

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

А. А. САВАРИН, Л. А. ЛЕВШУНОВА

ХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Практическое пособие

для студентов специальности
6-05-0521-03 «Геоэкология»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2026

УДК 502:54(076)
ББК 26.308я73
С126

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук Л. В. Мурашкина,
кандидат геолого-минералогических наук А. П. Гусев

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Саварин, А. А.

С126 Химия окружающей среды : практическое пособие / А. А. Саварин, Л. А. Левшунова ; Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2026. – 31 с.
ISBN 978-985-32-0163-5

В практическом пособии приводятся задания для повторения пройденного теоретического материала и подготовки к зачету по дисциплине «Химия окружающей среды». Задания способствуют развитию аналитической деятельности студентов, практических навыков оценки документов ОВОС.

Адресовано студентам специальности 6-05-0521-03 «Геоэкология».

УДК 502:54(076)
ББК 26.308я73

ISBN 978-985-32-0163-5

© Саварин А. А., Левшунова Л. А., 2026
© Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Естественный химический состав геосфер	5
2. Изменения химического состава геосфер при добыче и переработке полезных ископаемых.....	12
3. Химический состав и качество воздуха в городах.....	21
Литература.....	25
Приложение А. Рекомендуемые в AQG уровни и промежуточные целевые показатели [4].....	28
Приложение Б. Рекомендуемые значения для двуокиси азота, двуокиси серы и окиси углерода (короткие усредненные периоды) [4]	29
Приложение В. ПДК загрязняющих веществ	30
Приложение Г. Значения индекса качества атмосферного воздуха и граничные значения, используемые для его расчета.....	31

ВВЕДЕНИЕ

Химия окружающей среды – наука о процессах, определяющих химический состав и зависящие от него свойства геосфер. Специалист-эколог должен предвидеть последствия тех или иных хозяйственных и технологических решений, знать особенности поведения химических соединений при их попадании в геосфера, оценивать их воздействие на биосферные процессы. Это особенно важно при разработке стратегии перехода Республики Беларусь к устойчивому развитию. В этой связи дисциплина имеет ярко выраженную практическую и социальную направленность. «Химия окружающей среды» является логическим обобщением пройденных ранее студентами дисциплин химического профиля: «Геохимия», «Аналитические методы в экологии» и «Экологическая химия».

Цель дисциплины – формирование у студентов целостной системы знаний по химическим процессам, протекающим в геосферах, с учетом антропогенных факторов, и выработка навыков научно обоснованной оценки качества окружающей среды. Студент-эколог обязан понимать свою гражданскую ответственность за сохранение природных богатств и здоровья населения своей Родины – Республики Беларусь.

Основные задачи дисциплины:

- дать студентам знания по вопросам миграции и трансформации веществ в окружающей среде;
- научить будущих специалистов оценивать сложные причинно-следственные связи, регулирующие процессы трансформации и миграции химических соединений природного и антропогенного происхождения в биосфере;
- формирование умений и навыков для практической деятельности.

Практическое пособие включает в себя:

- задания для повторения пройденного материала (задания повышенной трудности помечены звёздочкой);
- список литературы;
- приложения.

Цель издания – активизация студентов к учебно-познавательной и научной деятельности, понимание ими тесной связи химии и экологии.

1. ЕСТЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГЕОСФЕР

Вопросы для самоконтроля

1. Какая геосфера, по вашему мнению, наиболее химически стабильна? Приведите соответствующие доводы. Техногенное влияние не учитывайте.

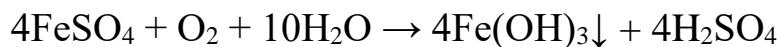
2. Приведите примеры обмена веществ между геосферами, написав уравнения химических реакций. Являются ли они катализитическими? Оцените тепловой эффект реакций.

3. Энергия приливного взаимодействия Луны и Земли является важным источником геохимических процессов. Объясните это влияние. Какова динамика энергии приливного взаимодействия в эволюционном плане?

4. Оцените возраст природных геохимических барьеров. Какой из них в настоящее время наиболее трансформируется? Как повлияло появление на Земле фотосинтезирующих организмов на формирование геохимических барьеров?

5. Какой из природных геохимических барьеров в наибольшей степени связан с окислительно-восстановительным потенциалом? Насколько такой барьер распространен в равнинных ландшафтах?

6. На каких природных геохимических барьерах могут протекать реакции:



7. Укажите 5 химических элементов гидросферы и 9 элементов литосферы, сумма кларков которых в каждом случае превышает 99 % массы этих геосфер.

8. Какие факторы и соединения оказывают основное влияние на процессы химического выветривания?

9. Почему геохимическая классификация элементов не абсолютно точна? Приведите соответствующие химические формулы минералов и (или) горных пород.

10. Могут ли литофильные элементы находиться в земной коре в свободном состоянии? Приведите доказательства.

11. Что такое «подвижная» и «инертная» формы нахождения химического элемента в земной коре?

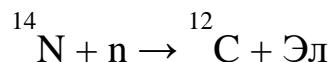
12. Что значит «выщелачивание» элемента из горной породы? Объясните физико-химический смысл термина.

13. Как называется миграция атомов, ионов, молекул в зоне водообмена в пористой среде?

14. Какое максимальное содержание глины (%) может содержать песчаная почва? Укажите химический состав глины и причину ее изменчивости по окраске.

15. Чем по элементному химическому составу торфяная почва отличается от других? Насколько широко торфяные почвы представлены на территории Беларуси?

16. В верхних слоях атмосферы под действием нейтронов космического пространства происходит ядерная реакция:



Изотоп какого элемента образовался?

17. Газ радон поступает в атмосферу Земли в результате альфа-распада Ra-226. Напишите уравнение ядерной реакции. В чем заключаются физические и химические особенности этого газа?

18. Какова минерализация (г/л) вод водоемов Беларуси? Какие катионы и анионы в них преобладают?

19. Почему растворимость в воде метана и азота значительно меньше, чем у аммиака и сероводорода? Следствием каких природных процессов является образование этих газов?

20. Величина pH вод различных пресных водоемов (озер, рек, болот и др.) существенно отличается. Однако величина водородного показателя для морских (океанических) вод относительно постоянна. Чем обусловлены эти особенности пресных и соленых вод?

21. Обладают ли воды пресных водоемов Беларуси буферностью? Приведите доказательства. Влияют ли гидробионты на буферность?

22. Почему в пресноводных водоемах в большинстве случаев отсутствует геохимическая зональность?

23. Объясните происхождение основного катиона (Ca^{2+}) в речной воде.

24. Может ли мягкая природная вода в водоемах Беларуси быть одновременно и тяжелой? Приведите аргументы.

