Эта высота в первую очередь зависит от распределения температуры по вертикали в атмосфере. Как известно, начиная с поверхности Земли температура воздуха по мере движения в верх обычно снижается, в среднем на 0,6 °С на каждые 100 м. На высоте 8-18 км от поверхности это понижение исчезает, более того, двигаясь выше, можно наблюдать потепление. Этот слой, где происходит изменение температуры в обратном направлении, называется тропопаузой, а пространство между ней и поверхностью - тропосферой. Высота тропопаузы (8-18 км) зависит от географической широты и для данного места остается постоянной. Выше находится стратосфера, где потепление в вертикальном направлении происходит в результате поглощения коротковолнового излучения и протекания фотохимических реакций. Разделяющая две сферы тропопауза играет важную роль, она действует как экранирующий слой между тропосферой и стратосферой. Физическим условием движения потока вверх является снижение температуры воздуха в этом же направлении. Поэтому перемешивание в тропопаузе замедляется, и загрязняющие вещества уже не могут проникнуть в стратосферу (М.Г.Ясовеев, 2009).

Таким образом, возвращаясь к тропопаузе, можно сказать, что в результате увеличения температуры с высотой перемешивание на этом уровне прекращается. В то же время часто уже в нижних слоях тропосферы, вблизи от поверхности, наблюдается инверсия температуры, т. е. изменение ее в противоположном направлении, которое также приводит к прекращению вертикального перемешивания. Местонахождение инверсии иногда хорошо видно невооруженным глазом. Например, в Минске, особенно в зимние месяцы, над загрязненными местами иногда можно превосходно разглядеть границу между серым загрязненным нижним и верхним чистым слоями воздуха. На этой границе прекращается вертикальное перемешивание загрязняющих веществ.

Кислотные загрязняющие вещества, естественно, распространяются не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлении. Этот процесс происходит под воздействием ветра при упорядоченном движении воздуха или же в результате турбулентного (неупорядоченного) движения. Расстояние, которое может в среднем пройти одна молекула загрязняющего вещества, зависит помимо скорости ветра и от времени ее пребывания в атмосфере. Все находящиеся в атмосфере вещества, в том числе и ее основные компоненты, через определенное время вступают в химическую реакцию либо выпадают из атмосферы на поверхность в виде осадка. Время, в течение которого в среднем молекулы соединений проводят в атмосфере, называется временем пребывания. Обычно, чем короче время пребывания заданного вещества в атмосфере, тем выше его способность изменяться в пространстве и во времени. Концентрация же диоксида азота может в несколько раз изменяться в зависимости от места и времени. Время ее пребывания составляет лишь 8-10 суток, а для серы оно еще короче - около 2 суток. Это, естественно, не означает, что каждая молекула диоксида серы точно через 2 суток исчезает из атмосферы, так как время жизни каждой молекулы статистически колеблется вокруг среднего значения.

Что означают для диоксида серы эти двое суток времени пребывания? На какое расстояние в среднем эта молекула может распространиться с помощью ветра? Возьмем скорость ветра 10 м/с, которая довольно часто бывает на высоте 1 км от поверхности Земли.

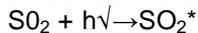
Легко можно подсчитать, что одна «средняя» молекула диоксида серы на «крыльях ветра» может удалиться примерно на 2000 км от места выброса. Если же мы примем во внимание среднее значение скорости ветра у поверхности почвы, то среднее пройденное молекулой расстояние составит около 500 км. Таким образом, молекула диоксид серы в среднем может покрыть расстояние 1000 км. Для диоксида азота это расстояние из-за более продолжительного времени пребывания может быть еще больше (Состояние природной среды Беларуси, 2010).

Распространение загрязняющих веществ в таких масштабах создало много международных проблем. Поскольку загрязнение воздуха не знает границ, выброс загрязняющих веществ в одном государстве может загрязнить воздух другого. Например, существует тесная связь между образованием кислотных дождей в Скандинавских странах и эмиссией соединений серы и азота в Средней и Западной Европе. Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК) в рамках «Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязняющих воздух веществ на большие расстояния в Европе» (ЕМЕП) уже подсчитала, в какой степени то или иное европейское государство несет ответственность, например, за выпадение кислотных дождей в Скандинавских странах. Из кислотных соединений серы на Беларусь приходится менее 1 %. Однако проблема сложнее, так как необходимо принять во внимание также количества загрязняющих веществ, которые удаляются из определенной страны и поступают туда из других стран.

