К. И. ЛУКАШЕВ, И. К. ВАДКОВСКАЯ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ БЕЛОРУССИИ

МИНСК · 1975

АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛОРУССКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И ГЕОФИЗИКИ

550.4:551.4

К. И. ЛУКАШЕВ, И. К. ВАДКОВСКАЯ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ БЕЛОРУССИИ

1309

ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА И ТЕХНИКА"
МИНСК 1975

АН Арм.ССР

УДК 550.4:551.4 (476)

К.И.Лукашев, И.К.Ваиковская. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ БЕЛОРУССИИ. Изд-во "Наука и техника", 1975, стр.262.

В книге характеризуются природные и техногенные факторы, от которых зависит специфика геохимических процессов в ландшафтах, их роль в геохимическом и биологическом круговоротах химических элементов в ландшафтной оболочке, в создании геоэкологической среды, отражающей коренное геохимическое преобразование биосферы, изменение ее разнообразных биогеохимических функций под воздействием научно-технического прогресса.

В работе акцентируется внимание на исключительно важном значении изучения геохимических факторов при решении проблем повышения биологической продуктивности ландшафтов, рационального использования ресурсов биосферы, охраны окружающей среды. В основу работы положены материалы изучения ландшафтов территории Белоруссии, а также примеры глобальных изменений, происходящих в биосфере и ландшафтах под воздействием технической деятельности человека.

Книга представляет интерес для геологов, географов, геохимиков, экологов и других специалистов, изучающих проблемы биосферы и ландшафтов в научных и прикладных аспектах, педагогов, пропагандистов и лекторов по вопросам природопользования.

Таблиц 45. Иллюстраций 62. Библиография — 351 название.

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук В.А.Кузнецов,
кандидат географических наук А.А.Хомич

© Институт геохимии и геофизики АН БССР, 1975

П Р Е Д И С Л О В И Е

Геохимические процессы в ландшафтах — комплексное понятие, включающее большое разнообразие физических, химических, биологических реакций, от которых зависят выветривание пород, формы перемещения, рассеяния и аккумуляции подвижных продуктов, участие их в геохимическом и биологическом круговоротах в биосфере и т.п. В зависимости от географического положения территории, ее рельефа, аридности или гумидности климата, палеогеографического развития отдельных регионов земной коры и биосферы специфика геохимических процессов в ландшафтах по-разному проявляется в составе продуктов гипергенеза, гидрогенеза, педогенеза, галогенеза, биогенеза, биологической продуктивности биоценозов и экосистем, в формировании характера геохимической среды и т.п.

В каждом географическом регионе земной поверхности ход и направление геохимических процессов и реакций определяются сочетанием многих факторов и условий ландшафтной среды. Главными из них являются величины pH и Eh, характеризующие кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия; способность химических элементов к миграции в водной и воздушной средах; геохимические барьеры (нейтральный, окислительный, восстановительный, органический, сульфат-сульфидный и др.); геохимические формы нахождения элементов и их соединений в компонентах ландшафта (газообразная, коллоидная в растворах, в живых организмах); физические и химические параметры атомов и ионов (радиусы, ионизационные потенциалы, кристаллохимические связи, изотопные соотношения и др.); геохимические парагенезисы, ассоциации и семейства элементов, характерные для минерало- и породообразования, состава живого вещества и др. Особая роль в геохимических процессах в ландшафтах принадлежит живому веществу, выполняющему многообразные биогеохимические функции в биосфере.

Кроме естественных факторов, от которых зависят геохимические процессы в ландшафтах, в настоящее время по мере развития научно-технического прогресса и использования его достижений в преобразовании окружающей природы все большее значение приобретают техногенные (антропогенные) факторы деятельности человека. Последнюю определяют рост численности населения, быстрые темпы развития производства, применение новых средств техники и технологии в производстве и сельском хозяйстве и др.

Изучение геохимических процессов в ландшафтах представляет большой научный и практический интерес в связи с проблемами изменений в биосфере, ее охраны и рационального использования ресурсов. Геохимические процессы

в ландшафтах являются важнейшими факторами формирования биосферы, ее живого вещества, биологической продуктивности последнего, разнообразных биогеохимических функций организмов и т.п.

Можно говорить о генетическом единстве развития ландшафтов и биосферы. Напомним, что географическая (ландшафтная) оболочка и биосфера являются комплексными понятиями. Ландшафтная оболочка объединяет литосферу, гидросферу, атмосферу и биосферу в их взаимосвязи и взаимодействии. Главной структурной единицей географической оболочки является ландшафт — участок земной поверхности, в пределах которого природные компоненты (горные породы, рельеф, климат, воды, почвы, растительность, животный мир) образуют взаимосвязанное и взаимообусловленное единство. Геохимические закономерности ландшафтов изучаются геохимией ландшафтов (К.И.Лукашев, В.К.Лукашев, 1972). Под биосферой принято понимать геосферу распространения и жизнедеятельности живых организмов. В.И.Вернадский (1967) включает в нее верхнюю часть литосферы (осадочную оболочку), тропосферу (нижнюю часть атмосферы и всю водную оболочку (гидросферу). Главной структурной единицей биосферы является живое вещество. Элементарными биохорологическими структурными и функциональными единицами биосферы являются биогеоценозы, включающие в себя сообщества живых организмов (биоценозы) и их среду обитания (биотопы); элементарная форма биоценозов — популяции, состоящие из группы особей определенного вида.

В геохимическом аспекте биогеоценозы представляют собой комплекс абиотических и биотических компонентов, участвующих в вещественно-энергетическом круговороте биосферы и ландшафтов и отражающих их биохорологическую специфику. Большинство советских и зарубежных авторов понятие биогеоценоз считает адекватным понятию экосистема. Биосферные комплексы экосистем изучает отрасль биологии экология (растений и животных), а биогеоценозы — биогеоценология. Геохимические процессы, происходящие в биосфере при участии организмов, изучает отрасль геохимии — биогеохимия.

На основе генетического единства между ландшафтной сферой и биосферой мы вправе употреблять понятие л а н д ш а ф т ы б и о с ф е р ы так же, как и б и о ц е н о з ы л а н д ш а ф т о в. Это означает, что понимание процессов и закономерностей развития биосферы немыслимо без генетического изучения ландшафтов и, наоборот, изучение процессов и закономерностей развития ландшафтов, их эволюции можно успешно вести лишь с учетом исключительно огромной роли, которую играют в земной коре живое вещество и его геохимическая деятельность.

Ландшафтная оболочка, по определению С.В.Калесника (1955), простирается вверх от поверхности Земли до тропопаузы, в земной коре — на глубину до 4—5 км, а общая мощность ее превышает 30—35 км. Это соответствует границам и мощности биосферы.

В составе и строении ландшафтной оболочки и биосферы важная роль принадлежит почвенному покрову, коре выветривания, неорганическим и органическим осадкам, природной воде разнообразного гидрогеохимического состава и газам гипергенного происхождения. В зависимости от их сочетания в ландшафтах формируются биохорологические типы биосферы глобального, регионального и местного масштаба и уровня, характеризующиеся разной биомассой живо-

го вещества, биогенной продуктивностью последнего, спецификой биоценозов и экосистем и т.п.

В биосферном аспекте изучение ландшафтов (экосистем) преследует главную цель -- выяснение, в какой степени развитие и эволюция биоценозов зависят от окружающей среды и ее абиотических компонентов.

Это подчеркивается нами в связи с тем, что в последних главах книги большое внимание уделяется современным проблемам биосферы, ее изучению и охране в свете Международной программы "Человек и биосфера".

В предлагаемой книге изложение затронутых вопросов ведется в двух аспектах: характеризуются факторы и условия, определяющие геохимические процессы на примере ландшафтов Белоруссии; процессы в ландшафтах анализируются и обсуждаются в более широком плане.

Последовательно рассматриваются вопросы, дающие представление о геологических, геоморфологических, климатических, гидрогеологических, почвообразовательных, фитоэкологических и зооэкологических факторах, которыми определяется специфика геохимических процессов в земной коре, биосфере и ландшафтах; обсуждается влияние антропогенной деятельности человека на изменение природных ландшафтов и образование природно-техногенных комплексов биосферы; высказываются рекомендации в области рационального использования, охраны и повышения биологической продуктивности ландшафтов биосферы на основе принципов социалистического природопользования -- перспективного планирования и прогнозирования развития народного хозяйства, разумного преобразования окружающей среды, опираясь на достижения научно-технического прогресса.

Главы П, Ш и IУ написаны К.И.Лукашевым, УП и УШ -- И.К.Вадковской, главы I, У, УI, IX, X, а также предисловие и заключение -- обоими авторами.

В подготовке рукописи к печати, оформлении рисунков, исправлении текста и пр. авторам помогали: мл. научный сотрудник В.Д.Шершун, переводчики Я.С. Чернова и З.И.Мельникова, ст.техники Н.И.Некрасова и И.И.Пикус, лаборант Н.В.Шалманова. Авторы выражают им глубокую признательность.

Глава I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ И ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ

I. Взаимозависимость между развитием ландшафтов и геохимическими процессами

Со времени появления в биосфере человека (Homo sapiens — разумного) все природные процессы в ландшафтах развиваются не только в зависимости от характера и специфики естественной географической среды, но и от многообразной хозяйственной деятельности общества, возрастающей по мере развития производительных сил и научно-технического прогресса. Необходимо подчеркнуть, что в то время как многовековые физико-географические процессы стремятся создать природное равновесие в ландшафтах, хозяйственная деятельность человека в большинстве случаев проявляется в обратном направлении — она нарушает эти равновесия тем, что часто коренным образом изменяет ход геологических и физико-географических процессов. Далее будут приведены многочисленные примеры изменений в окружающей среде, вызываемых добычей полезных ископаемых, вырубкой лесов, сельскохозяйственным производством, мелиорацией и т.д. Сейчас важно отметить, что все это в конечном итоге изменяет динамику и ритмику геологических, геофизических, геохимических и биологических процессов на земной поверхности, определяет новые условия геологической (геохимической) и биологической среды развития ландшафтов и живого мира.

К сожалению, ввиду исключительной сложности взаимодействия природных процессов, их пространственной взаимозависимости, а также по причине недостаточности знаний о закономерностях в их проявлении человек не всегда в состоянии оценить целесообразность своих действий и последствий нарушения природных закономерностей в ландшафтах и использовать весь арсенал доступных ему средств, чтобы наиболее разумно вмешиваться в развитие географической среды.

В наше время, когда человеку подвластны могучие средства научно-технического прогресса для преобразования окружающей среды, его ответственность за действия в этом направлении во много раз возрастает, актуальнее становятся требования к более глубокому изучению природных процессов, протекающих в ландшафтах, особенно геофизических и геохимических, формирующих специфику окружающей среды в глобальных и региональных масштабах. Это ка-

сается прежде всего изучения влияния хозяйственной деятельности на изменение геофизического и геохимического режимов процессов выветривания и почвообразования, миграции химических элементов, параметров геохимической среды (pH, Eh и др.).

На формирование геохимической среды, характер геофизических и геохимических процессов, их качественное и количественное проявление в ландшафтах оказывают влияние прежде всего литологический состав покровных пород, рельеф земной поверхности, атмосферно-климатические и гидрологические условия, видовой состав растительного и животного мира, характер хозяйственной деятельности человека. Ими определяются литогеохимический состав продуктов выветривания (типы геохимических фаций), характер почвообразовательных процессов (вынос подвижных соединений, накопление остаточных продуктов, минеральные новообразования), образование органического вещества (гумусового, торфяного, сапропелевого и др.), гидрогеохимический состав поверхностных вод, рассеяние и концентрация химических элементов в компонентах ландшафтов, биогеохимических и геохимических провинциях и др.

Сформулируем основные положения, характеризующие взаимозависимость и взаимообусловленность между развитием ландшафтов и геохимическими процессами. Роль последних проявляется главным образом в следующем:

способе и характере процессов выветривания горных пород в зоне гипергенеза, в результате которых в гигантских масштабах совершается миграция и круговорот вещества в земной коре и ландшафтах;

способе и характере переноса и дифференциации вещества в процессе его геохимической миграции и круговорота (в форме твердых взвесей, растворах, газах и др.);

формах абиотического и биотического участия химических элементов в метаболизме и питании живых организмов, их эволюции и адаптации к условиям природной среды;

специфике геохимических и биологических типов реакций, определяющих создание в биосфере многообразия косного, биокосного и биогенного вещества, участие последнего в составе и строении земной коры и биосферы;

взаимодействии космических и наземных факторов и процессов (энергетических, химических и др.), в развитии и эволюции ландшафтов, в создании хорологических и структурных связей между ними;

специфике миграции химических элементов в ландшафтах в зависимости от их геохимических и физических свойств, форм нахождения в земной коре и ландшафтах, способности к концентрации и рассеянию при разных термодинамических условиях земной поверхности и т.п.;

создании в ландшафтах многообразных типов и условий геохимической среды, в разной степени кислой, щелочной, нейтральной, пресной, соленой и др., в которой по-разному протекают физико-химические, геохимические и биологические реакции и образование неорганического и органического вещества, геохимические фации отложений в зависимости от сочетания и взаимодействия природных и техногенных факторов в целом в масштабах планетной геосферы.

Теоретическая разработка этих и других вопросов геохимии ландшафтов и биосферы содержится в многочисленной литературе, особенно советских авторов (см. список литературы).

Необходимо указать на разные направления научных исследований в области геохимии ландшафтов, геохимии и биогеохимии биосферы, геохимии зоны гипергенеза, непосредственно связанные с развитием и эволюцией ландшафтной оболочки:

1) изучаются палеогеографические условия развития и изменения ландшафтов и биосферы, раскрываются закономерности их эволюции, особенно связанной с геохимическими факторами миграции элементов, геохимической и биогеохимической средой и др.;

2) изучается специфика геохимических процессов гипергенеза, гидрогенеза, биогенеза, педогенеза, газогенеза в зависимости от разных факторов и условий (климатических, геологических, биологических), типов ландшафтов, биоценозов (экосистем) и др.;

3) изучаются вещественный состав, типоморфные минералы и химические элементы, характерные для разных типов продуктов гипергенеза и ландшафтной среды, критерии и параметры их индикации и корреляции;

4) разрабатываются принципы и критерии геохимической классификации территорий, ландшафтов, геохимических фаций и формаций, ореолов рассеяния и аномалий;

5) разрабатываются вопросы практического применения теоретических основ геохимии ландшафтов и биогеохимии к поискам полезных ископаемых и др.;

6) изучается влияние хозяйственной деятельности на ландшафты и биосферу, их геохимическую среду и функции, на изменение экосистем и др. с целью рационального использования природных ресурсов, повышения биологической продуктивности, охраны окружающей среды и ее улучшения.

2. Современные и палеогеографические факторы, определяющие геохимические процессы в ландшафтах Белоруссии

Белорусская ССР расположена на западе европейской части Советского Союза. Ее площадь составляет 207,6 тыс.км^2, протяженность с севера на юг — около 560, а с запада на восток — 650 км. Историко-геологическое прошлое и настоящее территории Белоруссии теснейшим образом связано с развитием Русской платформы, частью которой она является и чьи структурные и генетические особенности отражает. Физико-географический облик современной поверхности территории схематически изображен на рис.1. Описание природных условий Белоруссии дано в работах А.В.Дементьева, О.Ф.Якушко, А.Х.Шкляра, Н.Т.Романовского, К.И.Лукашева и др. авторов.

3. Геологические факторы

Согласно сложившимся представлениям (Богомолов, 1946; Кирмунский, 1948; Горелик, 1945; А.С.Махнач, 1971; Хотько, Бондаренко, 1956 и др.), территория Белоруссии в геологическом отношении является частью Русской платформы, характеризующейся наличием тектонических структур, построенных с различной степенью сложности. В пределах Белоруссии отчетливо выделяются районы как с неглубоким, так и с опущенным на значительные глубины залеганием кристаллического фундамента (рис.2).