25. На рисунке 1 – часть этикетки минеральной воды «Фрост». Минеральная вода добывается из артезианских скважин глубиной 283–285 м. Можно эту воду считать «питьевой»? Почему минерализация так сильно колеблется? Можно ли воду назвать «сульфатно-хлоридной»? Найдите максимальную жесткость воды. Есть ли в составе воды ионы тяжелых металлов?

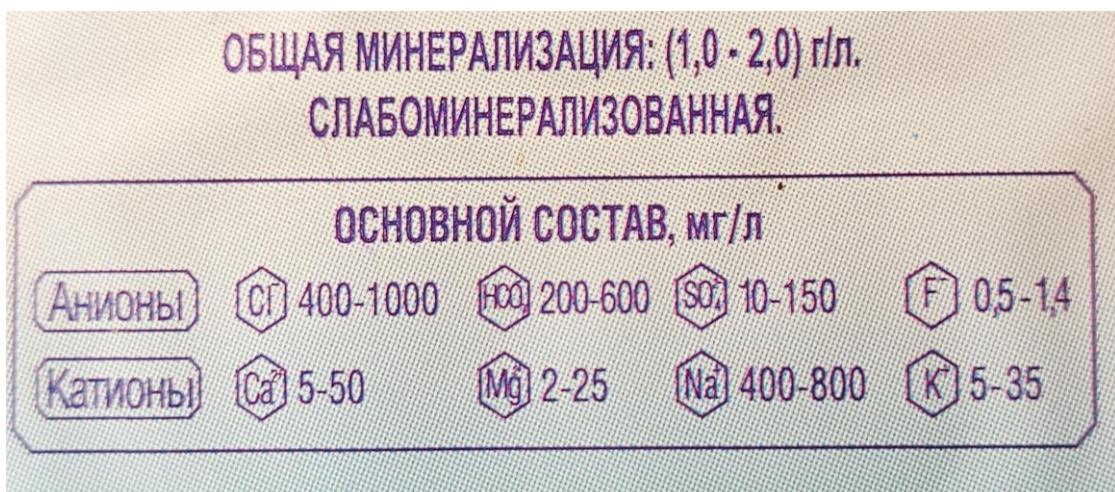


Рисунок 1 – Этикетка минеральной воды «Фрост»

26. Поясните понятие «агрессивность воды». Какой вид агрессивности наиболее часто встречается в природных водах Беларуси? Чем это обусловлено?

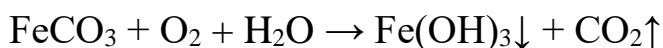
27. Могут ли вещества, образующиеся при процессах гниения органических соединений, вызывать изменения цвета воды в водоемах? Приведите доказательства. К какому классу они относятся?

28. Как называются бактерии, которые осуществляют превращения:



В каких геосферах происходят эти реакции? Напишите все окислительно-восстановительные реакции.

29. Как называются бактерии, которые осуществляют реакцию:



В каких геосферах происходит эта реакция? Напишите ОВР.

30. Корневой системой растений и лишайниками в почву (субстрат) могут выделяться органические кислоты (щавелевая, лимонная и др.).

Какое влияние оказывают эти соединения на миграцию химических элементов? Напишите уравнение реакции взаимодействия щавелевой кислоты с известняком.

31. Какой из видов лишайников (рисунок 2) не может обитать в техногенных условиях? Ответ обоснуйте.



Рисунок 2 – Лишайники:
ксантория настенная (слева) и цетрария исландская

32. В составе атмосферных осадков присутствует гидрокарбонат-ион. Каково его происхождение? Напишите соответствующие уравнения.

33. Приведите примеры геохимической деятельности газов, написав соответствующие уравнения реакций.

34. Какие газы образуются в результате гидролиза мочевины, содержащейся в моче животных?

35. Почему осадки с величиной $\text{pH} = 6$ не считаются кислотными?

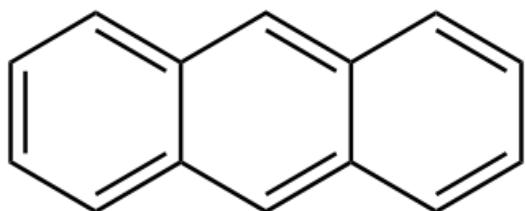
36. В состав всех живых организмов и вирусов входит химический элемент углерод. Можно ли теоретически «заменить» углерод другим химическим элементом? Почему?

37. В состав хлорофилла и гемоглобина входят магний и железо соответственно. Эти химические элементы имеют высокие значения кларка в литосфере (породообразующие элементы). Выскажите точку зрения: повлияла ли высокая распространенность этих металлов на их «вхождение» в состав названных комплексных соединений?

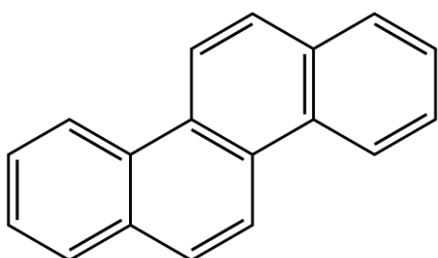
38. Какой металл есть в формуле витамина B_{12} ? К какой группе металлов он относится? Почему он не проявляет свою токсичность?

39. Могут ли в природных условиях Беларусь образовываться вещества, обладающие раздражающим или сенсибилизирующим действиями? Ответ поясните соответствующими химическими формулами.

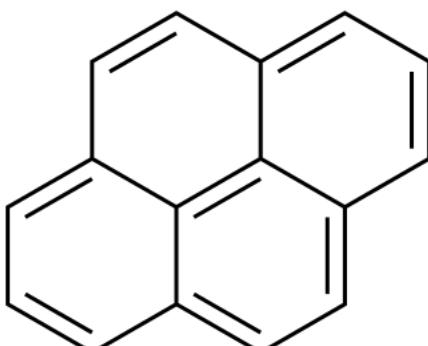
40*. Приведите пример образования полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в природных условиях. Какие из приведенных ПАУ (рисунок 3) могут образовываться без влияния техногенных факторов? Приведите химические формулы этих соединений по системе Хилла.



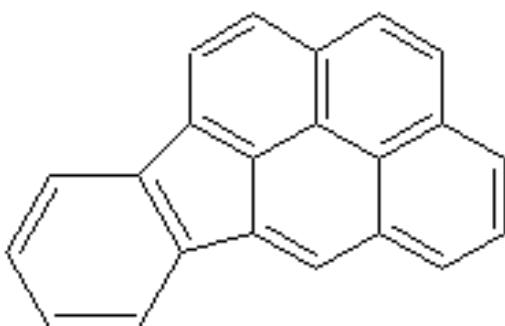
антрацен



хризен



пирен



индено(1, 2, 3-cd)пирен

Рисунок 3 – Структурные формулы ПАУ

41. Правильно ли полагать, что в ходе эволюции живые организмы адаптировались к ПАУ, образованным без влияния техногенных факторов?