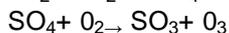
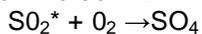
Химические превращения соединений серы. Сера входит в состав выбросов в не полностью окисленной форме (степень окисления серы в ее диоксиде равна 4, т. е. к двум атомам кислорода присоединяется один атом серы). Если соединения серы находятся в воздухе в течение достаточно длительного времени, то под действием содержащихся в воздухе окислителей они превращаются в серную кислоту или сульфаты.

Рассмотрим в первую очередь наиболее значительное с точки зрения кислотных дождей вещество - *диоксид серы*.

Одной из реакций является взаимодействие молекулы диоксида серы с фотоном ($h\nu$) в видимой области спектра:



В результате этого процесса возникают так называемые активированные молекулы, которые располагают избыточной энергией по сравнению с основным состоянием. Звездочка означает активированное состояние. Активированные молекулы двуокиси серы в отличие от «нормальных» молекул могут вступать в химическое взаимодействие с находящимся в воздухе в довольно больших количествах молекулярным кислородом:

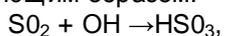


Образовавшаяся трехокись серы, взаимодействуя с атмосферной водой, очень быстро превращается в серную кислоту, поэтому при обычных атмосферных условиях трехокись серы не содержится в воздухе в значительных количествах. Иногда диоксид серы может вступить во взаимодействие с атомарным кислородом, также с образованием трехокиси серы:



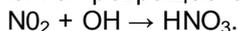
Эта реакция протекает в тех средах, где имеется высокое содержание диоксида азота, которая также под действием света выделяет атомарный кислород.

В последние годы было установлено, что описанные выше механизмы превращения двуокиси серы в атмосфере не имеют преобладающего значения, так как реакции протекают главным образом при участии свободных радикалов. Свободные радикалы, возникающие при фотохимических процессах, содержат непарный электрон, благодаря чему они обладают повышенной реакционной способностью. Одна из таких реакций, например, протекает следующим образом:



В результате реакции образуются молекулы серной кислоты, которые в воздухе или на поверхности аэрозольных частиц быстро конденсируются.

Химические превращения соединений азота. Наиболее распространенным соединением азота, входящим в состав выбросов, является оксид азота NO , который при взаимодействии с кислородом воздуха образует диоксид азота. Последняя в результате реакции с радикалом гидроксила превращается в азотную кислоту:



Полученная таким образом азотная кислота, в отличие от серной, может долгое время оставаться в газообразном состоянии, так как она плохо конденсируется. Другими словами,

азотная кислота обладает большей летучестью, чем серная. Пары азотной кислоты могут быть поглощены капельками облаков или осадков или частицами аэрозоля.

Кислотные дожди

Выше мы познакомились с выбросами кислотных соединений серы и азота, с их распространением и превращением в атмосфере. Заключительным этапом в круговороте загрязняющих веществ является их осаждение, которое может происходить двумя путями. Первый путь - вымывание осадков, или влажное осаждение. Второй путь - выпадение осадков, или сухое осаждение.

Вымывание кислотных веществ из атмосферы. Происходит во время образования облаков и осадков. Одним из условий образования облаков является перенасыщенность. Это означает, что воздух содержит больше водяного пара, чем он может принять при заданной температуре, сохраняя равновесие. В метеорологии в таких случаях принято говорить, что относительное содержание пара в воздухе более 100 %.

При понижении температуры способность воздуха накапливать воду в виде пара уменьшается. Если воздушная масса начинает подниматься перпендикулярно вверх (например, под действием метеорологического фронта), то она остывает, и воздух становится перенасыщенным относительно водяного пара. Тогда начинается конденсация водяного пара, которая происходит до тех пор, пока не прекратится перенасыщенность. Однако при обычных атмосферных условиях водяной пар способен конденсироваться только при относительной влажности 400-500%. Относительная влажность в атмосфере лишь в редких случаях может превысить 100,5 %. При такой перенасыщенности капельки облаков могут возникать только на частицах аэрозоля - так называемых конденсационных ядрах. Этими ядрами часто являются хорошо растворимые в воде соединения серы и азота (Б.П. Алисов, 1974).