Среди участков с неглубоким залеганием фундамента различают Белорусский кристаллический массив, Украинский щит, Воронежский кристаллический массив, Ратновский и Микашевичский выступы. Участки с глубоким погружением фундамента представлены Брестской, Припятской, Оршанской и Днепровско-До-

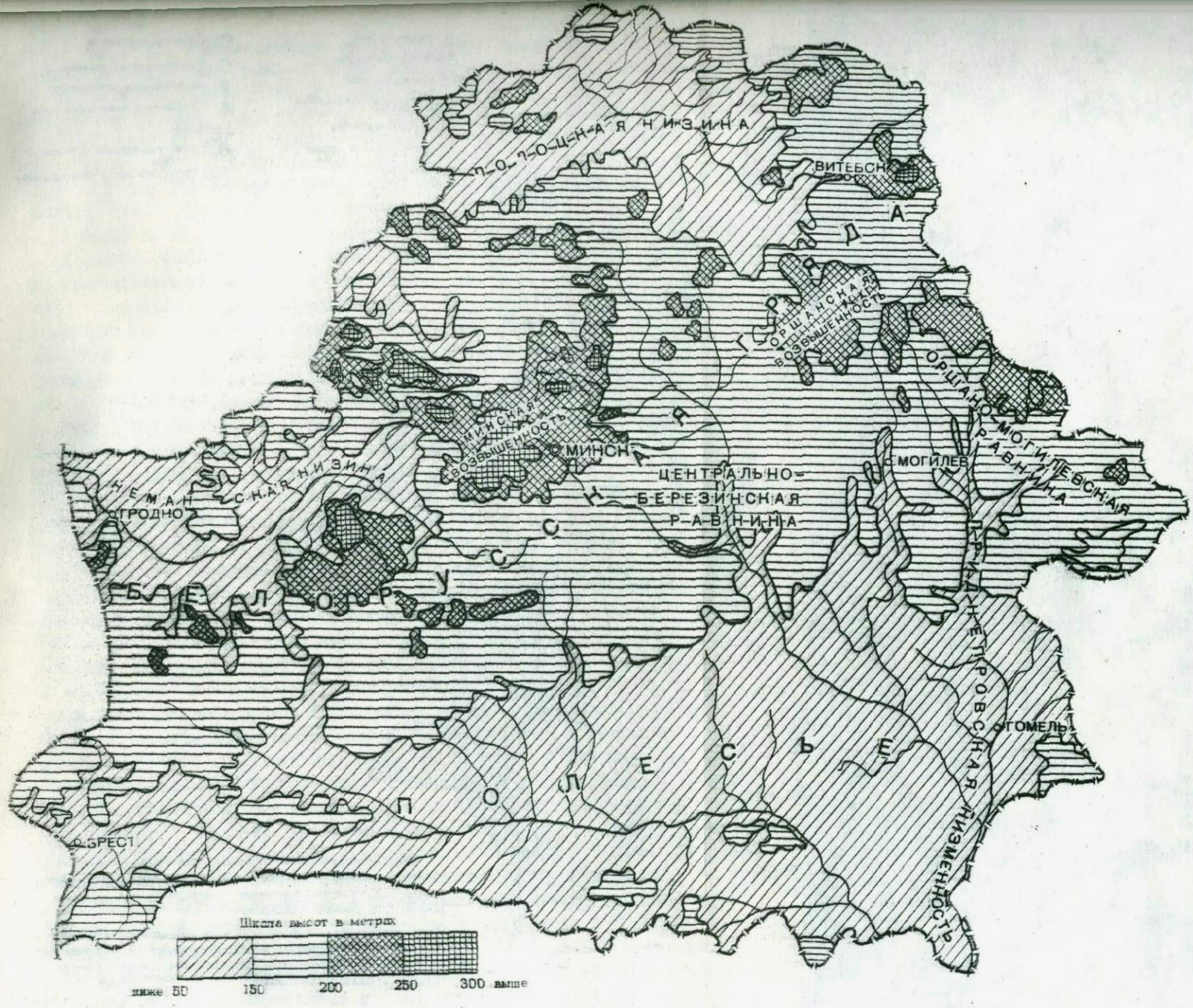


Рис.1. Физическая карта Белоруссии (составители К.И.Лукашев, В.Д.Шершун)

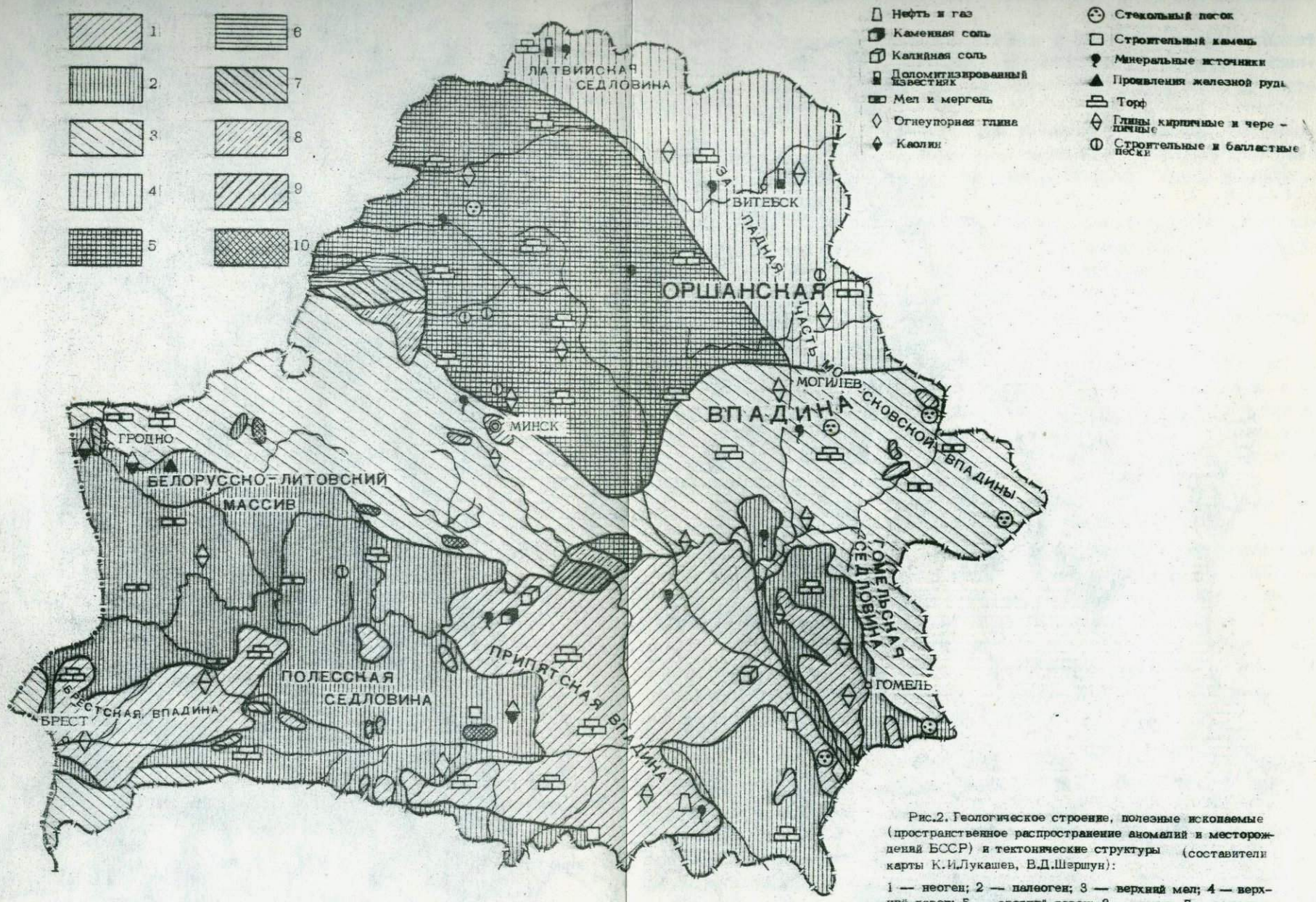


Рис.2. Геологическое строение, полезные ископаемые (пространственное распространение аномалий и месторождений БССР) и тектонические структуры (составители карты К.И.Лукашев, В.Д.Шершун):

1 — неоген; 2 — палеоген; 3 — верхний мел; 4 — верхний девон; 5 — средний девон; 6 — силур; 7 — ордовик; 8 — нижний кембрий; 9 — верхний протерозой; 10 — архейзой и нижний протерозой

нецкой впадинами. В пределах районов с промежуточным залеганием фундамента выделены Полесская, Латвийская, Клобинская седловины и склоны Белорусского массива.

Белорусский кристаллический массив занимает значительную площадь западных и центральных районов Белоруссии. На юго-востоке он сочленяется с Припятской, на северо-востоке с Оршанской и юго-западе с Брестской впадинами. На северо-западе массив граничит с Прибалтийской впадиной.

Припятский прогиб (впадина) расположен в южной части Белоруссии и генетически связан с Днепровско-Донецкой впадиной (территория УССР). На востоке БССР расположена Оршанская впадина, на западе — Брестская, сливающаяся с Подлясской (территория Польши).

В южной части Белоруссии к Припятской впадине примыкает Украинский щит, а на востоке-юго-востоке расположено северо-западное окончание Воронежского кристаллического массива. Все выделенные массивы и впадины разделены седловинами. Так, Белорусский кристаллический массив отделен от Украинского кристаллического щита Полесской седловиной, а от Воронежского кристаллического массива — Клобинской; на западе, между ним и Балтийским щитом, располагается Латвийская седловина. Припятский прогиб (впадина) отделен от Брестской впадины Полесской седловиной.

Выделенные структуры простираются в субширотном направлении, а складчатые структуры фундамента — в основном в северо-восточном. Кристаллический фундамент в пределах Белоруссии залегает на резко различных гипсометрических отметках. Сводовая часть Белорусского кристаллического массива оконтурена по поверхности фундамента изогипсой -200 м, а в ряде случаев (Копыль) эта поверхность поднимается до отметок -50-87 м. Наиболее глубоко кристаллический фундамент погружен в Припятской впадине, где он залегает на глубине 1000-6000 м. В Брестской впадине его глубина составляет 550 — 1700 м, в Оршанской (в пределах Белоруссии) — до 1400, а в районе Валдая — 2500 м. На западе Припятской впадины близ Микашевичского выступа кристаллический фундамент вскрыт на отметке порядка +80 м (или на глубине 25—30 м). Осадочный чехол на территории республики, представляющий былые биосферы, построен неоднородно (К.И.Лукашев и др., 1969). В Припятской впадине широко развиты девонские и более молодые отложения, в Брестской же девонские отложения отсутствуют, и разрез в основном сложен докембрийскими (верхний протерозой), кембрийскими, ордовикскими, силурийскими, в меньшей степени мезокайнозойскими образованиями. В Оршанской впадине распространены эокембрийские, частично девонские и мезокайнозойские отложения. Разрез осадочной толщи Белорусского кристаллического массива сложен породами эокембрийского, частично девонского и мезокайнозойского возрастов.

По наличию крупных перерывов в осадконакоплении между отдельными комплексами пород и особенностями их тектонического строения в осадочном чехле выделяют рифейский, венедский, кембросилурийский, живетско-нижнефаменский, верхнефаменско-среднекаменноугольный, пермско-кайнозойский структурные ярусы (этажи) с характерным для них составом пород и участием в нем биогенного вещества. Наиболее четко те или иные структурные ярусы проявляются там, где разрез осадочных пород представлен наиболее полно.

Отложения рифейского структурного яруса залегают на кристаллическом фундаменте с крупным угловым несогласием и значительным стратиграфическим

перерывом. То же наблюдается и между отложениями рифейского и венедского комплексов.

Венедский структурный ярус устанавливается на большей части территории БССР, там, где его отложения не перекрыты кембрием. В Брестской впадине, Латвийской седловине и на северном склоне Белорусского массива он выделен условно, на основании того, что простирание его отложений и кембро-силурийских различно. Венедские образования здесь простираются в северо-восточном, а кембро-силурийские — в субширотном направлении.

Кембро-силурийский структурный ярус четко проявлен в Брестской впадине, Латвийской седловине и небольшой площади северного склона Белорусского массива. С крупным стратиграфическим перерывом и угловым несогласием он перекрывается в Брестской впадине отложениями перми и мезокайнозоя, на Латвийской седловине — среднедевонскими отложениями, а на северном склоне Белорусского массива — среднедевонскими и четвертичными отложениями.

Живетско-нижнефаменский структурный ярус наиболее отчетливо выражен в Припятской и несколько меньше в Оршанской впадинах, на склонах Белорусского массива, Жлобинской и Латвийской седловинах. Остальные структурные ярусы девона и карбона распространены лишь в Припятской впадине.

Пермско-кайнозойский структурный ярус распространен значительно шире, характеризуясь слабой нарушенностью слагающих пород, наличием пликативных форм дислокаций и отсутствием дизъюнктивных. В Припятской и Брестской впадинах он сложен пермскими и мезокайнозойскими образованиями, на преобладающей части Белорусского кристаллического массива, Полесской и Жлобинской седловинах и в южной окраине Оршанской впадины — мезокайнозойскими и на северном склоне Белорусского массива, Латвийской седловине, на преобладающей части Оршанской впадины — кайнозойскими отложениями.

Отметим также, что область наиболее высокого положения поверхности Мохоровичича расположена в западной части Белоруссии, где структуры тектонического рельефа подкорового слоя имеют северо-восточное простирание. Взаимосвязь глубинных и поверхностных структур выражается в изменении мощностей осадочного комплекса, простираниях геоструктурных элементов кристаллического фундамента, характере разрывной тектоники, интрузивного и эффузивного вулканизма, степени мобильности блоков земной коры и др.

Итак, строение осадочной толщи по-разному представлено в Припятской, Брестской и Оршанской впадинах и других геотектонических структурах Белоруссии. В зависимости от сказанного дочетвертичные породы принимают разное участие в строении покровного чехла зоны гипергенеза и биосферы. Их роль в основном сводится к следующему. На субстрате выветривания кристаллических и осадочных пород формировались различные литологические и геохимические типы и фации пород коры выветривания, отражавшие палеогеографические условия палеогена и более ранних эпох неогена. Эти породы в разной форме унаследованы и представлены в составе четвертичных отложений территории, образование их связано с неоднократным чередованием ледниковых и межледниковых условий, наступанием и отступанием ледниковых покровов, сменой различных геологических, гидротермических и биологических режимов. Четвертичные отложения наиболее распространены в зоне гипергенеза и биосферы Белоруссии (М.М.Цапенко, Н.А.Махнач, Л.Н.Вознячук, К.И.Лукашев). Геохимичес-

кие процессы четвертичного литогенеза наиболее полно освещены исследованиями К.И.Лукашева, В.К.Лукашева, В.А.Кузнецова и др. Продукты этих процессов представлены комплексом ледниковых, водно-ледниковых, озерных, аллювиальных, лессовых, эоловых и болотных образований (рис.3). Мощность их изменяется от нескольких до 300 м и более (в среднем 80 м). В них протекают современные процессы выветривания и миграции вещества, в результате которых в зоне гипергенеза и биосфере широко образуются литогеохимические фации литогенного, сиаллитного и биогенного составов. Подробнее эти вопросы характеризуются ниже.

4. Геоморфологические особенности ландшафтов

Историко-геологическое и тектоническое развитие территории Белорусского региона обусловило особенности его геоморфологии — устройство поверхности, контрастность рельефа, генетические формы и типы последнего, соотношение между разными генерациями и стадиями развития рельефа и др. Напомним, что существуют различные формы рельефа: положительные и отрицательные, простые и сложные, реликтовые, насаженные и конвергентные, денудационные и аккумулятивные, гляциальные, флювиальные (проточных вод), эоловые и др. Комплексы форм, характеризующихся единообразным внешним обликом, генезисом и возрастом, образуют генетические типы рельефа, а в случае отличия в возрасте — различные генерации (стадии) рельефа (рис.4). Все эти формы в той или иной мере характерны и для рельефа Белоруссии.

Очевидно, что и геохимические процессы в ландшафтах, их разнообразие и проявление в формах рассеяния и концентрации химических элементов (в компонентах ландшафтов) в той или иной мере отражают генетические типы рельефа и их генерации. Формирование рельефа Белоруссии отражает, с одной стороны, особенности тектонических структур дочетвертичного времени и новейшие тектонические движения, с другой — воздействие материковых оледенений, полностью или частично покрывавших территорию республики.

Для рельефа республики наиболее характерны следующие особенности.

Современный рельеф Белоруссии представляет собой чередование обширных холмистых возвышенностей с плоскими равнинами или слабовогнутыми низинами.