42. Напишите структурные формулы классов органических соединений, представители которых растворены в природных водах Беларуси. Каково их происхождение?

43. Назовите факторы, влияющие на скорость химических реакций в атмосфере, гидросфере и литосфере. Есть ли общие факторы?

44. Могут ли живые организмы выделять газы, которые обладают большим парниковым эффектом нежели углекислый газ? К какому классу относятся эти соединения? Напишите их химические формулы. К какому царству относятся анализируемые живые организмы?

45. Могут ли растения выделять в атмосферу ЛОС (летучие органические соединения)? К какому классу органических соединений они относятся? Напишите формулы этих ЛОС. К какому классу опасности они относятся?

46. В каких границах изменяется окислительно-восстановительный потенциал природных вод? Какое влияние на геохимические процессы оказывает окислительно-восстановительный потенциал? Приведите уравнения соответствующих реакций.

47. Докажите взаимосвязь физических и химических показателей качества природных вод. Напишите уравнения происходящих в гидросфере химических реакций с указанием физических факторов, влияющих на их скорость.

48. Какова климатическая норма содержания атмосферного озона в единицах Добсона. Сколько это составляет мм при н. у.?

49*. Какие газы, выделяющиеся из недр Земли, могут потенциально оказывать влияние на озоновый слой? Оцените их влияние.

50*. На образование оксидов какого химического элемента оказывают влияние грозы? Напишите соответствующие химические уравнения.

51. В почвенном растворе объемом 350 мл содержится 2 мг сульфата магния. Чему равна молярная концентрация катиона?

52. Приведите примеры комплексных ионов природных вод.

53. Какие из аномальных свойств воды в наибольшей степени влияют на скорость геохимических процессов? Ответ поясните.

54. Укажите показатели качественного и количественного состава органических соединений, содержащихся в природных водах.

55. Какие организмы будут принимать участие в самоочищении водоема при значительном увеличении жесткости воды? Поясните схемой.

56. В чем причины различной скорости круговорота тех или иных химических элементов в атмосфере? Приведите аргументы и примеры.

57. Укажите соединения, продолжительность пребывания которых в атмосфере мало (от нескольких дней до недель). В какие геохимические циклы они могут вовлекаться?

58. Назовите основные закономерности эволюции химического состава атмосферы Земли. Может ли эта эволюция пойти «в обратную сторону»? Ответ аргументируйте.

59. Может ли кларк того или иного химического состава в атмосфере увеличиться под влиянием природных факторов? Ответ аргументируйте.

60. Могут ли прозрачные и с отсутствием запаха природные воды быть токсичными для гидробионтов? Почему? Приведите примеры соответствующих природных процессов и напишите формулы образуемых при этом соединений.

61. Назовите внутренние источники энергии геохимических процессов планеты Земля? Какова динамика этой энергии?

62. Повлияет ли охлаждение ядра Земли на скорость геохимических процессов в атмосфере? Приведите аргументы. О чём они свидетельствуют?

63. Докажите взаимосвязь, взаимовлияние (англ. “feed back”) геохимической зональности вод Мирового океана и обитающих в них гидробионтов.

64. Почему воздействие особей вида *Homo sapiens* на геосфера Земли нельзя отнести к «естественному» ее изменению? До какого этапа эволюции рода *Homo* изменение геосфер Земли было «естественным»?

65. Если бы человечество в будущем «переселилось» на другие планеты, то можно ли было бы назвать оставшуюся окружающую среду «естественной»?

66. Выскажите свою гипотезу на течение геохимических процессов на планете Земля после того, как звезда по имени Солнце погаснет.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГЕОСФЕР ПРИ ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Вопросы для самоконтроля

1. На какой глубине залегают калийные руды (рисунок 4) и какова средняя мощность калийных горизонтов? Какие есть способы добычи калийных руд в таких условиях?



Рисунок 4 – Горная порода сильвинит

2. Назовите два основных вида отходов при переработке сырья? К какому классу опасности они относятся?

3. Назовите методы складирования и ликвидации отходов в калийной промышленности. Какой из них является наиболее экологически безопасным?

4. Укажите химический состав солеотходов по мере уменьшения массовой доли соединений. Достаточно ли высокая в них массовая доля воды для предотвращения выдувания ветром солей?

5. Какое значение pH будет иметь водный раствор этих отходов? Объясните его величину с учетом гидролиза солей.

6. Почему плотность галитовых отходов постепенно увеличивается с 1,3 до 2 т/м³? Как это влияет на миграционную способность входящих в состав отходов соединений?

7. Перечислите все конструктивные решения, направленные на изоляцию солеотходов и предотвращение засоления грунтов? Какой из них можно считать наиболее экологически безопасным?

8. Максимальная высота солеотвалов достигает 120 м. Влияет ли это на количество выдуваемых ветром солей?

9. Укажите физико-химические характеристики противофильтрационного экрана (полиэтилен низкого давления, ПЭНД). Насколько он долговечен (гарантийный срок службы)? О чем это свидетельствует?

10. Возможно ли использование вместо ПЭНД других полимерных материалов, обладающих более лучшими физико-химическими характеристиками? Почему невозможно использование глинистых материалов?

11. Перечень выбрасываемых загрязняющих веществ на площадке (первая очередь) горно-обогатительного комплекса (ГОК) включает 34 группы соединений, из которых относятся:

– к 1 классу опасности: бенз(а)пирен, ртуть и ее соединения, свинец и его неорганические соединения, хром (IV);

– к 2 классу опасности: оксид азота (IV), азотная кислота, гидрохлорид (соляная кислота), марганец (IV) и его соединения, серная кислота, сероводород, углеводороды ароматические и фтористые газообразные соединения.

Каков процент соединений, относящихся к 1 и 2 классам опасности? В чем состоит опасность каждого из названных соединений?

12. На площадке ГОК (первая очередь) в год выбрасывается 37,8 т оксида серы (IV). Рассчитайте теоретическую массу серной кислоты, образующейся по схеме: $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$.

13. Перечень выбрасываемых объектом (вторая очередь) загрязняющих веществ включает 39 наименований веществ, в том числе амины алифатические ($\text{C}_{15}\text{-C}_{20}$), трихлорметан, формальдегид (все – второй класс опасности). Напишите структурные формулы этих соединений. В чем состоит опасность каждого из названных соединений?