После начала образования капель элементы облака продолжают поглощать аэрозольные частицы и молекулы газа. Поэтому воду облака или его кристаллы можно рассматривать как раствор атмосферных микроэлементов. Естественно, что элементы облака не могут безгранично увеличиваться. Возникающая под действием гравитации седиментация, которая растет с увеличением размера капель, рано или поздно приводит к выпадению капель облаков с высоты нескольких сотен или тысяч метров. Во время выпадения эти капли промывают слой атмосферы между облаками и поверхностью земли. В это время поглощаются новые молекулы газа, и новые аэрозольные частицы захватываются падающей каплей. Таким образом, достигающая поверхности земли вода, вопреки общепринятому мнению, никоим образом не является дистиллированной водой. Более того, во многих случаях растворенные в воде осадков вещества могут служить важным и иногда даже единственным источником восстановления запасов этих веществ в различных сферах.

Наиболее значительная сеть атмосферных измерений в Европе создана в рамках «Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязняющих воздух веществ на большие расстояния в Европе» (ЕМЕП). В программе принимают участие все страны Европы. Цель этой программы состоит в исследовании распространения Плотных загрязняющих воздух соединений в различных странах.

Кислотность дождевых осадков. Известно, что если бы в воздухе не было микроэлементов, то значение pH атмосферных осадков составляло бы 5,6 из-за наличия диоксида углерода. Это значение уменьшается из-за находящихся в атмосфере кислотных микроэлементов - соединений серы и азота. Если бы не происходило загрязнение окружающей среды в результате деятельности человека, то значение pH осадков, согласно отдельным прогнозам, уменьшалось бы самое большее до 5, что соответствует четырехкратному увеличению кислотности. Однако в результате деятельности человека pH уменьшается еще более значительно.

Максимальное в мире значение кислотности (pH = 2,25) установили в Китае в 1981 г. в районе с сильным загрязнением воздуха. Эта атмосферная вода, фактически являющаяся кислотой, представляет непосредственную опасность для окружающей среды и человека. В каждом ее литре содержалось около 0,3 г серной или азотной кислоты, в то время как даже используемый в хозяйстве уксус имеет pH = 2,8.

«Сухие» осадки (сухие выпадения). Хотя эта форма осаждения существенно отличается от влажной седиментации, конечный результат ее действия идентичен - попадание кислотных атмосферных микроэлементов, соединений серы и азота на поверхность Земли. Известно много разнообразных кислотных микроэлементов, однако содержание большинства из них настолько мало, что их роль в кислотной седиментации можно не принимать во внимание. В загрязненных местах встречаются следующие соединения серы и азота в значительных

концентрациях: газообразный диоксид серы, газообразный диоксид азота, пары азотной кислоты и аэрозольные частицы, содержащие серную кислоту.

Влияние кислотных осадков на окружающую среду

В первую очередь рассмотрим объекты, на которые кислотные осадки оказывают вредное воздействие. Такими объектами являются все процессы и предметы, на которые влияет изменение pH среды т. е. изменение концентрации ионов водорода. Это относится также к живым организмам, поскольку большинство биологических процессов чувствительно к изменению pH.

Вредные воздействия можно сгруппировать в зависимости от того, на кого они направлены - на предметы или на живые существа. К первым можно отнести разрушение памятников и зданий, коррозию металлических предметов, ко вторым - воздействие атмосферных кислотных соединений на человека, животных и растения. Так называемые прямые воздействия обычно имеют местное значение и зависят от концентрации кислотных микроэлементов в атмосфере. Эти воздействия происходят вблизи от выброса загрязняющего вещества (в радиусе 100 км).

Однако кислотные осадки могут оказывать вредное воздействие не только на отдельный предмет или живое существо, но и на их совокупность. В природе и в окружающей среде образовались сообщества растений и животных, между которыми, как и между живыми и неживыми организмами, существует постоянный обмен веществ. Эти сообщества, которые называются экологической системой, обычно состоят из четырех групп: неживые объекты, живые организмы, потребители и разрушители.