В северной части располагаются низины древне-озерного или водно-ледникового генезиса, разделенные возвышенными участками и грядами ледникового происхождения. Эта область характеризуется высотами 100—150 м (низины) и 150—300 м (гряды), средней степенью расчлененности поверхности молодыми, относительно слабо измененными формами рельефа, связанными с проявлением последнего (валдайского) оледенения. В центральной части выделяется возвышенный грядовой рельеф высотой до 346 м, связанный с Белорусской грядой и прилегающими к ней возвышенными плато и грядами. Наиболее пониженная часть (100–150 м над уровнем моря) — Неманская низина с Лидской равниной — расположена в западной части, несколько повышенные (200–250 м) — Оршанско-Могилевская и Центрально-Березинская, понижающиеся к Полесью, — на востоке. Моренные гряды сочетаются с платообразными лессовыми участками, зандровые равнины — с речными долинами. Поверхность сильно расчленена. Наблюдается чередование относительно хорошо сохранившихся (возвышенные водораздельные гряды) и преобразованных (аккумулятивные речные долины) форм

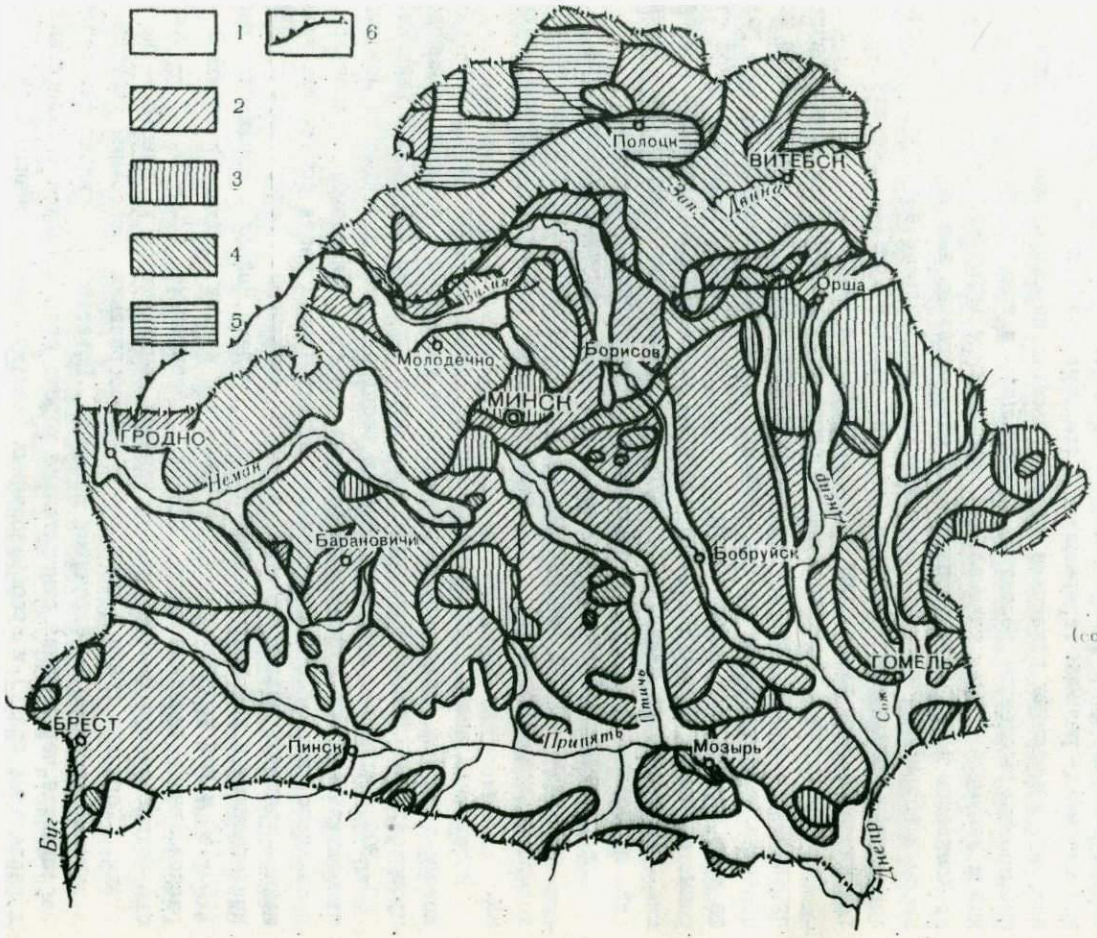
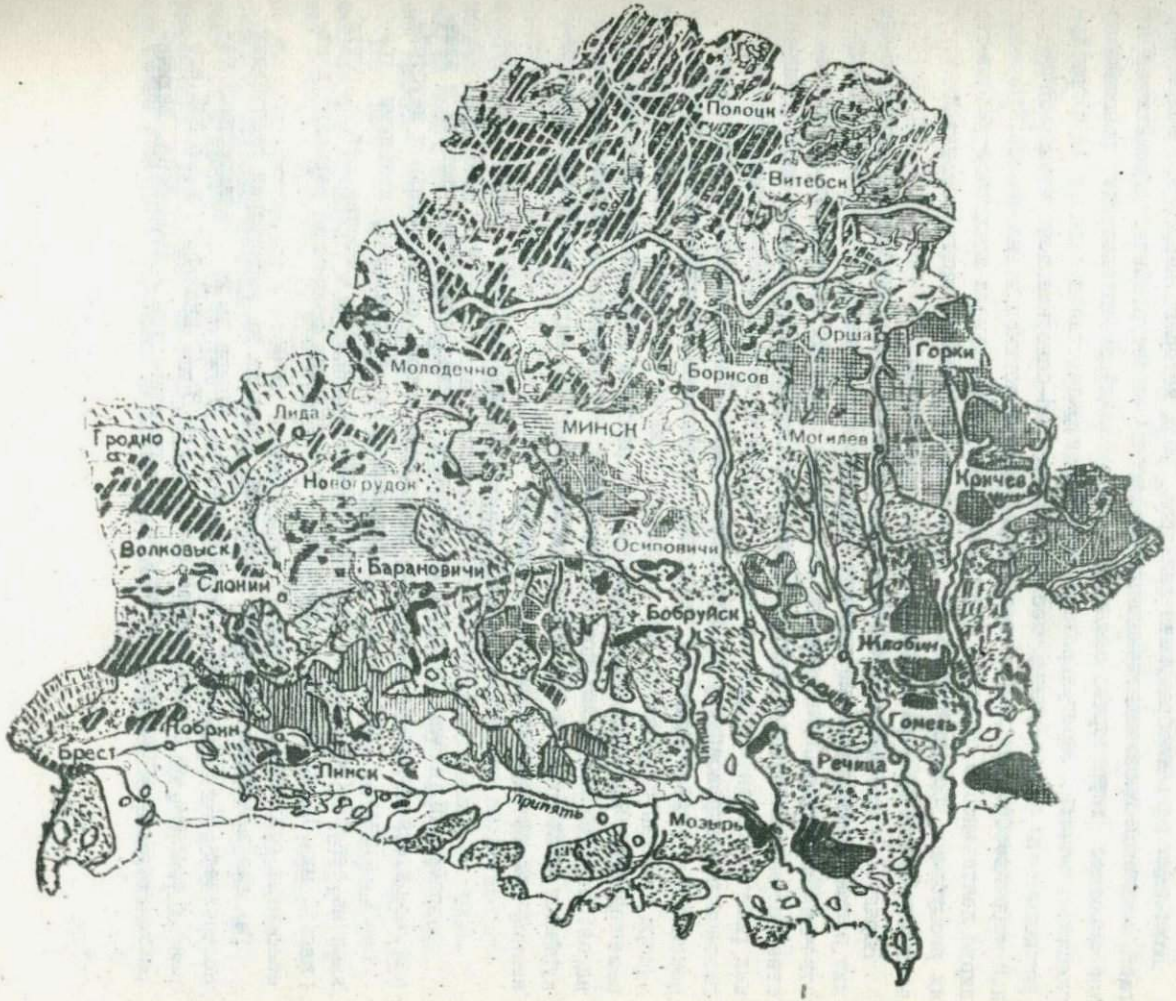


Рис.3. Основные генетические типы четвертичных отложений (составители карты К.И.Лукашев, А.И.Коитен):

1 — аллювиальные, озерно-болотные и флювиогляциальные (пески, реже супеси, суглинки, торф); 2 — водно-ледниковые, аллювиальные, эоловые, озерные и болотные (пески, супеси, суглинки и торф); 3 — полигенетические лессовые; 4 — ледниковые валунные суглинки, супеси, пески (морены); 5 — озерно-ледниковые (глины, суглинки, супеси, алевриты, нередко ленточные); 6 — граница последнего оледенения



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Рис.4. Геоморфологическая карта (Демчатьев, 1965):

1 — грядово-моренный рельеф; 2 — холмисто-моренный рельеф; 3 — плоско-волнистый рельеф донной морены; 4 — волно-ледниковые равнины; 5 — озерно-ледниковые и озерно-болотные равнины и низины; 6 — заторфованные низины; 7 — платообразные равнины с покровом лессовых и лессовидных пород и овражно-западинными формами; 8 — речные долины разного возраста; 9 — эоловые дюнно-бугристые формы; 10 — южная граница последнего (валдайского) оледенения

рельефа рисского и вюрмского возрастов. В южной части рельеф преимущественно низинный (100—150 м) водно-ледникового, озерного и аллювиального происхождения (Полесская, Приднепровская и Прибугская низменности). Поверхность здесь преимущественно ровная, плоская, слабо расчлененная, сильно преобразованная речными и эоловыми процессами.

Сформировавшийся рельеф непрерывно трансформируется под воздействием основных рельефообразующих агентов (воды, ветра, биогенных процессов и т.д.). Плоскостная и глубинная эрозии, суффозия, эрозионная или аккумулятивная деятельность рек, механическая и биогенная аккумуляции вещества в озерах, образование торфяников, эоловое перевевание и дефляция, а также другие процессы довольно широко распространены в отдельных районах Белоруссии. В них отражается главная специфика геохимических процессов в ландшафтах: формы переноса вещества, пространственная дифференциация последнего, особенности элементарных геохимических форм ландшафтов (элювиальных, супераквальных и субаквальных), характер педогеохимических процессов.

Важнейшим рельефообразующим фактором, роль которого непрерывно возрастает, является производственная деятельность человека. Сельскохозяйственное освоение территории, сведение естественной растительности, распашка склоновых земель, зарегулирование стока рек, расчистка и спрямление их русл, распашка и переосушение песчаных и торфяно-болотных почв в значительной мере преобразуют ход естественных геоморфологических процессов. Стимулируя деятельность основных природных рельефообразующих агентов в условиях республики (поверхностных вод и ветра), человек во много раз увеличивает их роль в преобразовании рельефа территории.

Наряду с косвенным воздействием человека на развитие рельефа происходит прямое преобразование природы в результате решения тех или иных хозяйственных задач. Добыча огромного количества полезных ископаемых, строительство населенных пунктов и промышленных предприятий, проведение мелиоративных работ, дорожное строительство, сооружение дамб, плотин и водохранилищ, газо- и нефтепроводов, устройство золоотвалов ТЭЦ, различного рода шламонакопителей, хвостохранилищ, отстойников, свалки строительного и бытового мусора связаны с перемещением огромного количества пород и почв. Возникающие при этом антропогенные формы рельефа в виде карьеров, котлованов, каналов, отвалов вскрышных пород, терриконов, солеотвалов, дорожных насыпей, курганов, золоотвалов ТЭЦ и т.д. в значительной мере преобразуют естественный рельеф территории республики.

5. Климатический режим ландшафтов

Современный климат Белоруссии умеренно континентальный, с теплой и влажной зимой, относительно прохладным дождливым летом, сырой осенью и неустойчивой весной. Разница в продолжительности дня между крайними точками на севере (56°с.ш.) и на юге территории (51°с.ш.) составляет почти 1 час (57 мин.). Это вызывает различия в поступлении солнечной радиации и атмосферных осадков.

Годовая величина суммарной солнечной радиации на территории республики составляет 85–97 ккал/см^2, увеличиваясь с севера на юг. Радиационный баланс в среднем за год положительный и равен 37–42 ккал/см^2. Около 84% его расходуется на испарение, остальные 16% рассеиваются в атмосфере. Величи-

на радиационного баланса также увеличивается с северо-востока (37ккал/см^2) на юго-запад (42 ккал/см^2).

На климатические условия Белоруссии большое влияние оказывает преобладание морских ветров, дующих с Атлантики. Циклоны, зарождающиеся в Северной Атлантике и движущиеся на восток, приносят зимой теплый, а летом прохладный воздух. С циклонами связано и выпадение осадков. Внутриматериковые воздушные массы, дующие с востока на запад, связаны с антициклонами и вызывают летом жару, а зимой мороз. Проникающие в пределы республики арктические воздушные массы всегда вызывают похолодание: зимой температура воздуха может понизиться на севере республики до -40-44°. Теплые воздушные массы юга проникают только в юго-восточную часть Белоруссии. Температура воздуха здесь в летнее время достигает 38°.

Совместное действие воздушных масс и солнечной радиации создает своеобразный тепловой режим Белоруссии.

Среднегодовые амплитуды температуры воздуха на территории Белоруссии колеблются от 22,7 (на западе) до 26,1°С (на востоке). Максимальные (летние) температуры достигают +34-38°С на юго-востоке, минимальные (зимние) снижаются до -36° на юго-западе и -44°С на северо-востоке республики. Зимой наблюдается понижение температуры с юго-запада на северо-восток.

Среднегодовые температуры на юго-западе составляют 7,4, на северо-востоке — 5°С. Влияние на них оказывают атлантические ветры и их взаимодействие с ветрами арктических областей.

Средняя температура января изменяется от -4° на юго-западе (Брестская область) до -8,5° на северо-востоке (Витебская область). Средняя температура июля на юго-западе составляет +17, а на северо-востоке — +19°С.

В соответствии с годовой температурой изменяется продолжительность теплового периода года. Так, на юго-западе теплый период длится 250—260 дней, в центральной части — 230-235 дней, а на северо-востоке — 220-227 дней (рис. 5—7).

Влага, как и тепло, имеет огромное значение не только как компонент климата, но и как один из важных факторов процессов, протекающих в гидросфере.

Среднегодовое количество осадков в Белоруссии составляет 600—650мм на северо-западе и на возвышенностях и 550—600мм на юге и юго-востоке (рис. 8—9). Максимум осадков (до 700 мм) выпадает летом на северо-западе. Это составляет 2/3, или 67—70%, годовой суммы осадков. В направлении на юго-восток количество осадков уменьшается до 500мм в результате высушения западных циклонов. Летом осадки распределяются следующим образом: от 400—450 мм влаги на северо-западе и возвышенностях до 350—370 мм на юге. Зимой выпадает 150-200 мм влаги, к северо-востоку ее количество уменьшается.