14. «Под воздействием горных разработок происходит оседание земной поверхности и формирование техногенного рельефа провально-котловинного типа с развивающимися процессами заболачивания и затопления (подтопления) сельхозугодий и населенных пунктов на территории с высоким уровнем грунтовых вод» (цитата по [14, с. 347]. Какова максимальная величина оседания земной поверхности (м)?

15. Рассолы из шламохранища содержат высокие концентрации солей. Почему при испарении таких растворов могут образовываться разные минеральные осадки? Укажите химическую формулу первого выпавшего осадка. Как изменится химический состав оставшегося раствора?

16*. Исходя из химического состава галитовых отходов, рассчитайте массовое соотношение однозарядных катионов.

17. В скважинах подземных вод вблизи солеотвалов и шламохранилищ рудоуправлений максимальная концентрация хлорид-ионов составляет 138,5 г/л, а минерализация – до 224 г/л. Во сколько раз это превышает аналогичные показатели для водоемов?

18. Согласно прогнозам на 25 лет территории загрязнения подземных вод хлоридами составит с запада на восток 4,8 км, а с юга на север – 1,7 км. Соленые воды попадут и в канал Шипиловский, расположенный на расстоянии около 1 км от промплощадки. На рисунке 5 представлена карта изолиний концентрации хлоридов в подземных водах. Какая закономерность наблюдается? Имеется ли риск засоления грунтовых вод в населенных пунктах? (ПДК хлоридов для вод хозяйственно-питьевого назначения – 0,3 г/л).

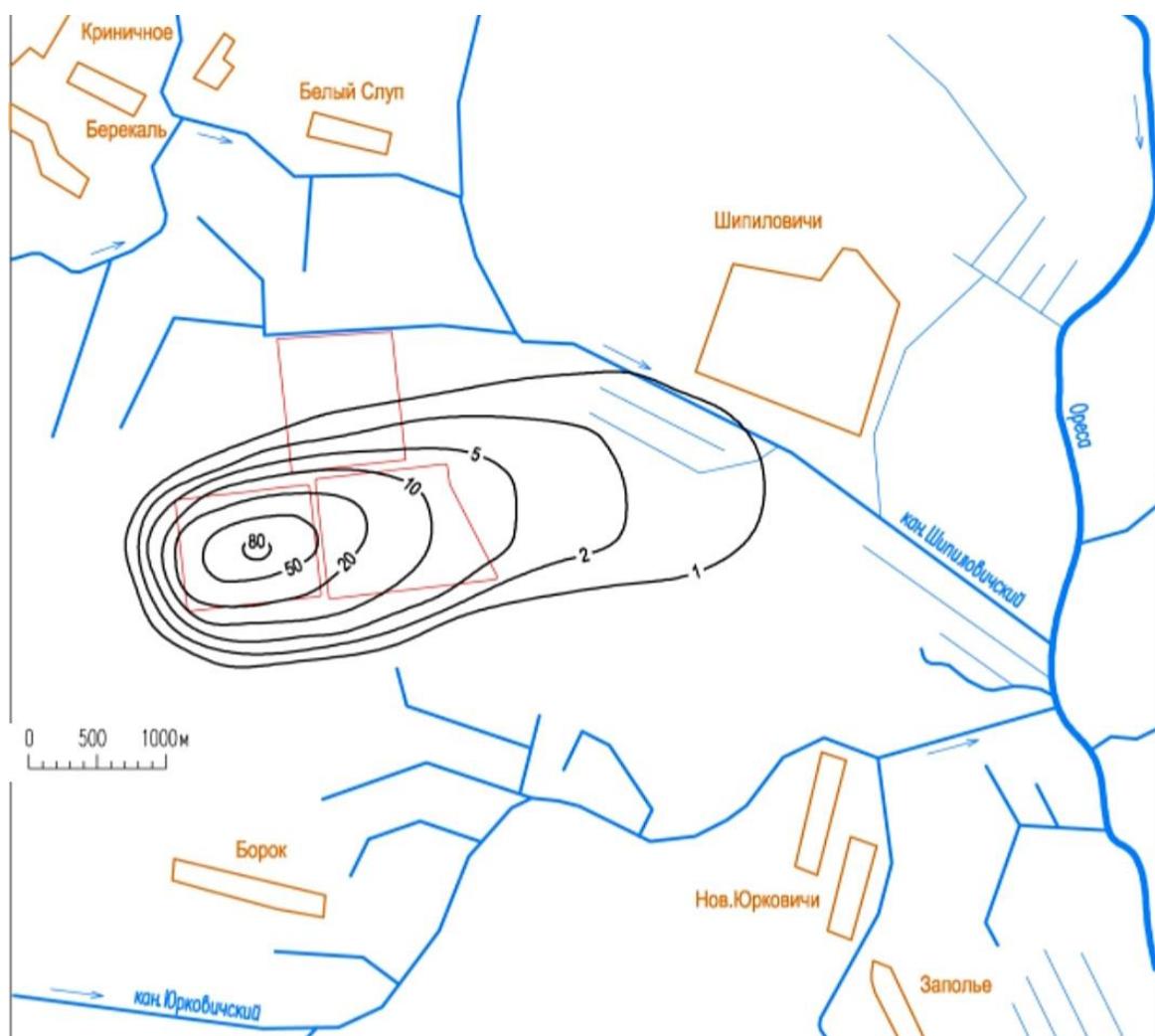


Рисунок 5 – Карта изолиний концентрации хлоридов (г/л) в подземных водах [14, с изменением авторов]

19. В ОВОС [14] в разделе «Оценка достоверности прогнозируемых последствий. Выявление неопределенностей» написано (цитата): «Неопределенности или погрешности оценки воздействия на окружающую среду связаны с тем, что при определении прогнозируемых уровней воздействия использовались математические модели и расчетные методы. Неопределенности связаны также с прогнозированием уровня грунтовых вод, на который будут влиять два процесса, имеющих разный вектор воздействия...».

Проанализируйте данное утверждение. Как вы полагаете, при увеличении мощности ГОК «неопределенности» также увеличатся, или, наоборот, воздействия на окружающую среду станут более предсказуемыми?

20. В ОВОС [14] в разделе «Мероприятия по предотвращению или снижению потенциальных неблагоприятных воздействий на поверхностные и подземные воды» среди прочего уточняется (цитата): «Для перехвата уже профильтровавшихся рассолов может быть рассмотрено создание вблизи объектов-загрязнителей по направлению потока подземных вод дренажной системы буровых скважин». О чем свидетельствует данное положение?