Влияние кислотности в первую очередь сказывается на состоянии пресных вод и лесов. Обычно воздействия на сообщества бывают косвенными, т. е. опасность представляют не сами кислотные осадки, а протекающие под их влиянием процессы (например, высвобождение алюминия). В определенных объектах (почва, вода, ил и т. д.), в зависимости от кислотности, могут возрасти концентрации тяжелых металлов, так как в результате изменения pH изменяется их растворимость. Через питьевую воду и животную пищу, например, через рыбу в организм человека также могут попасть токсичные металлы. Если под действием кислотности изменяется строение почвы, ее биология и химия, то это может привести к гибели растений (например, лесов). Обычно эти косвенные воздействия не являются местными и могут влиять на расстоянии нескольких сотен километров от источника загрязнения.

Косвенные (непрямые) воздействия

Воздействия на леса и пашни. Кислотные осадки воздействуют либо косвенным путем, через почву и корневую систему, либо непосредственно (главным образом на листву). Подкисление почвы определяется различными факторами. В отличие от вод почва обладает способностью к выравниванию кислотности среды, т. е. до определенной степени она сопротивляется усилению кислотности. Попавшие в почву кислоты нейтрализуются, что ведет к сохранению естественного закисления. Однако, наряду с естественными процессами, на почвы в лесах и на пашнях воздействуют техногенные факторы.

Косвенные воздействия проявляются по-разному. Например, осадки, содержащие соединения азота, некоторое время способствуют росту деревьев, так как снабжают почву питательными веществами. Однако в результате постоянного потребления азота лес им перенасыщается. Тогда увеличивается вымывание нитрата, что ведет к закислению почвы.

Во время выпадения осадков вода, стекающая с листьев, содержит больше серы, калия, магния, кальция и меньше нитрата и аммиака, чем вода осадков, что приводит к увеличению кислотности почвы. В результате этого возрастают потери необходимых для растений кальция, магния, калия, что ведет к повреждению деревьев.

Поступающие в почву ионы водорода могут замещаться находящимися в почве катионами, в результате чего происходят либо выщелачивание кальция, магния и калия, либо их седиментация в обе воженой форме. Далее возрастает также мобильность токсичных тяжелых металлов (марганец, медь, кадмий и др.) в почвах с низкими значениями pH. Растворимость тяжелых металлов также сильно зависит от pH. Растворенные и вследствие этого легко поглощаемые растениями тяжелые металлы являются ядами для растений и могут привести к их гибели. Широко известно, что алюминий, растворенный в сильноокислой среде ядовит для живущих в почве организмов. Во многих почвах, например, в северных умеренных и бореальных лесных зонах, наблюдается поглощение более высоких концентраций алюминия по сравнению с концентрациями щелочных катионов. По последним данным, гибель лесов в Средней и Западной Европе произошла главным образом под влиянием косвенных воздействий (М.Г. Ясовеев, 2006).

Закисление пресных вод. Следует отметить, что закисление пресных вод - это потеря ими

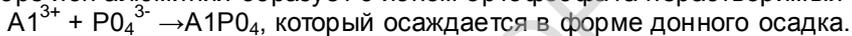
способности к нейтрализации. Закисление вызывают сильные кислоты, главным образом серная и азотная. На протяжении длительного периода более важную роль играют сульфаты, но во время эпизодических явлений (например, таяние снега) сульфаты и нитраты действуют совместно. На значительных территориях при повышении определенных значений кислотности осадков поверхностные воды оказываются кислыми. Если почва теряет способность нейтрализовать кислоты, то значение pH может снизиться на 1,5, а в крайних случаях - даже на 2 или на 3. Частично закисление происходит непосредственно под действием осадков, но в большей мере - за счет веществ, смываемых с территории водного бассейна.

Особенно интенсивно происходило в прошлом закисление озер в Скандинавских странах и в Канаде. Большинство скандинавских озер имеют гранитное или бедное известняками ложе. Такие озера обладают гораздо меньшей способностью к нейтрализации кислот, чем озера, расположенные на территориях, богатых известняком. Это связано с тем, что из известняковых почв выделяется ион гидрокарбоната, который обеспечивает щелочную среду и, следовательно, способность к нейтрализации кислот.