Рост высоты снежного покрова на территории Белоруссии наблюдается по направлению с запада и юго-запада (20 см) на северо-восток (45 см), в средней полосе 20-30 см. На это влияет рельеф местности. Зимняя температура воздуха понижается в этом же направлении. Продолжительность залегания снежного покрова изменяется от 66 дней на юго-западе до 116 на северо-востоке. Устойчивый снежный покров образуется в середине декабря. Мощность его возрастает с юго-запада на северо-восток, где достигает 30-45см. Промерзание почвы благодаря небольшим морозам невелико. На юго-западе республики

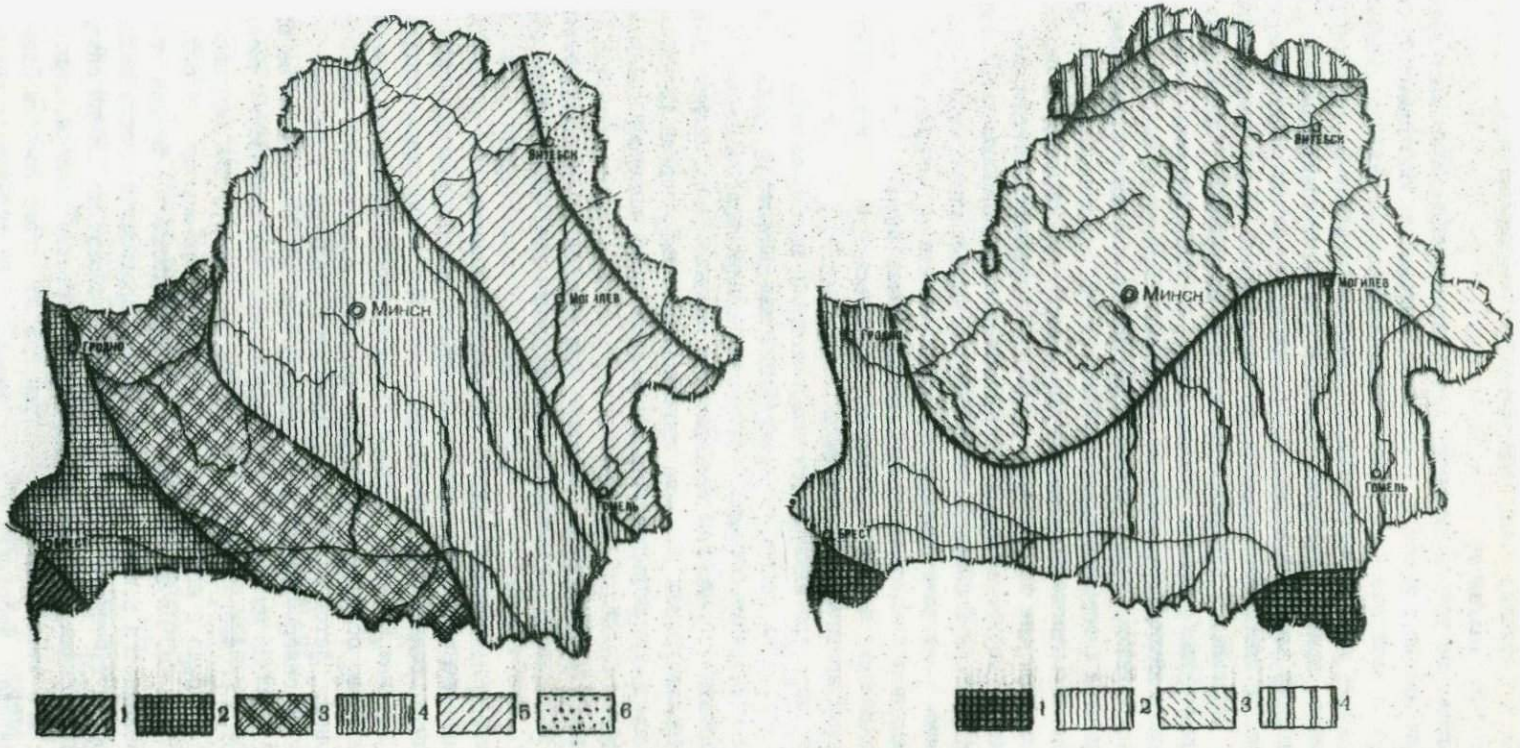


Рис.5. Средние температуры января и июля (Шклияр, 1973):

а — температуры *января*: 1 — выше -4°; 2 — -4—5°; 3 — -5—6°; 4 — -6—7°; 5 — -7—8°; 6 — ниже -8°; б — температуры июля: 1 — выше $18{,}7^{\circ}$; 2 — 18—$18{,}7^{\circ}$; 3 — 17—18°; 4 — ниже 17°

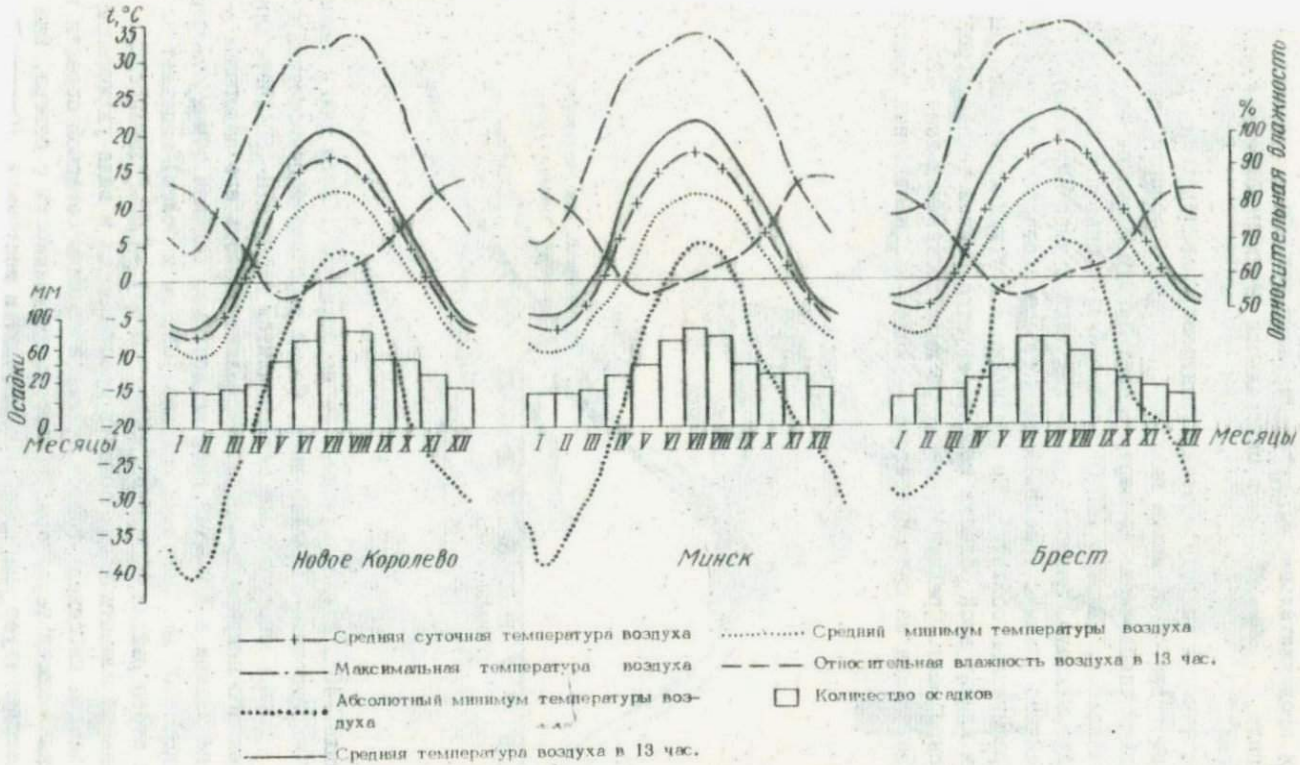


Рис 7. Годовой ход метеорологических элементов (Атлас БССР, 1968)

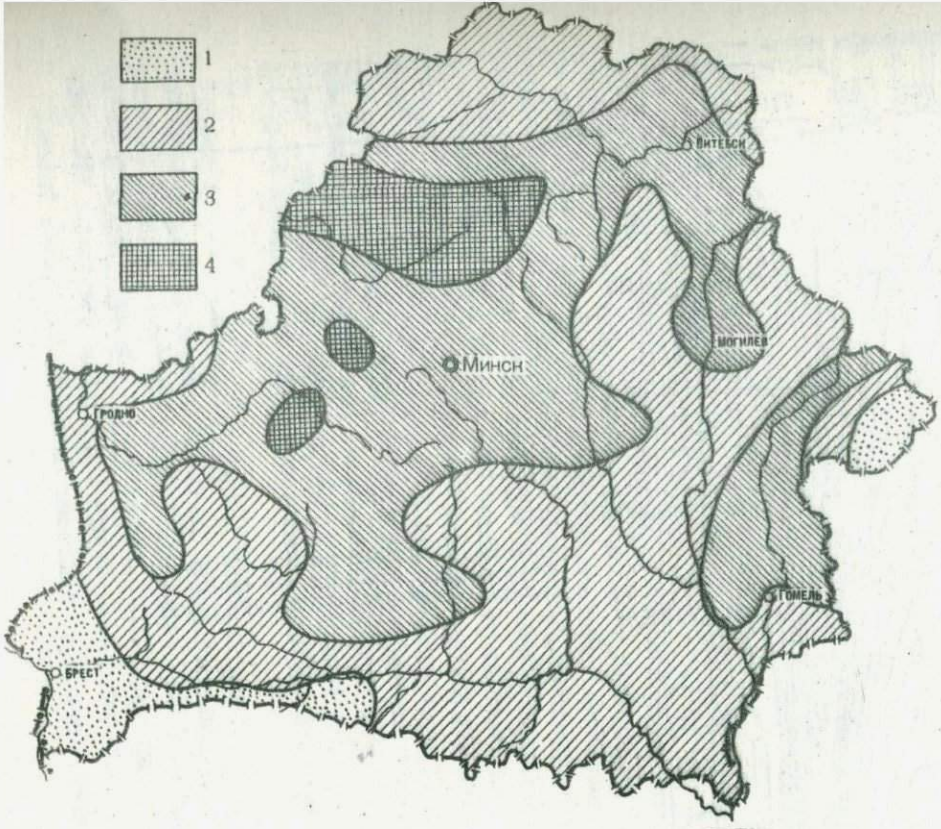


Рис.8. Годовые суммы атмосферных осадков (Шкляр, 1973):
1 — 500—550, 2 — 550—600, 3 — 600—650, 4 — 650—700 мм

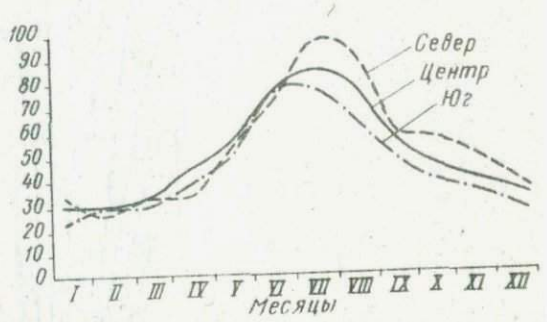
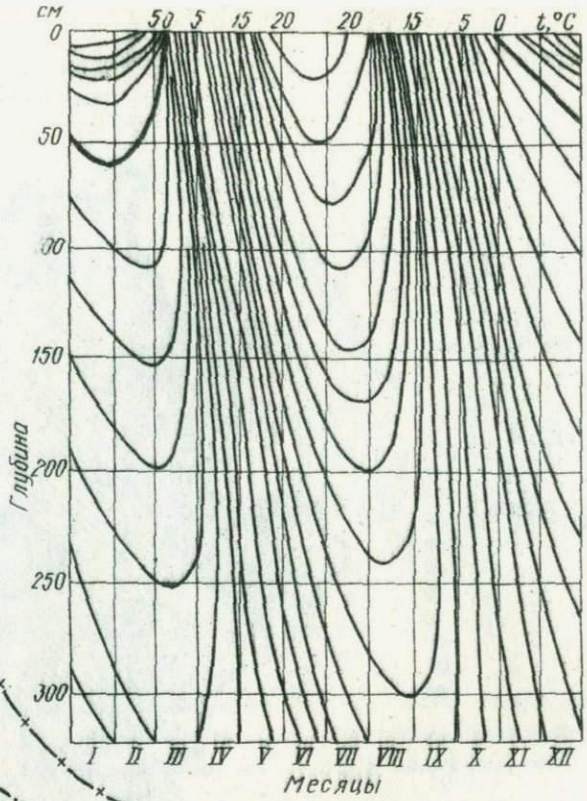


Рис.9. Ход среднемесячных осадков (Шкляр, 1973)

I. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ГЛУБИНАХ (Минск 1950–1957 гг)



II. ПОВТОРЯЕМОСТЬ (в процентах) РАЗЛИЧНОЙ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ПОЧВЫ (в см.) ПРИ ОТСУТСТВИИ СНЕГОВОГО ПОКРОВА

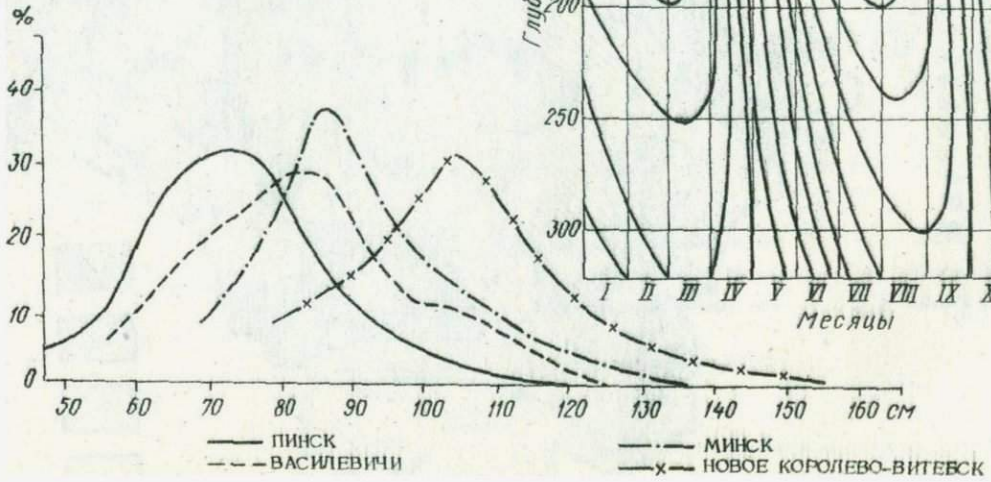


Рис.10. Динамика температур в почвах на различных глубинах и при промерзании (Атлас БССР, 1958)

западе до -8° на востоке, подчеркивая тем самым рост континентальности климата в этом направлении. Абсолютные минимумы зимой здесь не столь низки, как в северной области (не ниже -40°), зато максимумы превышают $+36$—38°. Продолжительность вегетации — 184—200 дней. Мощность снежного покрова увеличивается с запада на восток от 15—20 до 25—27 см. Годовая сумма атмосферных осадков составляет 500—600 мм. За вегетационный период выпадает 300—325 мм осадков.

Южная климатическая область охватывает территорию, расположенную в пределах Полесской низменности. Она почти полностью совпадает с южной физико-географической областью. В климатическом отношении эта область отличается от двух других более высокими температурами лета и зимы: средняя температура июля составляет +18—19°, а летний максимум — около $+38^{\circ}$. Средняя температура января колеблется от -4° на западе до -7° на востоке. Зимняя минимальная температура составляет -36°. В этой области самый длинный вегетационный период (192—209 дней), наибольшее в Белоруссии число сухих дней с максимумом в мае (от 2 до 6 дней в месяц). Больше, чем в северной и центральной областях, дней с пыльной бурей, градом, ливнями, смерчем. Устойчивый снежный покров устанавливается позже, чем в центральной области. Его высота изменяется от 18—20 см на севере до 15 см на юге и юго-западе. Годовая сумма атмосферных осадков южной области на 100—150 мм меньше, чем центральной (550—600 мм); в восточной части осадков выпадает на 50 мм меньше.

6. Гидрологический режим ландшафтов

Ценные сведения, характеризующие гидрологические условия республики, опубликованы во многих работах -- Советский Союз, т.3, Белоруссия (1967), Водноэнергетический кадастр Белорусской ССР, вып.1--6 (1963), Ресурсы поверхностных вод СССР, т.5 (1966) и др.

Климатические условия, литологические типы и формы пород и рельеф в основном определяют гидрологическую специфику поверхности белорусского региона. В целом для ландшафтов Белоруссии характерна гумидность, в ряде случаев избыточная, накладывающая отпечаток на развитие природы, характер физико-географических и геохимических процессов в ландшафтах.

Поверхностные воды Белоруссии формируются за счет атмосферных осадков и выхода подземных вод. В среднем (за многолетний период) выпадает 155 и испаряется 119 км^3 в год осадков, в виде речного стока стекает 36,4 км^3. Транзитом по Западной Двине, Сожу и Днепру, Припяти поступает 20,7 км^3. Суммарные ресурсы речных вод составляют более 37 км^3 в год (из них около 20 км^3 приходится на Днепр и Березину). Главная роль здесь принадлежит снеговому питанию с весенним половодьем — больше 50% годового стока (рис. 12).

В Белоруссии насчитывается около 3000 рек длиной 5 км и более. Общая протяженность их превышает 51000 км. Все реки принадлежат бассейнам двух морей — Черного (система Днепра, 58% территории) и Балтийского (системы Западной Двины, Немана, Буга и Лобати, 42% территории). Большинство рек протекает в северной Белоруссии, меньше — в южной (табл.1).