21. В таблице 1 приведены сведения по химическому составу подземных вод по наблюдательным скважинам, пробуренным в пределах шахтного поля. Первый комплекс – глубина до 42 м, второй – около 25–62 м. Укажите преобладающие катионы и анионы. Чем это обусловлено? Во сколько раз масса сухого остатка вод в отдельных скважинах превышает аналогичный показатель для вод Мирового океана? Подтвердите величину жесткости вод в скважинах 48б и 50б соответствующими расчетами.

Таблица 1 – Химический состав подземных вод в пределах шахтного поля

№ скважин	Сухой остаток, мг/дм ³	Натрий, мг/дм ³	Калий, мг/дм ³	Кальций, мг/дм ³	Магний, мг/дм ³	Железо общее, мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Жесткость общая, ммоль/дм ³	pH.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Водоносный днепровский-сожский водно-ледниковый комплекс									
48в	197,0	8,4	3,4	32,0	7,8	0,68	41,2	2,24	8,12
48в	205,0	7,5	2,7	43,3	10,5	0,42	55,3	3,02	8,00

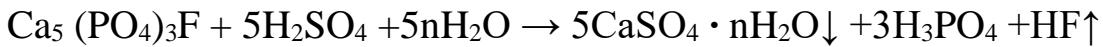
Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
48в	170,0	8,6	2,9	43,6	9,9	0,6	71,7	2,99	7,8
49б	178,0	4,0	1,4	32,7	10,6	19,13	65,8	2,50	7,45
49б	342,0	16,7	1,3	63,2	8,6	11,1	94,4	3,86	7,52
49б	302,0	5,8	2,0	66,8	15,9	6,65	103,8	4,64	7,36
50б	158,0	4,0	0,8	19,6	4,0	3,12	7,9	1,31	8,20
50б	110,0	3,0	0,6	15,2	4,6	0,86	4,3	1,14	8,15
50б	110,0	3,8	0,9	21,7	5,3	0,12	7,6	1,51	7,94

Водоносный березинский-днепровский водно-ледниковый комплекс

48б	69510,0	14600,0	13799,8	1203,5	294,8	3,00	37659,2	84,28	7,65
48б	69556,0	15682,5	13175,0	1148,1	269,5	2,33	38470,95	79,44	7,54
48б	69556,0	15682,5	13175,0	1148,1	269,5	2,33	38470,95	79,44	7,54
49а	181,0	3,6	1,1	32,7	5,3	1,24	7,9	2,07	7,80
49а	162,0	3,6	0,6	30,5	5,3	1,05	5,4	1,96	7,98
49а	168,0	4,6	1,5	38,3	9,3	3,52	41,7	2,67	7,54
50а	3000,0	540,0	126,0	435,7	59,5	2,56	1832,8	26,63	7,95
50а	3016,0	440,0	118,7	457,4	76,0	2,74	1812,4	29,07	7,72
50а	3456,0	602,0	153,0	563,2	52,6	1,13	2074,1	32,43	7,64

22. Отвальный фосфогипс образуется в результате взаимодействия апатита и серной кислоты:



Проанализируйте агрегатное состояние и класс опасностей всех реагентов и продуктов реакции.

Найдите массу твердых отходов, образующихся при обработке 1 т апатита.

23. Характерными выбросами в атмосферу ОАО «Гомельский химический завод» являются сернистый газ, серная кислота, фтороводород и аммиак. Почему именно они? Как изменяется водородный показатель при попадании этих соединений в геосфера? Укажите классы опасности соединений.

24. Общая площадь, занимаемая отвалами фосфогипса, составляет около 100 га. Относительная высота отдельных терриконов – до 90 м. Форма отвалов и их протяженность представлена на рисунке 6.

Является ли это образование техногенным геохимическим барьером? Ответ обоснуйте. Можно ли эту территорию считать «геохимически аномальной»? Какая группа геохимических элементов (классификация по В. М. Гольдшмидту) преобладает?



Рисунок 6 – Форма и протяженность отвалов (масштаб указан)

25. Почему в настоящее время полная утилизация фосфогипса практически исключена? Чем фосфогипс сходен с природным гипсом?

26. Чем объясняется непоступление в атмосферный воздух твердых частиц от отвала фосфогипса? Может ли увеличиться запыленность воздуха в результате изменения климата?

27. В состав фосфогипса входят редкоземельные металлы (РЗМ) (f-элементы). На примере отходов ОАО «Балаковские минеральные удобрения» найдите общую долю этих металлов (%) и массу в 1 т отходов (рисунок 7).

Являются ли РЗМ тяжелыми металлами? Где ТМ располагаются в периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева? В чем заключается экологическая опасность накопления ТМ?

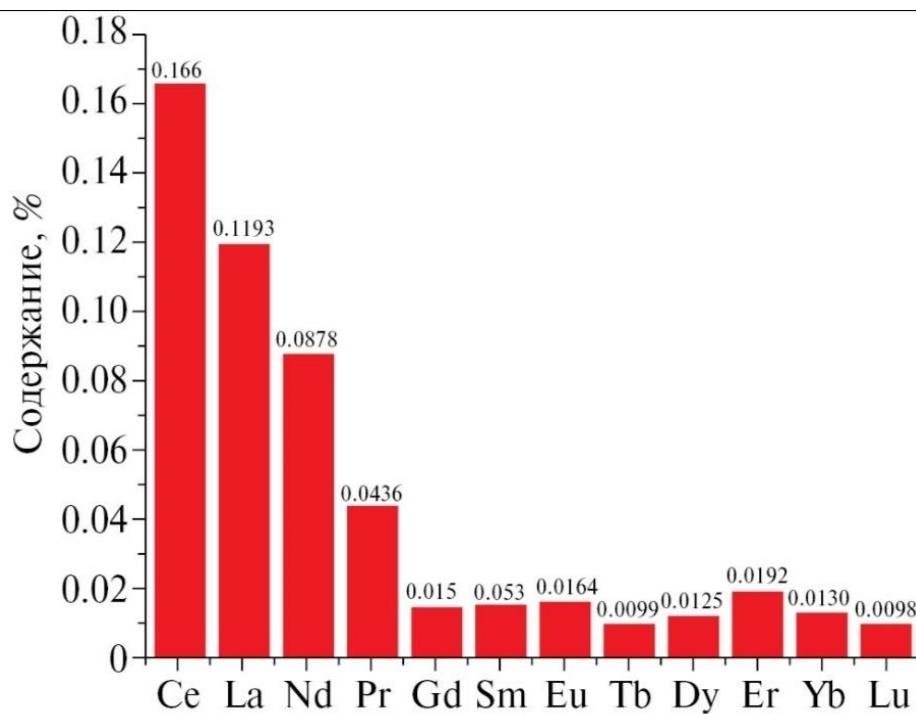


Рисунок 7 – Содержание (%) редкоземельных металлов в фосфогипсе [12]

28. В таблице 2 приведен химический состав поверхностных сточных вод с отвалов фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод». Чем объясняется высокая минерализация сточных вод сторон отвала и отводного канала? Почему сточные воды имеют такое низкое значение pH? В чем особенность химического состава вод водоемов? О чём свидетельствуют определенные значения БПК₅ и ХПК₅?