Процесс закисления поверхностных вод состоит из трех фаз:

- убывь ионов гидрокарбоната, т. е. уменьшение способности к нейтрализации при неизменяющемся значении pH;
- уменьшение pH при уменьшении количества ионов гидрокарбоната. Значение pH тогда падает ниже 5,5. Наиболее чувствительные виды живых организмов начинают погибать уже при $pH = 6,5$;
- при $pH=4,5$ кислотность раствора стабилизируется. В этих условиях кислотность раствора регулируется реакцией гидролиза соединений алюминия. При таком pH способны жить только немногие виды насекомых, растительный и животный планктон (М.Г. Ясовеев, 2009).

Гибель живых существ помимо действия сильнокислотного иона алюминия может быть вызвана и другими причинами. Под воздействием иона водорода, например, выделяются кадмий, цинк, свинец марганец, а также другие ядовитые тяжелые металлы. Количество растительных питательных веществ, например, фосфора, начинает уменьшаться, так как в растворе ион алюминия образует с ионом ортофосфата нерастворимый фосфат алюминия:



Гибель водных живых сообществ может приводить к закислению и выделению тяжелых металлов, а также к нарушению экологического равновесия. Уменьшение pH воды идет параллельно с сокращением популяций или гибелью рыб, земноводных, фито- и зоопланктона, а также множества прочих живых организмов. Можно заметить характерные различия во флоре и фауне озер, вода которых имеет близкий состав питательных веществ и ионов, но различную кислотность. До определенных пределов млекопитающие, в том числе и человек, защищены от вредного влияния кислотности, однако в организмах водных животных накапливаются ядовитые тяжелые металлы, которые могут попасть в пищевую цепочку. Наибольших масштабов достигло закисление озер и рек в Швеции, Норвегии, США, Канаде, но этот процесс зафиксирован и в Дании, Бельгии, Голландии, Германии, Великобритании и других европейских странах.

Непосредственные (прямые) воздействия

Гибель растений. Непосредственная гибель растений в наибольшей степени ощущается вблизи от выбросов загрязнений, в радиусе нескольких десятков километров от их источника. Главной причиной является высокая концентрация диоксида серы. Это соединение адсорбируется на поверхности растения, в основном на его листьях, и оказывает на него вредное влияние. Диоксид серы, проникая в организм растения, принимает участие в различных окислительных процессах. В соответствии с последними исследованиями эти процессы протекают с участием свободных радикалов, образованных из диоксида серы в результате химических реакций. Они окисляют ненасыщенные жирные кислоты мембран, тем самым изменяя их проницаемость, что в дальнейшем отрицательно влияет на многие процессы (дыхание, фотосинтез и др.).

Непосредственные воздействия на растения могут принимать такие формы:

- генетические изменения;
- видовые изменения;
- нанесение прямого вреда растительности.

Естественно, в зависимости от чувствительности вида и размеров нагрузки масштаб воздействия может простирается от восполнимого (обратимого) ущерба до полной гибели растения.

В первую очередь погибают наиболее чувствительные виды, например, отдельные лишайники, которые могут сохраниться только в самой чистой среде, поэтому их считают «индикаторами» чистого воздуха. Обычно в сильнозагрязненных местах образуется «лишайниковая пустыня».

Роль диоксида серы в гибели лесов, таким образом, можно считать доказанной. Также доказано вредное влияние влажных кислотных осадков. В наибольшей степени непосредственная гибель растений наблюдается в районах с сильнозагрязненным воздухом, например, в Средней Европе. Масштабы гибели растений и повышенные концентрации диоксида серы в Европе распространены примерно одинаково. Сухие осадки, содержащие диоксид серы, уже атаковали леса Чехии, Польши, Германии, Словакии. Возможно, что на упомянутых территориях гибель леса связана не столько с диоксидом серы, сколько с оксидами азота, которые образуются из выхлопов автомобилей. Оксиды азота под воздействием солнечных лучей выделяют озон. Озон с оксидами азота, а также частично с углеводородами, поступающими в атмосферу не только с выхлопными газами, но из других источников, образует весьма агрессивное вещество PAN (пероксиацетилнитрат).