Главный водораздел указанных бассейнов проходит в направлении с севе-

ро-востока на юго-запад: по Оршанской и Минской возвышенностям, через Копыльскую гряду, по северо-западной окраине Полесья. Водоразделы основных

Таблица I

Основные реки Белоруссии

Река	Длина, км	Длина в пределах БССР, км	Площадь всего бассейна, тыс.км^2	Среднегодовой расход воды, м^3/сек.	Станция измерения расхода воды
Днепр	2285	720	503,4	371	г.Речица
Западная Двина	1020	350	85,1	282	г.Полоцк
Неман	937	480	98,1	213	г.Гродно
Припять	802	548	114,3	369	г.Мозырь
Сож	648	493	42,1	205	г.Гомель
Березина	613	613	24,5	141	у устья реки
Вилия	510	275	25,1	70,5	д.Михалишки

речных бассейнов более четко проявляются на возвышенностях. На плоских водоразделах и в низменностях (особенно Полесья) верховья рек одного бассейна нередко подходят к верховьям другого. Иногда реки двух различных бассейнов берут начало из одного и того же болота.

Как видно из табл. I, самый большой бассейн стока принадлежит Днепру. В пределах Белоруссии расположено 24% всей его водосборной площади. Высотные отметки поверхности здесь изменяются от 350,1 до 101,4м; из них около 50% падает на отметку ниже 160 м. Крупными притоками Днепра являются Друть, Березина, Сож; главные притоки Сожа — Проня, Беседь, Ипуть. Заболоченность бассейна увеличивается от истока к устью и равна в среднем 35%. Озерность водосбора в целом небольшая. Основные озера расположены в поймах Сожа и Березины. Воды бассейна Днепра дренируют четвертичные и более древние отложения: лессовые, моренные, флювиогляциальные, а также карбонатные породы мелового возраста. Бассейн Припяти (второй по площади) занимает большую часть Белорусского Полесья (58 тыс.км^2), составляя 42,5% водосбора реки. Припять имеет более 20 притоков. Главными из них являются Стырь, Горынь, Ствига, Уборть, Словечна, Желонь, Птичь, Случь и др. Общей для рек Полесья является теснейшая связь их с заболоченными массивами. Характерны выходы на поверхность минерализованных хлоридно-натриевых вод из палеозойских отложений и докембрийских пород.

Следующим по величине является бассейн Западной Двины. Он занимает северную часть республики и составляет около 16% ее территории и 39% водосбора республики. Здесь густота речной сети — 28 км длины рек на 100км^2 площади. Отметки поверхности колеблются в пределах 294,6-96,4 м, из них 62% падает на 160--120 м. Характерная особенность бассейна — значительная озерность и заболоченность. Болота и озера играют регулирующую роль в распределении поверхностного стока. Главными притоками Западной Двины являются Оболь, Дрисса, Сарьянка, Дисна, Каспля, Лучеса и др. Воды бассейна дренируют главным образом четвертичные отложения морен и флювиогляциальных отложений, а в отдельных местах — и коренные породы (доломиты, из-

вестняки) верхнего девона.

Бассейн Немана занимает северо-западную часть республики, лежащую в зоне ледниковых отложений рисского и вюрмского оледенений. Площадь белорусской части бассейна составляет 46,4% всей водосборной территории реки. Отметки поверхности водосбора изменяются от 350,I до 79,7 м, из них 74,7% падает на 200—I20 м. Густота сети достигает 35 км на I00км^2 площади водосбора. Наиболее крупные притоки Немана — Вилия, Щара, Западная Березина, Котра и др. Бассейн Немана сложен конечноморенными отложениями гетерогенного состава. Иногда в долинах рек выходят коренные породы меловых отложений.

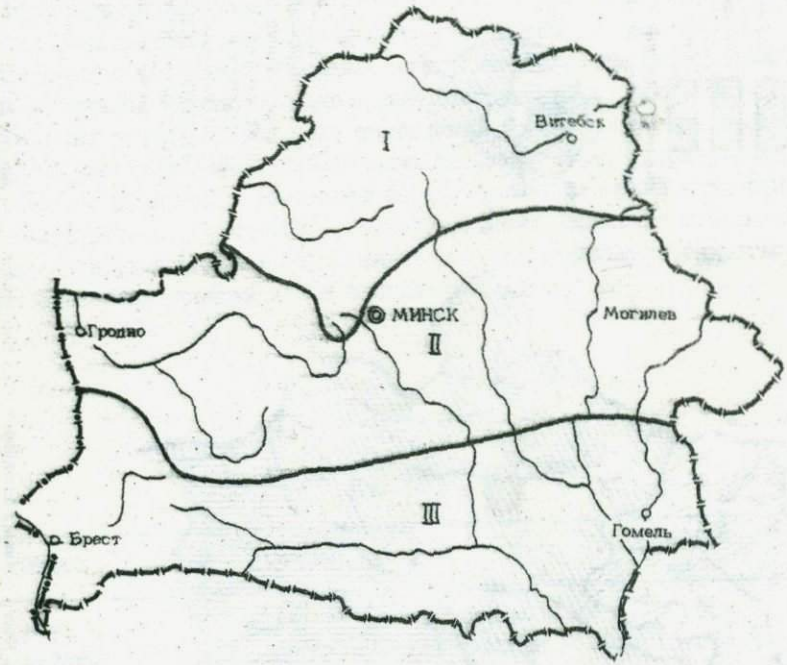
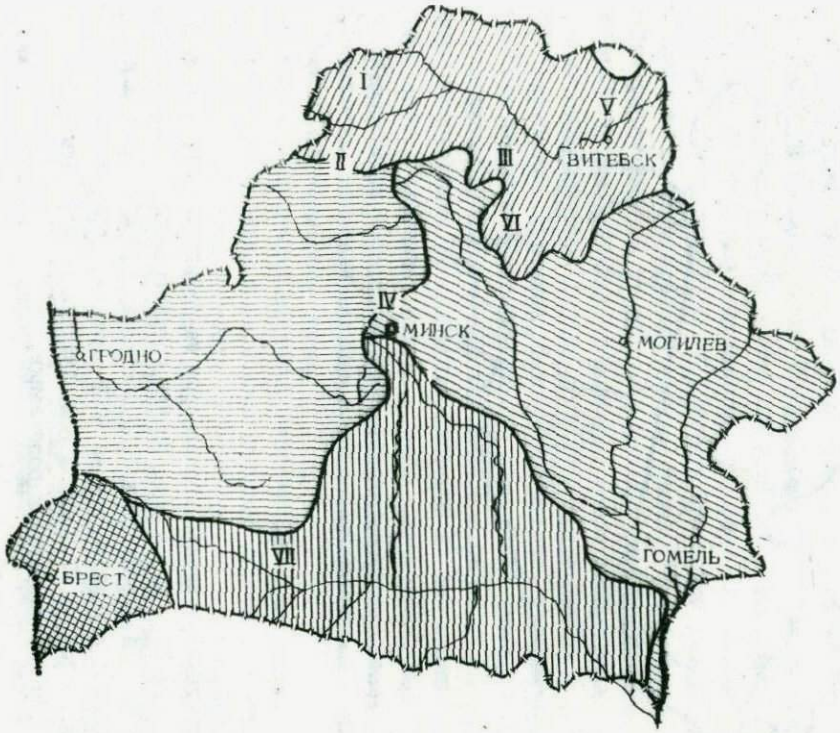


Рис.11. Схема агроклиматического районирования территории БССР (Шкляр, 1962):
I — северная, II — центральная, III — южная области

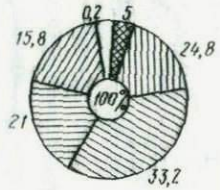
Суммарный среднемноголетний расход рек на территории республики равен II56 м^3/сек., или 36,5 км^3 в год. Модуль среднегодового стока составляет 5,6 л/сек. с I км^2. Из других республик поступает 680 м^3/сек., или 2I,5км^3 в год. Общий расход рек на выходе из БССР (вместе с транзитным) равен I836 м^3/сек., сток — 57,9 км^3 в год. Густота речной сети БССР составляет 26 км на I00 км^2 территории республики.



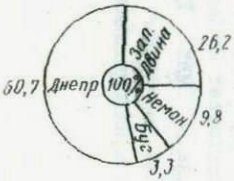
РЕЧНЫЕ БАССЕЙНЫ

Зап.Двины
Немана
Днепра
Припяти
Буга
Ловати

Соотношение площадей речных бассейнов (%)



Количественное распределение озер по бассейнам рек (%)



ОЗЕРНЫЕ ГРУППЫ

I.БРАСЛАВСКАЯ (оз.Снуды,Струсто,Дривяты,Неспиш,Волос)
II.НАРОЧАНО-МЯДЕЛЬСКАЯ (оз.Нарочь,Белое,Баторин,Мястро,Рудаково,Мядель,Должа,Волчино,Лотвинское,Россохи)
III.УШАЧСКАЯ (оз.Отолово,Яново,Черствяты,Веркуны,Липно)
IV.ДОЛГИНСКАЯ (оз.Долгое,Шо,Свядово и др.)
V.ВЫМНО (оз.Тиосто,Медесто,Вымно)
VI.ЛУКОМЛЬСКАЯ (оз.Селява,Палик)
VII.СПОРОВСКАЯ (оз.Сторонское,Выгоновское,Бобровичское, Черное,Сомино,Мотоль)

Рис.12. Карта речных бассейнов и озер Белоруссии (составители К.И.Лукашев, В.Д.Шершун)

Белоруссия принадлежит к числу районов земного шара, характеризующихся повышенной озерностью (в республике свыше I0 тыс.озер). Акватории озерных водоемов достигают 80 км^2. Преобладают водоемы с площадью зеркала до 0,I км. Основные озера Белоруссии показаны в табл.2. В табл.3 приведено их распределение в ландшафтах Белоруссии, из которого видно, что большинство озер сосредоточено в северо-восточной части Белоруссии и в западной части Белорусского Полесья.

Все многообразие встречающихся на территории Белоруссии озерных водоемов разделено О.Ф.Якушко (I97I) по генетическим признакам на 6 основных типов. В табл.4 выделены генетические типы озерных котловин Белоруссии, указаны типичные районы их распространения и дана краткая морфологическая характеристика.

Роль гидротермических условий в геохимических процессах в ландшафтах трудно переоценить. Ими определяется характер разрушения пород (физический и химический), геохимические типы выветривания (литогенный, сиаллитный, аллитный), характер обломочных (терригенных), химических и биогенных продуктов, способы переноса и накопления вещества, геохимические процессы гидрогенеза, диагенеза, педогенеза, элювиогенеза, образование вторичных геохимических ореолов рассеяния, геохимических аномалий и провинций и т.д. В зависимости от гумидного режима территорий выделяют геохимические типы ландшафтов (элювиальный, супераквальный, субаквальный), гидрогеохимические типы провинций поверхностных и подземных вод и др.

Таблица 2

Основные озера Белоруссии.

Озеро	Площадь, км^2	Максимальная глубина, м	Озеро	Площадь, км^2	Максимальная глубина, м
Нарочь	80	23	Лукомльское	36	II
Освейское	58	9	Нещердо	27	I5
Дрисвяты	45	I2	Выгоновское	26	3
Червоное	43	5	Снуды	26	20
Дривяты	38	I8	Свирь	22	I3

7. Почвы, растительный и животный мир ландшафтов

Почвенный покров суши можно назвать производным от геохимических и биогеохимических процессов, протекающих в биосфере и ландшафтах при участии живого вещества и его взаимодействии с литосферой, атмосферой и гидросферой. Почвообразование включает множество геохимических и биогеохимических процессов, в числе которых важнейшую роль играют гидролиз, растворение и вышелачивание, новообразование минералов, формирование гумусовых веществ и др. В зависимости от ландшафтных условий педогенеза обра-

Таблица 3

Количество озер Белоруссии по градациям площадей (составлена гидрографической партией гидрометслужбы БССР, 1966)

Площадь зеркала, км²	Бассейн				Всего
	Западной Двины	Немана	Западного Бута	Днепра	
0—0,10	1875	984	318	6252	9429
0,11—0,25	360	-	1	184	545
0,26—0,50	22	24	11	66	330
0,51—1	154	23	-	18	197
1,01—5	168	15	15	19	217
5,01—10	23	4	3	4	34
10,1—15	6	2	1	1	10
15,1—20	4	-	1	-	5
20,1—25	2	1	1	1	5
25,1—30	1	-	-	1	2
30,1—40	2	-	-	-	2
40,1—60	2	-	-	1	3
60,1—79,6	-	1	-	-	1
Всего	2826	1054	353	6547	10780

Таблица 4

Генетические типы озерных котловин Белоруссии

Типы озерных котловин	Морфологические особенности водоемов	Типичные районы распространения
Запрудные	Относительно большие по площади глубокие водоемы со сложно очерченной береговой линией и неровным рельефом дна	Конечноморенные районы и их северная периферия
Моренные (термокарстовые)	Небольшие округло-лопастные со средними и малыми глубинами и сложным рельефом озерного ложа	Холмистые или волнисто-равнинные районы донной морены
Ложбинные	Вытянутые неширокие, часто глубокие с характерным трогообразным поперечным профилем	Равнинные или мелкохолмистые районы донной морены, реже периферия конечноморенных гряд
Чашеобразные (эварзионные)	Небольшие по площади округлые глубокие с крутыми подводными склонами	Районы молодого конечно- и донноморенного рельефа
Речные или старицы	Неглубокие вытянутые или серповидные с корытообразным дном и низкими берегами	Долины крупных рек, пересекающих низинные или равнинные участки
Суффозионно-карстовые	Небольшие округлые воронкообразные с медленно нарастающими глубинами	Районы распространения лессовых пород и известняков

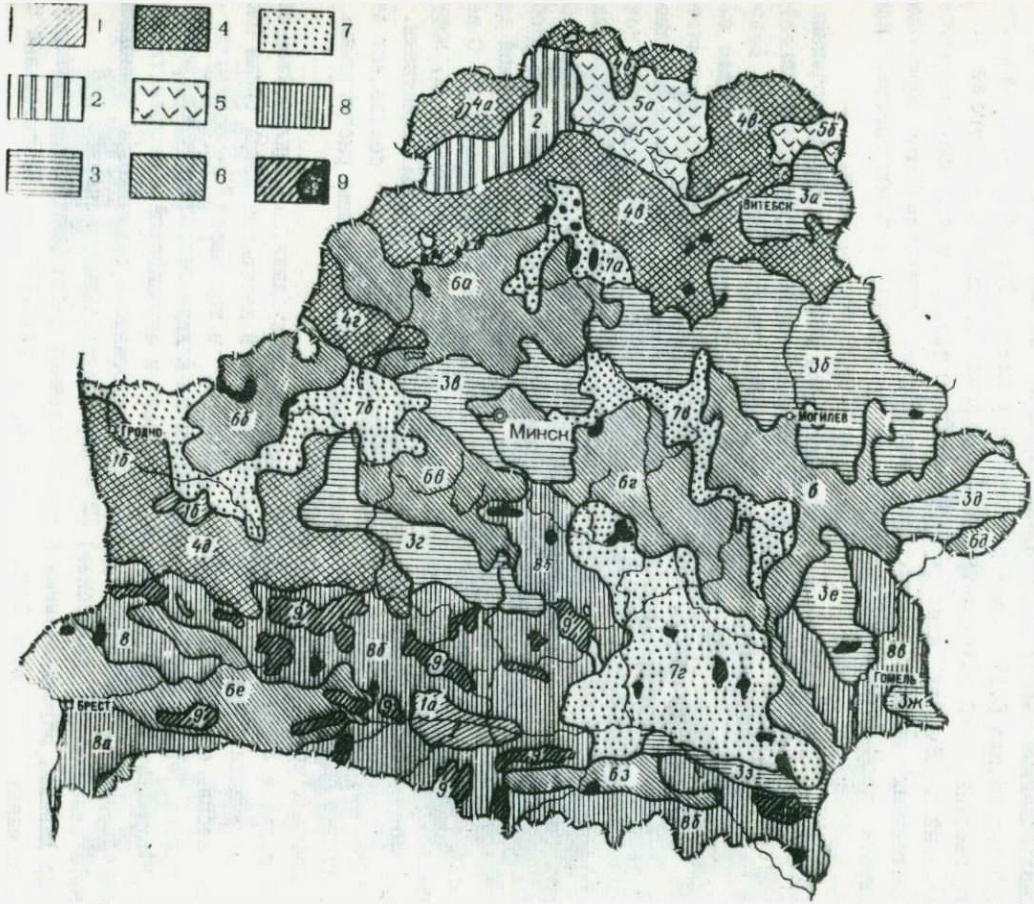


Рис.13. Почвенная карта БССР (Медведев, 1968):

1 — дерново-карбонатные суглинистые почвы (а — Туровский район, б — мелкие пятна рендзин); 2 — дерново-среднеподзолистые пылевато-легкосуглинистые почвы; 3 — дерново-сильноподзолистые пылевато-легкосуглинистые почвы (а — Лиозненско-Витебский, б — Оршанско-Могилевский, в — Минский, г — Кореличско-Слуцкий, д — Костюковичский, е — Кормянско-Уваровичский, ж — Тереховский, з — Хойникско-Брагинский районы); 4 — дерново-среднеподзолистые валунно-суглинистые почвы (а — Браславский, б — Россонский, в — Мядельско-Городокский, г — Ошмянский, д — Барановичско-Гродненский районы); 5 — дерново-среднеподзолистые пылевато-супесчаные почвы (а — Полоцкий, б — Суражский районы); 6 — дерново-средне- и глубокоподзолистые валунно-супесчаные почвы (а — Вилейско-Пещеницкий, б — Лидский, в — Столбцовский, г — Рогачевско-Жлобинский, д — Хотимский, е — Кобринско-Дрогичинский, ж — Малоритский, з — Ельско-Лельчицкий районы); 7 — дерново-слабоподзолистые песчаные почвы (а — Березинско-Лепельский, б — Мостовско-Ивьевский, в — Борисовско-Новобыховский, г — Светлогорско-Калинковичский районы); 8 — дерново-подзолистые оглеенные внизу песчаные почвы (а — Малоритско-Брестский, б — Староборожско-Столинский, в — Гомельско-Ветковский районы); 9 — торфяно-болотные почвы

зуются различные типы, разновидности и фации почв разного профиля и состава. Большой вклад в изучение почв Белоруссии, их использования и охраны внесли работы И.С.Лупиновича, П.П.Рогового, А.Г.Медведева, Т.Н.Кулаковского и др.