Таблица 2 – Химический состав поверхностных сточных вод с отвалов фосфогипса [13]

Показатель, определяемое вещество	Расположение точек забора сточных вод				
	северо-западная сторона отвала	северо-западная сторона между терриконами	отводной канал с южной стороны отвалов	водоем с юго-западной стороны от отвалов	водоем с южной стороны от отвалов
1	2	3	4	5	6
pH	3,6	3,3	2,6	5,8	5,5
аммоний-ион (в пересчете на N)	4,64	5,67	18,4	0,49	0,69
азот общий, мг/дм ³	6,444	9,851	20,753	3,493	2,519
фосфор общий, мг/дм ³	51	275	> 1000	25,2	40,9

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6
сульфат-ион, мг/дм ³	1370	1230	1400	460	446
хлорид-ион, мг/дм ³	14,3	87,4	27,6	10,7	85,6
минерализация, мг/дм ³	2910,6	4176,4	10840,4	705,6	808,7
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	4,7	5,7	1,1	11	10
ХПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	68,3	72,0	70,4	58,8	76,7
нефтепродукты, мг/дм ³	0,08	0,11	0,04	0,04	0,02

29. Под отвалами фосфогипса сформировалась зона загрязнения площадью около 7 км². Выявлено загрязнение II и III водоносных эксплуатируемых горизонтов на глубине до 40 м. Одним из методов снижения экологического ущерба – переработка отходов с последующим использованием полученных соединений [13]. Назовите области их потенциального применения.

30. Какие факторы способствуют разнообразию техногенных минералов? Можно ли выделить главный? Почему число техногенных минералов увеличивается?

31. В чем причина быстрого образования техногенных минералов?

32. К каким соединениям (органическим или неорганическим), как правило, относятся техногенные минералы? Почему?

33. Рассчитайте формулу техногенного минерала (кристаллогидрата), в составе которого в массовых долях: воды – 10,03 %, цинка – 36,43 %, серы – 17,87 % и кислорода (в средней соли) – 35,67 %.

34. Какой из техногенных минералов $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ или $K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ растворяется в воде? Напишите уравнения электролитической диссоциации. Будет ли раствор иметь окраску? Почему? Какую?

35. Могут ли техногенные минералы представлять опасность для биосферы? Приведите аргументы.

36. Может ли в техногенных условиях образоваться гидрат эта-на? Объясните.

37. Приведите пример техногенных минералов, состоящих из атомов 6 и 7 химических элементов. Чем обусловлена сложность строения таких минералов?

38. Техногенные органические минералы (например, уитлиит $Na_2Cu(C_2O_4)_2 \cdot 2H_2O$, пейсит $CaCu(CH_3 COO)_4 \cdot 6H_2O$, и др.), несмотря

на наличие в их составе атомов тяжелых металлов, существенно отличаются от неорганических минералов по твердости по шкале Мооса и плотности (г/см³). Назовите эти особенности. Чем они обусловлены?

39. Могут ли техногенные минералы иметь одинаковый качественный, но разный количественный состав? Приведите примеры. Дайте химическое название этим минералам.

40. Техногенный сфалерит может иметь формулу $(\text{Zn}_{0.82}\text{Fe}_{0.09}\text{Cu}_{0.02})_{0.93}(\text{S}_{0.97}\text{Se}_{0.03})_{1.00}$. Объясните численные значения. Какую валентность проявляют железо и медь?

3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И КАЧЕСТВО ВОЗДУХА В ГОРОДАХ

Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные загрязнители воздуха рассматриваются в глобальных рекомендациях (AQG) Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ)?
2. Что такое промежуточные целевые показатели и для чего они предназначены?
3. Индекс качества атмосферного воздуха для населенных пунктов рассчитывается по концентрациям оксида азота (IV), оксида серы (IV), угарного газа, озона, твердых частиц размером до 10,0 мкм (PM10) и до 2,5 мкм (PM2,5). Почему именно этих соединений? Укажите их классы опасности. Напишите возможные химические реакции, происходящие в атмосфере с участием этих соединений. Почему озон относится к 1 классу опасности?
4. Какой годовой уровень для ТЧ_{2,5}, ТЧ₁₀, NO₂ установлен как окончательный целевой показатель (Приложение А)?
5. Назовите три вида твердых частиц в рекомендациях ВОЗ, которые не имеют установленных нормативов, но для них предложены примеры надлежащей практики.
6. Объясните различия загрязнителей ТЧ_{2,5} и ТЧ₁₀. Какие из этих частиц более опасны и почему?
7. Каковы рекомендуемые ВОЗ значения для двуокиси серы (SO₂), двуокиси азота (NO₂) и окиси углерода (CO) с короткими усредненными периодами (Приложение Б)?
8. В городе зафиксирована среднесуточная концентрация ТЧ₁₀ 180 мкг/м³. Во сколько этот показатель превышает уровень, рекомендуемый (Приложение А)?
9. Какие примеры надлежащей практики по загрязнителю ЧУ/ЭУ (черный углерод/элементарный углерод) приводятся в рекомендациях ВОЗ?
10. После песчаной бури в городе осело большое количество пыли. Какие меры рекомендуют ВОЗ по улучшению экологической обстановки?
11. На рисунке 8 изображены почвенные частицы различного размера. Если предположить, что они нерастворимы в воде и имеют один и тот же химический состав, то пыль из каких частиц представляет наибольшую опасность? В случае полной растворимости частиц в воде изменилась ли бы их опасность?



а

б

в

Рисунок 8 – Почвенные частицы размером 0,1 мм (А); 0,25 мм (Б) и 0,5 мм (В)
соответственно

12. Почему рабочие места исключены из сферы действий рекомендаций ВОЗ?

13. Максимальная 8-часовая концентрация озона в летний период составляет 130 мкг/м³. Соответствует ли это уровню, рекомендуемому ВОЗ (Приложение А)?

14. В какое время суток и почему концентрация озона в приземном слое города максимальная?

15. Напишите химические реакции, приводящие к фотохимическому смогу. В чем состоит особая опасность этого явления?

16. Проанализируйте, как изменялось максимальное разовое значение ПДК концентрации оксида углерода (СО) в атмосферном воздухе городов Беларуси в течение последних лет. Какова причина этого?