Прямые воздействия на человека

Естественно, атмосферные кислотные микроэлементы не щадят и человека. Однако здесь речь идет уже не только о кислотных дождях, но и о том вреде, который приносят кислотные вещества (диоксид серы, диоксид азота, кислотные аэрозольные частицы) при дыхании.

Установлено, что существует тесная зависимость между уровнем смертности и степенью загрязнения района. При концентрации SO_2 около 1мг/м^3 , которая бывает зимой в во многих европейских городах, возрастает число смертельных случаев, в первую очередь среди людей старшего поколения и лиц, страдающих заболеваниями дыхательных путей.

Кроме оксидов серы и азота опасны для здоровья человека также аэрозольные частицы кислотного характера, содержащие сульфаты или серную кислоту. Степень их опасности зависит от размеров. Так, пыль и более крупные аэрозольные частицы задерживаются в верхних дыхательных путях, а мелкие (менее 1мкм) капли серной кислоты или частицы сульфатов могут проникать в самые дальние участки легких.

Кроме первичного прямого воздействия, естественно, на человека косвенно влияет и закисление окружающей среды и первую очередь оказывают ядовитые металлы (алюминий, тяжелые металлы). Эти металлы легко могут попасть в пищевую цепочку, в конце которой стоит человек.

Коррозия металлов, зданий и памятников. Находящиеся в воздухе загрязнения и кислотные дожди разрушают также находящиеся на открытом воздухе предметы из металла. На этот процесс, называемый коррозией, помимо атмосферных кислотных загрязняющих веществ, оказывают влияние температура и влажность. Причиной коррозии является увеличение концентрации иона водорода на поверхности металлов, от которой в достаточно большой степени зависит окисление металлов. В загородных районах скорость коррозии стальных предметов составляет несколько микрометров в год, в загрязненных же городских районах она может быть в несколько раз больше и достигает даже 100мкм в год. Коррозия металлических предметов обусловлена с одной стороны кислотными дождями, а с другой - высокой концентрацией загрязняющих веществ в атмосфере. Коррозия в первую очередь причиняет ущерб конструкциям мостов, резервуарам, линиям электропередачи, различного расположенному под открытым небом машинному оборудованию, транспорту.

Кислотный дождь может причинять вред не только металлам, но различным зданиям и памятникам. В первую очередь подвержены опасности памятники, построенные из песчаника и известняка, а так же расположенные под открытым небом скульптуры. Содержащийся в песчаниках и известняках карбонат кальция относительно легко растворяется и превращается в сульфат кальция (гипс), который вымывается дождевой водой.

В Италии, Греции и других странах сохранявшиеся на протяжении сотен и тысяч лет памятники старины и различные предметы за последние десятилетия сильно разрушились в результате действия выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ.

Что ожидает нас в будущем?

Дальнейшее закисление окружающей среды зависит от количества техногенных выбросов оксидов серы и азота в атмосферу. Разумеется, предсказать это очень сложно. Однако мы можем сделать заключение на основе анализа интенсивности выбросов в прошлом. Изменение эмиссии диоксида серы за последние 100 лет возросло почти в 10 раз. Ожидается рост закисления окружающей среды, а причиняемый кислотными осадками ущерб станет

ощутимее. Это вызывает большое беспокойство, если принять во внимание, что и настоящие уровни выброса приводят к катастрофическим последствиям.

Неблагоприятно положение и с выбросами оксидов азота, поскольку объем техногенных выбросов соединений азота по сравнению с соединениями серы увеличиваются еще более высокими темпами. Что касается оксидов азота, то как в Европе, так и во всем мире также увеличиваются выбросы NO_x , особенно в связи с возрастающим числом автомобилей.