Климатические особенности территории Белоруссии, характер почвообразующих пород, рельефа, растительного и животного мира обусловили формирование шести основных типов почв: дерновых, дерново-подзолистых, дерново-подзолистых заболачиваемых, дерново-болотных, торфяно-болотных и пойменных. Они в свою очередь подразделяются в зависимости от литологического состава, характера и степени развития почвенного профиля, особенностей подстилающих пород и других почвообразующих факторов (рис.13).

По состоянию на начало 1974г. из общей площади республики в 20759,8 тыс.га сельскохозяйственные угодья составляют 9522,2 тыс.га, или 45% территории; из них 5723,0 тыс.га занято под пашню (27,7%). Площадь лесов достигает 7503,0, болот — 923,0 тыс.га, под водой занято 381,1 тыс.га. Неиспользованные земли (болота, кустарники, пески) занимают площадь в 1685,0 тыс.га, или 8,1% общей площади республики. Ежегодно для несельскохозяйственных целей отчуждается немногим более 10 тыс.га, а всего за послевоенный период для этих целей изъято 270 тыс.га, в том числе сельскохозяйственных угодий 131 тыс.га. В перспективе представляется возможным расширить площадь сельскохозяйственных угодий на 500-600 тыс.га, или на 5-6%.

До 1973 г. в республике было осушено около 1993,8 тыс.га заболоченных земель, из них 946,4 тыс.га торфяно-болотных почв. К 1985 г. предполагается осушить 4,5 млн.га переувлажненных земель. Около 2 млн.га земель Белоруссии подвержено воздействию водной и ветровой эрозий. Водная эрозия выражена в виде плоскостного смыва и линейного размыва, ветровая проявляется в виде поземки и местных пылевых бурь на песчаных, супесчаных и мелиорированных торфяно-болотных массивах. Эрозии подвержено около 60% почв территории республики, в том числе пашни около 40%. На эродируемых почвах требуется проведение системы мероприятий для полного предотвращения эрозии или восстановления плодородия эродированных земель. Эрозию почв необходимо рассматривать прежде всего как грандиозный процесс химической денудации суши и миграции вещества в форме минералов и в растворах. С нею связана потеря плодородия почв, обеднение их химическими элементами, нарушение механизма питания растений абиотическим и биогенным веществами.

В растительном покрове Белоруссии большой удельный вес составляют леса, луга и болота, создавшие самые разнообразные сочетания растительных и ландшафтных комплексов (рис.14).

В прошлом леса покрывали всю территорию республики, за исключением отдельных участков пойм рек и открытых болот. В настоящее время общая площадь лесов составляет около 8,0 млн.га, в том числе лесопокрытия — 7,0 млн.га. Территория Белоруссии относится к двум геоботаническим областям: евразиатской хвойно-лесной (таежной) и европейской широколиственной. Леса северной половины БССР относятся к дубравно-кустарниковым темнохвойным, а южной части (полесские) — к широколиственным сосновым.

По данным, опубликованным в многочисленных работах отдельных авторов и в сборниках (лора БССР, т. I—5, 1949—1959; Растительный по-

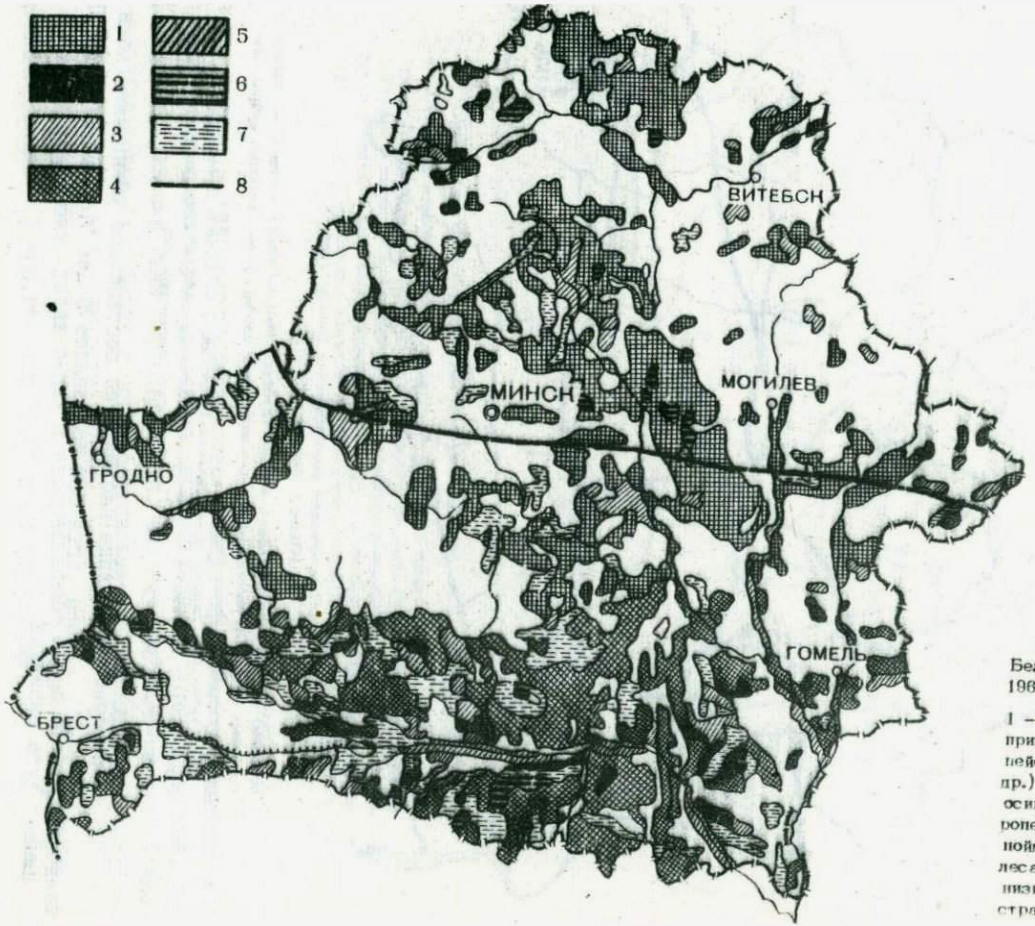


Рис.14. Растительные сообщества Белоруссии (Советский Союз, т.3. Белоруссия, 1967):

1 — сосновые южнотаежные и еловые леса с примесью широколиственных пород; 2 — европейские широколиственные леса (дуб, граб и др.); 3 — мелколиственные леса (береза, ольха, осина), местами в сочетании с болотами; 4 — европейские широколиственно-сосновые леса; 5 — пойменные луга в сочетании с кустарниками и лесами; 6 — верховые и переходные болота; 7 — низинные болота; 8 — северная граница распространения граба обыкновенного

кров Белоруссии, 1969), преобладающую часть лесов Белоруссии составляют сосновые леса (рис.15).

Более половины лесов республики (58,2%) — молодняки; средневозрастные насаждения занимают 25,6, приспевающие леса — 12 и спелые леса — только 4,3%. Общий запас спелых насаждений на 1 января 1971г. составлял в республике 55,5 млн.м^3. Среднегодовой прирост древесины на 1 га составляет 2,77 м^3.

Луга в Белоруссии занимают более 3,5 млн.га, или 17,4% площади республики. Из них пойменные заливные луга составляют 230,3 тыс., суходольные — 2520 тыс.га (в том числе пастбища 1400 тыс.га), низинные (заболоченные) — 760 тыс.га (в том числе пастбища 200 тыс.га).

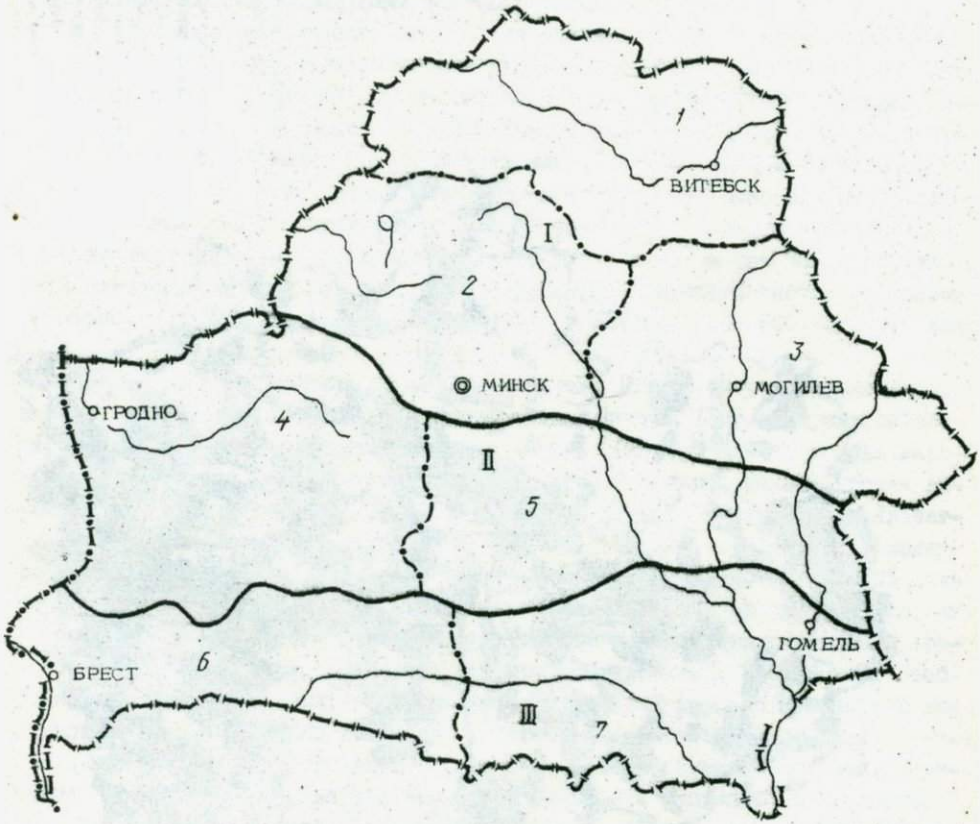


Рис.15. Геоботаническое районирование Белорусской ССР (Охрана природы, 1972):

подзоны: I — широколиственно-еловых (дубово-темнохвойных) лесов; II — елово-грабовых дубрав (грабово-дубово-темнохвойных лесов); III — грабовых дубрав (широколиственно-сосновых лесов);
лесорастительные районы: 1 — Западно-Двинский; 2 — Ошмяско-Минский; 3 — Оршанско-Могилевский; 4 — Неманско-Предполесский; 5 — Березинско-Предполесский; 6 — Бугско-Полесский; 7 — Полесско-Приднепровский

По территории республики наблюдается постепенное уменьшение доли суходольных лугов с севера (где они составляют более 70%) на юг (где 73% занимают луга низинные).

В Белоруссии площадь торфяных болот занимает 2,48 млн.га, или 12,4% ее территории (рис.16). К болотной относится лесная, травяная и моховая растительность, развивающаяся при обильном обводнении разной степени проточности и застойности на торфянистой и торфяной почве различной мощности. Из общей площади болот Белоруссии 81,7% составляют низинные, 4,8% переходные и 13,5% верховые. Растительность верховых болот, имеющих наибольшее распространение в Белорусском Поозерье, представлена лесными и безлесными кустарничково-пушицево-сфагновыми ассоциациями. Переходным болотам свой-

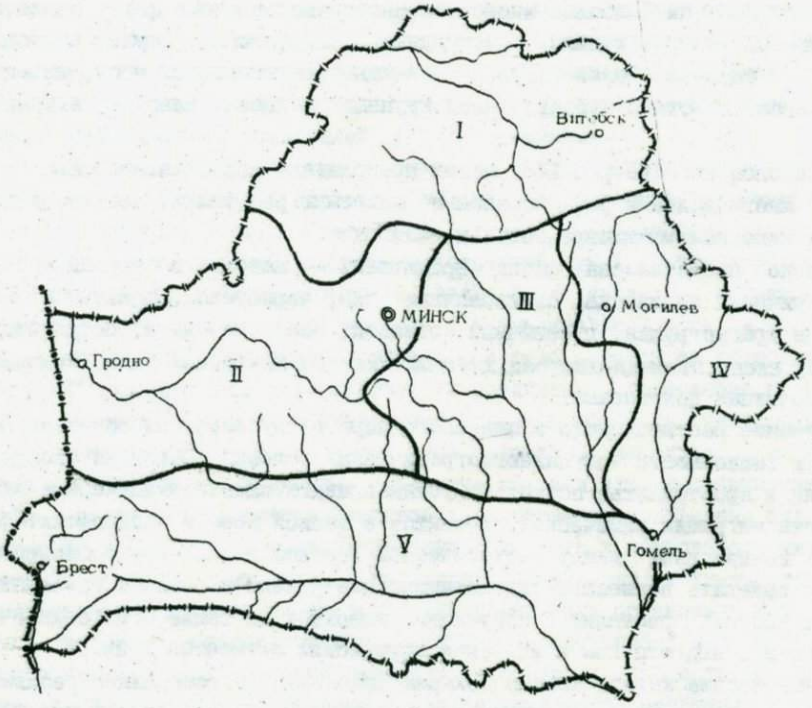


Рис.16. Карта торфяных областей Белорусской ССР (Пидопличко, 1961):

I — область верховых торфяников холмистоозерного ландшафта; П — область низинных торфяников западного конечноморенного ландшафта; Ш — область крупных верховых и низинных торфяников полого-волнистой абляционной равнины; IУ — область небольших верховых и низинных торфяников в условиях распространения лессовых пород; У — область крупных низинных торфяников Полесского ландшафта

ственны лесные и безлесные кустарничково-осоково-сфагновые ассоциации. Для низинных болот характерны как лесные черноольховые и пушицеберезовые, так и безлесные травяные виды растительности. Для них наиболее типичны злаково-крупноосоковые (в поймах) и осоково-гипновые (на водоразделах) ассоциации в сочетании с болотным разнотравьем.

Мелиоративный фонд увлажненных и переувлажненных земель в республике составляет около 7,5 млн.га, или 36,3% всей территории.

Весьма разнообразен также животный мир республики (Сержанин, 1961; Долбик, Федюшин, 1967; Жуков, 1965; География Белоруссии, 1952; Белоруссия, 1967 и др.). Позвоночные составляют до 400 видов, в том числе более 250 видов птиц, свыше 60 видов млекопитающих, более 50 рыб; пресмыкающихся и земноводных менее 20 видов. Полагают, что беспозвоночных животных в 15—20 раз больше, чем позвоночных.