17. Какие два основных вида предельно допустимой концентрации (ПДК) используются при оценке состояния атмосферного воздуха? Какая ПДК больше по абсолютному значению?

18. Каково значение ПДК максимально разовой (ПДК_{м.р.}) для диоксида серы (SO₂) (Приложение В)?

19. Каково значение ПДК среднесуточной (ПДК_{с.с.}) для твердых частиц (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) (Приложение В)?

20. Каково значение ПДК бенз(а)пирена по сравнению с другими веществами (Приложение В)? В чем причина этого?

21. Какие два дополнительных показателя, кроме сравнения ПДК, используются для оценки состояния атмосферного воздуха?

22. Какой нормативный документ устанавливает требования по использованию индекса качества атмосферного воздуха (ИКАВ) и для каких населенных пунктов он обязателен?

23. Укажите классы опасностей соединений: фенол, бензол, ацетон, оксид углерода, диоксид серы, кадмий, толуол. Какие из них относятся к ЛОС (летучие органические соединения)? Почему локальная концентрация ЛОС может быть весьма значительной?

24. Укажите список веществ, по которым ведется учет выбросов от производственных объектов и технологического оборудования с использованием автоматизированных систем контроля (ACK)? Укажите их классы опасности.

25. Проанализируйте перечень производственных объектов и технологического оборудования, выбросы которых подлежат измерениям посредством ACK (приложение 8, ЭкоНиП 17.08.06–001–2022). Какие выбросы могут производить эти объекты? Ведется ли их учет?

26. Рассчитанная среднесуточная концентрация бензола в воздухе составила 35 мкг/м³. Соответствует ли она нормативам (Приложение В)?

27. Какому уровню загрязнения и какому цветовому коду соответствует значение ИКАВ в диапазоне 3–5 (Приложение Г)?

28. На промышленной площадке концентрация сероводорода составила 7 мкг/м³. Является ли это значение безопасным по максимально разовой ПДК (Приложение В)?

29. Концентрация ТЧ_{2,5} за 24 часа составила 55 мкг/м³. Определите значение ИКАВ, описание уровня загрязнения и его цветовой код (Приложение Г).

30. При какой концентрации диоксида азота (NO₂) за 1 час уровень ИКАВ переходит в «плохой»?

31. Концентрация озона за 8 часов составила 130 мкг/м³. Определите значение ИКАВ, описание уровня и цвет.

32. Каковы значения среднегодовой ПДК для формальдегида и оксида углерода?

33. Соединение ТЧ₁₀ имеет среднегодовую ПДК 40 мкг/м³, каковы его значения максимально разовой ПДК и среднесуточной ПДК?

34. Напишите реакцию горения гептана с образованием альдегидов (в общем виде). К какому классу опасности они относятся?

35. Могут ли в составе атмосферы присутствовать соединения, молярная масса которых в 4 и более раз тяжелее воздуха? Приведите примеры. Как называются эти соединения?

36. Какие две кислоты имеют наибольшую концентрацию в кислотных осадках? Какие оксиды приводят к их образованию в атмосфере?

37. Какие газы в воздухе рабочей зоны могут приводить к развитию профессиональных заболеваний? Приведите пример. Могут ли они усиливать воздействие друг друга?

38. При оценке экологического риска из-за воздействия загрязняющих веществ необходимо учитывать следующие обстоятельства: кумулятивный эффект длительного воздействия, синергическое действие химических факторов, отсроченный характер изменений и индивидуальные особенности людей в чувствительности к воздействию тех или иных химических соединений в воздухе. Как вы полагаете, имеющаяся нормативная база по ПДК учитывает все перечисленные обстоятельства? Если нет, то каков алгоритм решения данной проблемы?

ЛИТЕРАТУРА

1. А. 2. Качество атмосферного воздуха в городских населенных пунктах // Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii/a-zagryaznenie-atmosfernogo-vozduha-i-razrushenie-ozonovogo-sloya/a-2-kachestvo-atmosfernogo-vozduha-v-gorodskih-naselennyh-punktah/>. – Дата доступа : 15.08.2025.
2. Белкин, П. А. Трансформация химического состава подземных вод в зоне влияния объектов складирования отходов разработки калийных солей (на примере Верхнекамского месторождения) : дис. ... канд. геолог.-минерал. наук : 25.00.36 / П. А. Белкин ; Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. – М., 2019. – 117 с.
3. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Издательский центр БГУ, 2002. – 436 с.
4. Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц ($\text{TC}_{2,5}$ и TC_{10}), озона, двуокиси серы и окиси углерода. Резюме [WHO global air quality guidelines: particulate matter ($\text{PM}_{2,5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary] / Всемирная организация здравоохранения. – Женева : Всемирная организация здравоохранения, 2021. – 16 с.
5. Гришина, Е. П. Основы химии окружающей среды : учебное пособие : в 3 ч. Ч. 1. Химические процессы в атмосфере / Е. П. Гришина. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 68 с.
6. Косяченко, Г. Е. Гигиенические основы комплексной добычи калийных руд Беларуси и рационального использования спелеосреды месторождения : автореф. ... д-ра мед. наук : 14.00.07 / Г. Е. Косяченко ; Белорусский государственный медицинский университет. – Минск, 2004. – 40 с.
7. Критерии оценки состояния атмосферного воздуха // Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Минприроды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rad.org.by/articles/vozduh/kriterii-ocenki-vozduh.html>. – Дата доступа : 16.08.2025.
8. Ларин, И. Химическая физика озонового слоя / И. Ларин. – Beau Bassin : Lap Lambert Academic Publishing, 2017. – 375 с.

9. Невзорова, А. Б. Накопление отходов производства и их влияние на состояние подземных вод в Республике Беларусь / А. Б. Невзорова, О. В. Шершнев // Труды БГТУ. Серия 2. – 2024. – № 2. – С. 194–200.

10. Об утверждении гигиенических нормативов [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 25 января 2021 г., № 37 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&h0=C22100037>. – Дата доступа : 25.03.2025.

11. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к контролю воздуха рабочей зоны», гигиенических нормативов «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны», «Ориентировочные безопасные уровни воздействия вредных веществ в воздухе рабочей зоны», «Предельно допустимые уровни загрязнения кожных покровов вредными веществами» [Электронный ресурс] : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 11 октября 2017, № 92 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&h0=W21732492p>. – Дата доступа : 25.03.2025.

12. Особенности извлечения редкоземельных металлов из фосфогипса / И. С. Никулин [и др.] // Неорганические материалы. – 2024. – № 1. – С. 120–125.