В некоторых странах проблема эмиссии оксидов серы и азота является в какой-то мере политической, так как в результате их распространения загрязняющие вещества попадают за пределы государственной границы, и одно государство может обвинить другое в ущербе, причиненном кислотными осадками, соответственно потребовав его возмещения. Канада, например, действует таким образом по отношению к США, а Швеция - по отношению к промышленно развитым государствам Европы. Экологи Европы и Северной Америки серьезно обеспокоены дальнейшими последствиями выпадения кислотных осадков. Разрабатываются модели на основе различных энергетических стратегий, т. е. в них учитываются различные варианты - уменьшения, увеличения и стабилизации уровня выбросов. Уже начальные результаты говорят о том, что почвы и леса в Европе могут быть спасены от дальнейшего закисления только путем значительного сокращения выбросов.

Ограничение выбросов серы и азота, которое включают в свою программу западноевропейские «зеленые», звучит довольно нереально. Ни одно государство не согласится уменьшить масштабы потребления энергии и тем самым ухудшить уровень жизни.

Далее представляется спорным, что сокращение эмиссии серы в крупных масштабах приведет к полному решению проблемы. Сомнительно, чтобы количество кислотных осадков в Европе уменьшилось в такой же пропорции. Практика показала, что связь между эмиссией соединений серы и их концентрацией в атмосфере и в осадках в масштабах континента не является линейной.

Это подтверждается также тем, что в то время как эмиссия диоксида серы начиная с 50-х годов увеличилась в Европе почти в 3 раза, количество сульфата, измеренного в осадках, увеличилось только в 1,2 раза. Таким образом, сокращение эмиссии серы на 1/3 вряд ли изменит состав влажных осадков. Наоборот, ожидается возможное уменьшение концентрации диоксида серы (а следовательно, их выпадений), но и оно не будет прямо пропорционально сокращению эмиссии. Ввод новых технологий и установка фильтрующего оборудования представляют собой в первую очередь экономическую проблему - Эти защитные мероприятия требуют таких больших капитальных вложений, что при существующих экономических условиях они не могут быть проведены в большинстве европейских стран. Такие возможности существуют лишь в местных условиях.

Литература

1. **Алисов Б.П.** Климатология/ Б.П. Алисов, Б.В. Полтораус. - М.:МГУ, 1974. -299 с.
2. **Блакiтная кнiга Беларусi: Энцикл.**// Беларус. Энцикл.; Рэдкал. М.А. Дзiсько i iнш. – Мiнск: БелЭн, 1994. – 415 с.;
3. **Гагина, Н.В.** Геоэкологическая экспертиза (курс лекций) / Н.В. Гагина. – Минск, 2001 – 77с.
4. Гигиеническая оценка почвы населенных мест: инструкция 2.1.7.11-12-5-2004: утв. / Минздрав // Сб-к нормативных документов по гигиенической оценке почвы населенных мест. – Минск, 2004. – С. 2 – 38
5. Изменения климата Беларуси и их последствия/ под. ред. В.Ф. Логинова. – М., 2003. – 330 с.
6. **Козловская, Л.В.** Социально-экономическая география Беларуси. Курс лекций/ Л.В. Козловская. – Минск, 2005 – 319 с.
7. Сборник выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь. – Минск: ООО НТЦ «АПИ». – Ч. I. –263с., Ч. II. – 283 с.
8. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюл. 2008 г. / под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Минсктиппроект, 2009. – 377 с.
9. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюл. 2009 г. / под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Минсктиппроект, 2010. – 248 с.
10. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюл. 2010 г. / под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – 360 с.
11. Экология рационального природопользования / М.Г. Ясовеев, Ю.А. Гледко, Е.Б. Антипин, И.И. Киршель, О.В. Шершнев. – Минск: ИООО «Право и экономика», 2005. – 372 с.

12. Экология урбанизированных территорий: пособие / М. Г. Ясовеев, Н. Л. Стреха, Д. А. Пацыкайлик; под ред. М. Г. Ясовеева; Бел. гос. пед. ун-т им. М. Танка, Минск : БГПУ, 2007 – 253 с.

13. **Ясовеев М.Г.** Геоэкология: актуальные проблемы : курс лекций / М.Г. Ясовеев, Э.В. Какарека, Н.Г. Белковская; под ред. проф. М.Г. Ясовеева. – Минск : БГПУ, 2009. – 176 с.