Большая часть животных Белоруссии является представителями европейских широколиственных лесов и тайги; значительно меньше распространены животные лесостепи и степи. Наиболее многочисленно представлены в фауне белки, зайцы, лисицы, бобры, куницы, благородные олени, лоси, косули, енотовидные собаки, ондатра. Беловежская пуща — одно из немногих мест, где живет и увеличивается стадо зубров, самых крупных из лесных животных в Советском Союзе.

В видовом составе рыб Белоруссии преобладают карповые, лососевые и окуневые. Многочислен и разнообразен в водоемах республики состав беспозвоночных животных: моллюсков, пиявок, олигохет.

Широко представлена фауна вредителей — матовый и черный мертвоед, свекловичная щитоноска, свекловичная тля, чернотелок, щелкун полосатый, пьявица красногрудая, гусеничный огневок, злаковые мухи, остроголовый и луговой клопы, пьявица-листоед, хлебный пилильщик, хлебный жлещ, колорадский жук, болотная долгоножка.

Изучение растительного и животного мира республики, их развития и эволюции в зависимости от палеогеографических условий развития биосферы во времени и пространстве позволяет устанавливать палеогеохимические закономерности миграции химических элементов в земной коре и ландшафтах: фиксировать взаимосвязь между геохимической средой и составом растений и животных, выделять важнейшие биогеохимические рубежи и этапы в изменении видового состава растений и популяций животных, а также биогеохимические провинции с недостатком и избытком химических элементов и др.

Здесь весьма кстати кратко охарактеризовать многообразные геохимические процессы, которые совершаются в ландшафтах и биосфере при участии живого вещества. Наиболее яркое описание геохимической роли живого вещества в биосфере дано в работах В.И.Вернадского. Он указывает, что химическое состояние наружной коры нашей планеты всецело находится под влиянием жизни, определяется живыми организмами, которые превращают солнечную (космическую) лучистую энергию в земную (химическую) и создают бесконечное разнообразие нашего мира. С деятельностью живых организмов, их дыханием, питанием, размножением, смертью и разложением связан великий планетарный процесс — миграция химических элементов в биосфере. Биогенную миграцию В.И.Вернадский назвал основной чертой организованности биосферы. Эволюция видов, приводящая к созданию форм жизни, устойчива в биосфере и должна идти в направлении увеличения биогенной миграции атомов.

"Растекание жизни, — указывает В.И.Вернадский, — движение, выражающееся во всеобщности жизни, есть проявление прежде всего химической энергии в биосфере... Эта энергия проявляется в работе, производимой жизнью, в переносе химических элементов и в создании из них новых тел. Я буду называть ее геохимической энергией жизни в биосфере"*.

*Здесь и далее цитируется книга "Биосфера". М., 1972.

Касаясь форм нахождения химических элементов в земной коре, В.И.Вернадский указывает, что, вступая в организмы, химические элементы попадают в новую форму нахождения. Он считает, что форм нахождения химических элементов может быть очень много и далеко не все из них могут наблюдаться в термодинамических полях нашей планеты. Выделяя разные формы нахождения химических элементов, которые определяют их историю в земной коре, В.И.Вернадский пишет, что "в живом веществе мы обычно представляем себе атомы в состоянии молекул, диссоциированных систем ионов, рассеянных нахождений. Очень вероятно, что в живом организме, помимо изотопов, играет известную роль симметрия атомов (симметрия атомных полей)". Для развития и существования организмы берут все нужные им химические элементы в современной биосфере из окружающей их косной материи и не требуют для построения своего тела готовых органических соединений другого организма.

Из двух основных групп живого вещества (автотрофного и гетеротрофного), выделяемых по признакам питания и дыхания, автотрофные, особенно зеленые хлорофильные организмы, согласно В.И.Вернадскому, являются главным механизмом биосферы, который улавливает солнечный луч и создает фотосинтезом химические тела, энергия которых в дальнейшем является источником действенной химической энергии биосферы, а в значительной мере — всей земной коры. Автотрофные организмы строят свое тело целиком из вещества косной "мертвой" природы: все их органические соединения, содержащие азот, кислород, углерод, водород, составляющие главную массу их тела, берутся из минеральных образований. Гетеротрофные организмы используют как пищу для жизни органические соединения, созданные другими живыми организмами.

Для биосферы и ее живого вещества характерны разнообразные биогеохимические функции (табл.5), играющие важнейшую роль в круговороте химических элементов в природе, их балансе, регулировании условий геохимической и биологической среды развития растительных и животных организмов и т.д. Выполнение биосферой биогеохимических функций представляет важнейшее геохимическое значение для развития биосферы и ее живых сообществ, объединяющих качественно различные организмы, для геохимической эволюции планеты в ее необратимом поступательном развитии в зависимости от развития и эволюции жизни на Земле. Как указывает В.И.Вернадский, "жизнь создает в окружающей ее среде условия, благоприятные для своего существования". Поступательное развитие жизни от ее зачатков до настоящего времени можно кратко охарактеризовать следующим образом. Увеличивалось разнообразие живых существ, их биомасса, усложнялась структурная организация биоценозов; совершались коренные преобразования неживой части биосферы; изменялся химический состав литосферы, природных вод и атмосферы и их неорганических и органических продуктов; биогенная форма миграции приобретала решающее значение в круговороте вещества и энергии в земной коре (Лукашев, Вадковская, 1973).

8. Геохимические продукты гипергенеза и ландшафтов

Подробно эти вопросы характеризуются ниже в отдельных главах. Здесь лишь констатируются важнейшие общие факты, дающие представления о многообразии геохимических типов продуктов, процессах их образования в ландшафтах в зависимости от комплекса природных факторов.

По способу образования, направленности выветривания, механизму осадконакопления и дифференциации вещества в ходе литогенеза и вторичного преобра-

Таблица 5

Биогеохимические функции биосферы

Биогеохимическая функция	Участие организмов
I. Газовая функция. Все газы биосферы теснейшим образом связаны с жизнью, создаются биогенным путем и им же изменяются. Совокупность газовых реакций живых веществ правильно выделять в единое целое как самостоятельную функцию, важную часть газового режима планеты: $N_2 - C_2 - CO_2 - CH_4 - H_2 - NH_3 - H_2S$	Все организмы
2. Кислородная функция. Образуется свободный кислород (из CO_2 и H_2O, может быть, нитратов и т.п.). Все другие синтезы свободного кислорода в биосфере отходят на второй план	Хлорофильные растения
3. Окислительная функция. Окисляются более бедные кислородом соединения ($FeCO_3$, $MnCO_3$), соли NO_2, дитионаты, H_2S, N_2, S и т.п. Эта реакция, по-видимому, имеет место для всех соединений элементов, способных в биосфере давать несколько стадий кислородных соединений, т.е. для Fe, Mn, S, Cu, N, C, H; сверх того, возможно, для P, V, Cr, Ni, Co, As, Sb, Pt, J, Bi, V, Ti.	Бактерии, большей частью автотрофные
4. Кальциевая функция. Выделяется кальций в виде чистых солей (простых и сложных), углекислых, щавелевокислых, фосфорнокислых (апатитов) и т.п.	Водоросли (хлорофильные), бактерии, мхи (хлорофильные), одноклеточные животные организмы (кореножки, частью радиолярии); позвоночные; водные (главным образом морские) организмы, образующие кальциевые скелеты (ракообразные моллюски, иглокожие, кораллы, гидроиды, брахиоподы, мшанки, позвоночные и т.д.)
5. Восстановительная функция (резко выражена для сульфатов). Создаются H_2S, FeS_2 и, по-видимому, другие сернистые металлы (ZnS, CuS и т.п.) — частично непосредственно, частично через биогенный процесс	Бактерии
6. Концентрационная функция. Скапливаются отдельные элементы из их рассеяния в окружающей среде, характерные для углерода (основного биоэлемента) и для очень многих других элементов. В одних видах организмов в общей массе живого вещества составляют больше 1% веса живого организма (например, Si, Fe, K и др.) кремниевые, железные, калиевые и другие вещества; в других организмах количество указанных элементов больше среднего содержания их в биосфере (организмы, богатые данным элементом). Эти явления известны для C, Ca, N, Fe, Mn, Cu, Ba, Si, J, V, K, Ne, Si	Организмы животные и растительные разных систем — одноклеточные и многоклеточные
7. Функция разрушения органических соединений — разложение их с выпадением H_2O, CO_2 и N_2	Бактерии и грибки
8. Функция восстановительного разложения органических соединений, дающая H_2S, CH_4, H_2 и ...	Бактерии

Продолжение табл. 5

Биогеохимическая функция	: Участие организмов
9. Функция метаболизма и дыхания организмов, связанная с поглощением O_2 и H_2O, выделением CO_2, миграцией органических элементов	Все организмы
IO. Разнообразные техногенные функции, связанные с техногенной деятельностью общества	Человек и техника

зования литогенных и биогенных продуктов геохимические продукты гипергенеза и ландшафтов можно объединить (классифицировать) в следующие группы:

I) геохимические типы и фации стадийного выветривания и осадконакопления — литогенные, силицидные, сиаллитные, ферритные, карбонатные, биолитные;

2) геохимические фации различных реакций разрушения, выщелачивания, окисления, химической садки и др. — резистаты, редизаты, оксидаты, преципитаты;

3) геохимические продукты литогеохимических провинций, отражающие литологическую специфику покровных пород территории республики (моренных, лессовых, аллювиальных, озерных и др.);

4) геохимические продукты элювиальных, супераквальных и субаквальных элементарных, геоморфологических форм ландшафтов;

5) геохимические (биогеохимические) продукты педогенеза и биогенеза основных генетических типов и видов почв, образование и преобразование органического вещества (геохимические фации и формации почвообразующих пород);

6) гидрохимические продукты поверхности основных гидрогеохимических провинций (с преобладанием литогенного, биолитного, биогенного и литобиогенного факторов формирования);

7) газогеохимические продукты газовых функций живого вещества, радиоактивных эманаций, эндогенных процессов, участвующих в геохимических миграциях и реакциях в ландшафтах;

8) космогеохимические продукты энергетических процессов, связанных с поступлением в ландшафты космического вещества и энергии.

Следует подчеркнуть, что все геохимические продукты ландшафтов, их вещественная специфика в конечном итоге связаны с совокупным взаимодействием природных факторов в физическом, энергетическом, химическом и биологическом их проявлении в отдельных регионах. В природных условиях Белоруссии их специфика определяется, в частности, пространственным соотношением элементарных геохимических ландшафтов, глубоким промыванием коры выветривания, участием в гипергенной миграции органического вещества.

На территории республики неодинаково представлены геохимические типы элементарных ландшафтов; наибольшие площади занимают элювиальные (около 60% территории), затем супераквальные (37%) и субаквальные (до 3%). Они отражают различные условия геохимической миграции вещества в ландшафтах, образование остаточных и аккумулятивных осадочных отложений, генетические типы почвообразования и т.д.

Господствующий в ландшафтах гумидный гидротермический режим благоприятствует интенсивному промыванию почв и коры выветривания в элювиальных ландшафтах, болотообразованию и накоплению органического вещества в супераквальных ландшафтах. Глубокое промывание коры выветривания связано также с широким распространением в покровном осадочном чехле песчаных, супесчаных, лессовых и других макропористых грунтов — аккумуляции ледниковых, водно-ледниковых, аллювиальных, озерных и других генетических типов четвертичных отложений.

Литогеохимические процессы выветривания и осадконакопления протекают по сиаллитному типу с образованием различных фаций отложений литогенного (обломочного), силицитного, глинистого и карбонатного составов. Среди них песчаные, богатые терригенным кварцем; сиаллитно-глинистые, в составе которых видное место занимают минералы гидрослюды, каолинита, монтмориллонита и др.; сиаллитно-карбонатные с заметным содержанием карбонатов кальция и магния; сиаллитно-ферритные, обогащенные минералами железа.

Важнейшей особенностью геохимических процессов в ландшафтах региона является заметное участие в поверхностной миграции органического вещества в форме детрита, гумусовых кислот и других разложившихся продуктов. С ними связана миграция ряда элементов, особенно группы железа (V , Co, Ni и др.).

В геохимических условиях ландшафтной среды формируется гидрокарбонатно-кальциевый тип поверхностных вод с разным характером минерализации, зависящей от стока почвенных и выхода подземных вод, присутствия органического вещества, растворенного кислорода, содержания карбонатов и сульфатов и т.д.

Ландшафты Белоруссии в целом обеднены (по сравнению со средними кларковыми содержаниями в почвах) кальцием, магнием, калием, натрием, фосфором и другими химическими элементами периодической таблицы Д.И.Менделеева.

Глава II. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛАНДШАФТАХ

Геологическое строение земной коры региона позволяет считать, что литосфера здесь развивалась в сложных историко-геологических условиях, характеризовавшихся неоднократными изменениями фациальных условий осадконакопления, растительного и животного мира, специфическим развитием и эволюцией ландшафтной оболочки и биосферы.

Охарактеризуем указанную специфику применительно к крупным тектоническим структурам, резко различающимся между собой условиями развития литосферы, участием в строении различных фаций и формаций осадочных, магматических и метаморфических пород. Это Белорусский кристаллический массив, Припятская, Брестская и Оршанская впадины.

I. Белорусский кристаллический массив

Рассматриваемый массив представляет собой сложную структуру, в составе которой господствуют горные породы архейского и протерозойского возрастов. Они неравномерно перекрыты палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими отложениями разных систем, имеющими разнообразные ареалы распространения, мощность и литологический состав пород (рис.17). Наиболее полно стратиграфический разрез докембрия представлен в центральной части массива, а посткембрийских отложений — в его бортовых частях.

Как самостоятельная структура массив формировался в байкальскую, каледонскую, а затем в герцинскую эпохи складчатости в связи с прогибанием фундамента в окружающих его впадинах (Геология СССР, т.Ш, 1971).

Изучение кристаллического массива показывает, что его геологическое строение значительно осложнено крупными тектоническими разломами, которые разделяют разновозрастные структуры или секут их. Эти структуры сложены метаморфизованными осадочно-вулканогенными и интрузивными комплексами пород, отличающимися геохимическими и металлогеническими особенностями.