13. Отчет об оценке воздействия на окружающую среду «Реконструкция автомобильной дороги, проезда к отвалам фосфогипса (инв. № 350/C-159296) с целью увеличения эффективности использования существующих отвалов ОАО «Гомельский химический завод» по ул. Химзаводская, д. 5, г. Гомель». – Гродно : ОАО «ГИАП», 2024. – 99 с.

14. Отчет о научно-исследовательской работе «Проведение оценки воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной деятельности по объекту «Строительство горно-обогатительного комплекса мощностью от 1.1 до 2.0 млн. тонн хлорида калия в год на сырьевой базе Нежинского (восточная часть) участка Старобинского месторождения калийных солей». – Минск : Институт природопользования НАН Беларуси, 2020. – 470 с.

15. Пименова, Е. В. Химические методы анализа в мониторинге водных объектов / Е. В. Пименова. – Пермь : ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2011. – 138 с.

16. Рухля, И. Е. Технологические схемы получения калия хлористого из сильвинита и их описание / И. Е. Рухля. – Минск : БНТУ, 2011. – 25 с.

17. Саварин, А. А. Прикладная химия: практикум / А. А. Саварин. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – 99 с.

18. Саварин, А. А. Общая химия. Техногенные минералы : практикум / А. А. Саварин. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. – 84 с.
19. Саварин, А. А. Геохимия : практическое руководство / А. А. Саварин. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. – 31 с.
20. Саварин, А. А. Экологическая химия : практическое пособие / А. А. Саварин. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – 31 с.
21. Утилизация отходов Гомельского химического завода с получением товарной продукции / А. Г. Губская [и др.] // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 89–107.
22. Черных, Н. А. Химия биосфера и экологическая безопасность: учебное пособие : в 2 ч. Ч. 1. Химия окружающей среды в условиях техногенеза / Н. А. Черных, Ю. И. Баева. – М. : РУДН, 2020. – 260 с.
23. Экологические нормы и правила ЭкоНиП 17.08.06-001-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух (в том числе озоновый слой). Требования экологической безопасности в области охраны атмосферного воздуха» : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 29.12.2022, № 32-Т.
24. Экологические нормы и правила ЭкоНиП 17.06.01-006-2023 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Нормативы качества воды поверхностных водных объектов» : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 15.12.2023, № 15-Т.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Рекомендуемые в AQG уровни и промежуточные целевые показатели [4]

Таблица А.1

Загрязнитель	Усредненный период	Промежуточный целевой показатель				Уровень, рекомендуемый в AQG
		1	2	3	4	
ТЧ _{2,5} , мкг/м ³	Ежегодный	35	25	15	10	5
	Суточный	75	50	37,5	25	15
ТЧ ₁₀ , мкг/м ³	Ежегодный	70	50	30	20	15
	Суточный	150	100	75	50	45
O ₃ , мкг/м ³	Пиковый	100	70	—	—	60
	8-часовой	160	120	—	—	100
NO ₂ , мкг/м ³	Ежегодный	40	30	20	—	10
	Суточный	120	50	—	—	25
SO ₂ , мкг/м ³	Суточный	125	50	—	—	40
CO, мкг/м ³	Суточный	7	—	—	—	4

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (справочное)

Рекомендуемые значения для двуокиси азота, двуокиси серы и окиси углерода (короткие усредненные периоды) [4]

Таблица Б.1

Загрязнитель	Усредненный период	Рекомендуемые значения, остающиеся в силе
NO ₂ , мкг/м ³	1-часовой	200
SO ₂ , мкг/м ³	10-минутный	500
CO, мкг/м ³	8-часовой	10
	1-часовой	15
	15-минутный	100

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

ПДК загрязняющих веществ

Таблица В.1

Примесь	Значения ПДК, мкг/м ³		
	максимально-разовая (ПДКм.р.)	среднесуточная (ПДКс.с.)	среднегодовая (ПДКс.г.)
Основные загрязняющие вещества			
ТЧ (недифференцированная по составу пыль)	300	150	100
ТЧ, фракции размером до 10 микрон	150	50	40
Диоксид серы	500	200	50
Оксид углерода	5000	3000	500
Диоксид азота	250	100	40
Оксид азота	400	240	100
Специфические загрязняющие вещества			
Сероводород	8	—	—
Сероуглерод	30	15	5
Фенол	10	7	3
Фториды твердые	200	120	30
Хлористый водород	200	100	50
Свинец	1,0	0,3	0,1
Аммиак	200	—	—
Формальдегид	30	12	3
Ацетон	350	150	35
Бензол	100	40	10
Гидроцианид	30	10	3
Метиловый спирт	1000	500	100
Толуол	600	300	100
Бенз(а)пирен	—	5 нг/м ³	1 нг/м ³
Кадмий	3,0	1,0	0,3
Этилацетат	20	—	—
Бутилацетат	100	—	—
Этилбензол	20	—	—
Ксиол (смесь о-,м-,п-)	200	100	20
Бутанол	100	—	—
Стирол	40	8	2
Озон	160 – 1 ч	120 – 8 ч	90 – 24 ч

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

Значения индекса качества атмосферного воздуха и граничные значения, используемые для его расчета

Таблица Г.1

Значение индекса качества атмосферного воздуха		Описание уровня загрязнения, с учетом его влияния на здоровье населения		Цветовой код уровня загрязнения (индекса качества атмосферного воздуха)							
				Границы значений, используемые для расчета индекса качества атмосферного воздуха, мкг/м ³							
0–1	Очень хороший	Голубой	0–12	PM _{2,5} , 24 ч	PM ₁₀ , 24 ч	NO ₂ , 1 ч	CO, 8 ч	O ₃ , 8 ч	SO ₂ , 1 ч		
1–3	Хороший	Зеленый	13–36	21–60	41–120	0–2000	2001–6000	25–72	0–24	71–210	
3–5	Умеренный (средний)	Желтый	37–60	61–100	121–200	6001–10000	73–120	211–350	10001–14000	121–168	351–490
5–7	Удовлетворительный	Оранжевый	61–84	101–140	201–280	14001–20000	169–240	491–700	281–400	14001–20000	169–240
7–10	Плохой	Красный	85–120	141–200	> 201	> 401	> 20001	> 241	> 121	> 701	> 491
> 10	Опасный	Коричневый	> 121								

Производственно-практическое издание

**Саварин Александр Александрович,
Левшунова Лилия Андреевна**

ХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Практическое пособие

Редактор Е. С. Балашова
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 18.02.2026. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Цифровая печать.

Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 2,03.

Тираж 20 экз. Заказ 88.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий в качестве:

издателя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013 г.;

распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017 г.

Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.