14. **Ясовеев М.Г., Таранчук В.Б. и др.** Геоэкология Беларуси/ Мн.: Право и экономика, 2006 – 366 с.

Аннотация

УДК 551.515(476) **Ясовеев М.Г., Андрухович А.И., Аль-Дулайми Хамид Дахил Аяд, Гулякин В.А., Таликадзе Д.Д., Шершнев О.В.** Геоэкологическая оценка загрязнения атмосферы // Региональная физическая география в новом столетии, вып.5. Мн.:БГУ. 2012. С. Статья депонирована в БелИСА

В работе отражены основные аспекты загрязнения воздушного бассейна Земли примесями, имеющими техногенную природу. Рассмотрены источники возникновения кислотных осадков, их состав и влияние на окружающую среду. Также рассмотрены химические соединения, оказывающие негативное воздействие на природу и человека, их виды и распространение кислотных веществ в атмосфере. В работе дается прогнозная оценка закисления окружающей среды в результате техногенных выбросов химических веществ в атмосферу.

Библиогр.: 14 названий

Анотацыя

УДК 551.515(476) **Ясавеяў М.Г., Андруховіч Г.І., Аль-Дулаймі Хамід Дахіл Аяд, Гулякін В.А., Талікадзе Д.Д., Шаршнёў А.В.** Геаэкалагічная ацэнка забруджвання атмасферы // Рэгіянальная фізічная геаграфія ў новым стагоддзі, вып.5. Мн.:БГУ. 2012. С. Артыкул дэпаніраваны ў БелІСА

У рабоце выяўлены асноўныя аспекты забруджвання паветранага басейна Зямлі прымясямі, якія маюць тэхнагенную прыроду. Разгледжаны крыніцы ўзнікнення кіслотных ападкаў, іх склад і ўздзянне на навакольнае асяроддзе. Таксама разгледжаны хімічныя злучэнні, якія негатыўна ўздзейнічаюць на прыроду і чалавека, іх віды і распаўсюджванне кіслотных рэчываў у атмасферы. У рабоце даецца прагнозная ацэнка закислення навакольнага асяроддзя ў выніку тэхнагенных выкідаў хімічных рэчываў у атмасферу.

Бібліягр.: 14 крыніц

Summary

UDK 551.515 (476) **Jasoveev M. G, Andruhovich A.I., Al-Dulajmi Hamid Dahil Ajjad, Guljakin V. A, Talikadze D.D., Shershnev O.V.** Environmental estimation of air contamination // Regional physical geography in new century, issue 5. Мн.:БГУ. 2012. The article is deposited in BelISA

In work the basic aspects of pollution of air pool of the Earth are reflected by the admixtures having the technogenic nature. Sources of occurrence of acid precipitation, their compound and influence on environment are considered. Also the chemical compounds having negative influence on the nature and the person, their kinds and distribution of acid substances in atmosphere are considered. In work the look-ahead estimation environment as a result of technogenic emissions of chemical substances in atmosphere is given.

Bibliogr.: 14 titles

Сведения об авторах:

1. М.Г. Ясовеев профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой экономической географии и охраны природы БГПУ; направление исследований – “Прикладная геоэкология”; общее количество работ 350 (из них 19 монографий, 108 статей, 12 учебников).
2. А.И. Андрухович магистр географических наук, аспирант кафедры экономической географии и охраны природы БГПУ, направление исследований – “Геоэкологическая оценка трансформации природно-территориальных комплексов под воздействием техногенеза”, общее количество работ – 7 (из них 7 статей).
3. Аль-Дулайми Хамид Дахил Айяд, аспирант кафедры экономической географии и охраны природы БГПУ, направление исследований – “Геоэкологическая оценка водных ресурсов Ирака”, общее количество работ – 3 (из них 3 статей).
4. В.А. Гулякин, доцент кафедры технических наук, заведующий НИС БГПУ; направление исследований – “Прикладная геоэкология”; общее количество работ 53.
5. Д.Д. Таликадзе, аспирант кафедры экономической географии и охраны природы БГПУ, направление исследований – “Геоэкологическая оценка водных ресурсов”, общее количество работ – 13.
6. О.В. Шершнев, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры ГГУ, общее количество работ – 45.