Кристаллические породы массива образуют 3 структурных этажа: нижний, средний и верхний (Лукашев, Красовский, 1970). Нижний — архейский — структурный этаж образует антиклинорные структуры, сложенные в основном гнейсами, мигматитами, биотитовыми гранитами и гранито-гнейсами, заключающими в себе гранитизированные пачки амфиболитов, кварц-полевошпатовых метапесчаников, дайки диабазов и жилы кварц-полевошпатовых пегматитов. Средний —

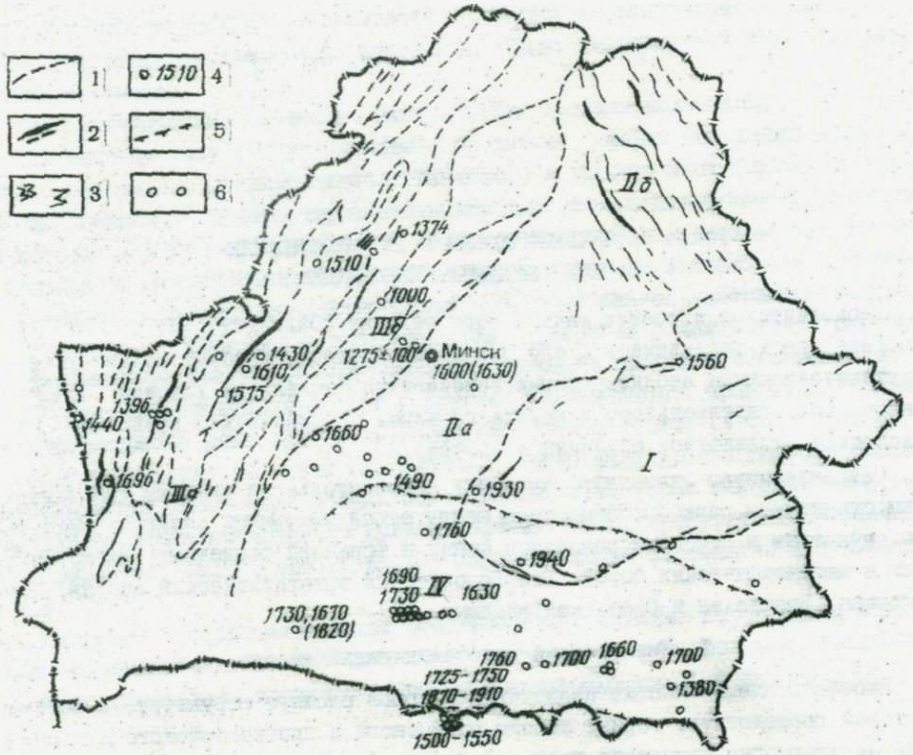


Рис.17. Схема геолого-структурного расчленения докембрийского фундамента Белоруссии по геолого-петрографическим и геохронологическим данным (А.М.Пап с использованием геофизических материалов Б.В.Бондаренко):

1 — условные границы структурных ярусов; 2 — направление осей главнейших магнитных аномалий и возможных контактов горных пород; 3 — сланцевая и кварцитовая толща пород (житковичская свита) в пределах Житковичского участка; 4 — абсолютные значения возраста пород в млн.лет (в скобках — цифры по А.Н.Виноградову и др.); 5 — наиболее отчетливо выраженные тектонические нарушения; 6 — важнейшие буровые скважины; I — нерасчлененный комплекс гнейсов и гранитов и интрузивные тела диоритов и габбро первого структурного яруса центральной и восточной частей Белоруссии; IIа — нерасчлененный комплекс биотитовых, гранато-биотитовых, иногда с силлиманитом гнейсов центральной части Белоруссии, Микашевичского выступа и юго-восточной части Припятской впадины второго структурного яруса; IIб — возможные фациальные аналоги курской железорудной серии и пород второго структурного яруса Белоруссии; IIIа — щучинская серия пара- и ортогнейсов, амфиболитов и прорываемых ими гранитов третьего структурного яруса северо-западной части Белоруссии; IIIб — серия сланцев, слюдистых кварцитов и прорываемых ими житковичских гранитов третьего структурного яруса; IУ — Украинский щит

нижнепротерозойский — этаж сложен двумя сериями пород (метабазитовой в основании и осадочно-метаморфической в кровле), образующих сложные синклинорные структуры. Верхний структурный этаж сложен иотнийскими отложениями, представленными преимущественно кварцево-полевошпатовыми метапесчаниками, залегающими с резким угловым несогласием на породах вышеописанных структурных этажей.

Метабазитовая серия среднего структурного этажа сложена продуктами метаморфизации основных вулканогенных пород (базальтов, диабазов, их туфов и туффитов), реже — средних, кислых и субщелочных, а также переслаивающимися с ними осадочно-метаморфическими образованиями. В щучинском синклинории встречаются пачки осадочно-эффузивных пород, где среди субщелочных эффузивов калишпатового состава включены обломки магнийсодержащих пород с гранатами пироп-альмандиновой группы.

В вулканогенных и осадочно-вулканогенных породах массива локализовано колчеданное и медноколчеданное оруденение, которое широко проявлено в сульфидных, карбонато-кварцево-сульфидных образованиях с пиритом, халькопиритом, пирротином, пентландитом, молибденитом и другими минералами.

Среди комплекса пород метабазитовой серии и в разломах залегают интрузии сильно метаморфизованных габбро-норитов, норитов, диабазов, пироксенитов и продукты метасоматической переработки перидотитов: габбро-амфиболиты, амфиболиты, граниты. Рудная минерализация здесь представлена магнетитом, ильменитом, титаномагнетитом и меньше пирротином, пиритом, халькопиритом и пентландитом. Наиболее интенсивная вкрапленность сульфидов местами с примесями молибденита, галенита и сфалерита наблюдается в рассланцованных и амфиболизированных основных породах, претерпевших влияние гидротерм. Такие породы обычно сопровождаются развитием биотита, карбонатов, кварца, хлорида, серпентина, эпидота и др.

Из кислого комплекса магматических пород наибольший интерес представляют двуслюдяные граниты, испытавшие воздействие пневматолито-гидротермальных процессов. В их составе характерные для этих процессов акцессорные минералы: флюорит, торит, апатит, ксенотим, молибденит и др. Интрузии этих гранитов относятся к типу образований, отличающихся повышенной редкометальной рудоносностью.

Осадочно-метаморфическая серия сложена сланцеватыми кварцево-полевошпатово-биотитовыми, гранито-биотито-полевошпатовыми и другими породами с кварцем и роговой обманкой, примесью метатуффитового материала. В восточной зоне сочленения щучинского синклинория с антиклинорной структурой среди этих пород залегают серицитизированные, местами окварцованные гравелиты с крупной кварцевой галькой и вкрапленностью пирита.

Большой интерес представляет трубчатая аномалия, расположенная в западной прибортовой зоне щучинского синклинория в месте пересечения разломов меридионального и субширотного направлений. По составу и генезису горные породы аномалии крайне различны: флогопитовые, флогопито-тальковые с серпентином, эклогит, брекчии карбонатита, метаморфизованные эффузии основного состава и биотито-плагиоклазо-гранатовые породы с кварцем или силлиманитом и др.

В Микашевичско-Житковичском выступе залегает комплекс хлоритовых, хлорито-серицитовых, серицитовых и других сланцев, являющихся продуктами ги-

дротермальной переработки эффузивов. Особый интерес представляют метасоматические кварциты с серицитом и вкрапленностью сульфидов; обнаружены сиениты с редкометальной минерализацией.

Таким образом, строение Белорусского кристаллического массива показывает широкое развитие интрузивного и вулканогенного магматизма, эксплозивной деятельности, метаморфизма и гидротермальных явлений. Эти процессы находят отражение в характере металлогении и геохимических особенностях распространения цветных, редких и редкоземельных элементов. На породах массива залегают нижнекембрийские, среднедевонские, пермские, юрские, меловые, палеогеновые, неогеновые и четвертичные отложения разной мощности и состава. Они по-разному участвуют в формировании осадочного покрова земной коры региона и современной гиперсферы с ее ландшафтами и биосферой. Наибольшая роль принадлежит кайнозойскому литогенезу, специфика процессов выветривания и миграции вещества в ландшафтах которого освещается более подробно ниже.

2. Припятская впадина

Впадина представляет собой специфическую тектоническую зону Русской платформы — наиболее опущенную часть территории Белоруссии, выполненную мощной толщей осадочных пород верхнего протерозоя, палеозоя и мезокайнозоя (рис. I8—20). Мощность осадочной толщи здесь достигает 5000 м, из которых до 4000 м занимают отложения девона, до I000 м — карбона и перми. Мезокайнозойские отложения имеют подчиненное значение.

В недрах впадины выделяются два яруса: нижний (кристаллический фундамент) и верхний (осадочный покров). Первый залегает глубоко и сложен различными типами метаморфических и магматических пород архейско-протерозойского возраста. Осадочная толща сложена известняками, доломитами, глинами, солью, песчаниками и другими породами, образовавшимися в морях, озерах, на суше в последние 600 млн. лет. Наибольшее распространение имеют отложения верхнего и среднего девона. Палеогеографические условия девонского периода характеризовались сложным тектоническим развитием, сопровождавшимся образованием разломов, погружением отдельных блоков и структур земной коры, крупными изменениями в режиме осадкообразования. В результате сформировались мощные накопления каменных и калийных солей, нефти и горючих сланцев, минерализованных вод. Породы межсолевого возраста содержат большое количество органического вещества животного и растительного происхождения, указывающего на специфику развития морской и континентальной биосферы и ландшафтов. В целом в девонской толще впадины выделяется 6 мощных толщ (рис. 2I).

На девонских отложениях залегают каменноугольные. Они распространены повсеместно и сложены глинами, песками, песчаниками, известняками. Среди отложений турнейского яруса встречаются бурые угли. Климатические условия карбона благоприятствовали образованию заболоченных пространств с различной растительностью, накоплению органического вещества, из которого формировались залежи углей и сланцев; не исключено обнаружение нефти и горючих газов.

Пермские отложения распространены главным образом в восточной части Припятского прогиба. Мощность их достигает 500 м. Отложения представлены

преимущественно глинами и песками, в меньшей мере известняками, доломитами, гипсами и ангидритами. Среди этих отложений пока не открыты месторождения полезных ископаемых.

Широко распространены триасовые отложения, особенно скифского яруса. Условно выделены отложения рэтского яруса. Мощность осадков достигает 450м. Толща представлена в основном песчаными и глинистыми породами, которые часто чередуются между собой. В образовании триаса гидную роль играли пресные озера и лагуны.

Повсеместно распространены юрские отложения. Породы средней юры имеют мощность от нескольких до 70 м, представлены глинами с прослоями песков,

Рис.18. Важнейшие структуры второго порядка Припятской впадины (Лукашев, Махнач, 1966)

мергелей и бурых углей. Мощность пород верхнего отдела достигает 100 м, в составе их в подошве господствуют глинистые с прослоями мергелей, в кровле — известняки с прослоями мергелей и глин. В нижнемеловое время территория впадины представляла собой преимущественно сушу, в верхнемеловое — временами мелкое море.

В Припятской впадине, особенно в ее южной части, развиты меловые отложения. Породы верхнего отдела имеют небольшую мощность (до 100 м) и сложены песчано-глинистыми отложениями; представлены глауконитовыми песками, нередко с фосфоритами, мелами и меловым мергелем. Литологические комплексы и фации отложений указывают на господствующие в меловое время морские условия осадконакопления.

Повсеместным распространением характеризуются палеогеновые породы. Они представлены в основном мелководными кварцево-глауконитовыми песками с прослоями глин, часто алевритовых и песчаных с желваками фосфоритов. Неогеновые отложения — белые и светло-серые кварцевые пески, пестрые глины с прослоями бурых углей — распространены здесь не повсеместно. В это время на территории впадины господствовали континентальные условия, а накопление осадков происходило в реках, озерах и болотах. Климат был теплым и влажным, господствовала субтропическая растительность.

Из четвертичных отложений распространены ледниковые и водно-ледниковые комплексы гинцского, миндельского и рисского оледенений, флювиальные отложения вюрмского оледенения, распространявшегося только на северную часть территории Белоруссии.

Рис.19. Основные локальные структуры Припятской впадины (Лукашев, Махнач, 1966):

1 — Западно-Валавская; 2 — Валавская; 3 — Ельский вал; 4 — Стреличевская; 5 — Буда-повичская; 6 — Анисимовская; 7_1 — Заозерная; 7_2 — Восточно-Заозерная; 8 — Кустовницкая; 9 — Наровлянская; 10 — Хойникская; 11 — Сколодинская; 12 — Кормянская; 13 — Мозырская; 14 — Автюковская; 15 — Великоборская; 16 — Петриковская; 17 — Шестовичская; 18 — Скрыгаловская; 19 — Прудковская; 20 — Копцевичская; 21 — Конковичская; 22 — Птичская; 23 — Суховичская; 24 — Дудичская; 25 — Хобнинская; 26 — Залесская; 27 — Копаткевичская; 28_1 — Гороховская; 28_2 — Восточно-Гороховская (Южно-Домановичская); 29 — Комаровичская; 30 — Северо-Копаткевичская; 31 — Малопушинская; 32 — Червонослободская; 33 — Домановичская; 34 — Кореневская; 35 — Осташковичская; 36_1 — Тишковская; 36_2 — Речицкая; 37 — Малыкская; 38 — Моисеевская; 39 — Черинская; 40 — Кормянская; 41 — Вишанская; 42 — Давыдовская; 43 — Первомайская; 44 — Спицовская; 45 — Брагинская; 46 — Лоевская; 47 — Выступовичская; 48 — Восточно-Выступовичская; 49 — Ново-Рудненская; 50 — Казимировская; 51 — Гулевичская; 52 — Южно-Копаткевичская; 53 — Обуховская (Восточно-Наровлянская); 54 — Вышемировская; 55 — Тульговичская; 56 — Бобрикская; 57 — Меховшинская

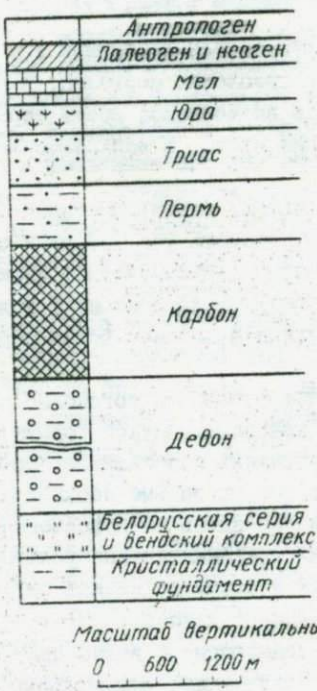


Рис.20. Разрез осадочной толщи Припятской впадины (Лукашев, Махнач, 1966)

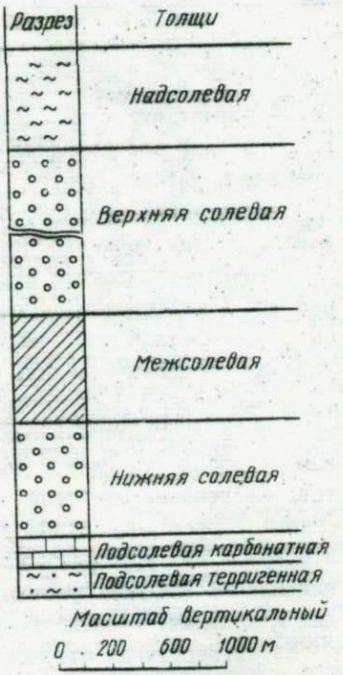


Рис.21. Разрез девона Припятской впадины (Лукашев, Махнач, 1966)

3. Брестская впадина

Кристаллический фундамент впадины находится на глубине 1200–2000 м (рис.22). Северная граница совпадает с субширотным разломом небольшой амплитуды (около 300 м), отделяющим впадину от Белорусского кристаллического массива. Восточная граница смыкается с Полесской седловиной. Впадина изучена пока в меньшей мере, чем Припятская.

В осадочной толще заметно представлены отложения верхнего протерозоя (вендский комплекс), кембрия, ордовика, силура, юры, мела, палеогена, неогена и антропогена. Отложения карбона, перми и триаса вскрыты в отдельных пунктах, девонские отложения отсутствуют.

Заложение Брестской впадины произошло в раннем кембрии. Для девона характерен длительный перерыв в осадконакоплении, что связано с каледонскими поднятиями территории. В верхнепермское и нижнетриасовое время здесь происходит накопление незначительных по мощности отложений, которые подверглись размыву и сносу в предъюрское и позднеюрское время. Последующее затем погружение территории способствовало накоплению более молодых отложений.

В верхнепротерозойское время литосфера территории рассматриваемой впадины формировалась в морской мелководной среде с пониженной соленостью. Активно протекала вулканическая деятельность. Среда осадконакопления была окислительно-восстановительной. Для кембрия характерны морские глины: для нижнего — более глубоководные, для среднего — мелководные. Накапливались песчаные и глинистые отложения. Вверх по разрезу роль песчаных увеличивалась, а глинистых снижалась, окраска пород также изменялась от темно-серой и серой до зеленовато-серой и белой. Для отложений ордовика характерными становятся известняки, доломиты и глауконитовые песчаники. В них содержится больше органического вещества, чем в предшествующих отложениях. Мергелями, известняками, глинами сложены силурийские отложения впадины. В составе карбонатов преобладает CaO, но заметно также наличие MgO; они богаты органическим веществом. В пермских отложениях также господствуют известняки, мергели и глины, переходящие вверх по разрезу в пестроцветные малокарбонатные глины. Для юрских отложений характерны песчаники и известняки, меловых — кварцево-глауконитовые пески, мел и мергели. Песчаными отложениями выполнены литологические комплексы палеогена и неогена. Неогеновые осадки перекрывают четвертичные отложения мощностью 20—150 м, представленные продуктами ледниковых, водно-ледниковых и аллювиальных процессов.

На основании данных по органике, битумному веществу, восстановительной емкости, содержанию серы, хлора и других компонентов геологи пока не пришли к твердому убеждению о наличии нефти и газа в Брестской впадине. Только некоторые отложения верхнего и среднего кембрия, ордовика, силура могут быть нефтегазоносными. Скопления нефти встречаются в отдельных экранированных (стратиграфических и тектонических) ловушках (Лукашев и др., 1969).

4. Оршанская впадина

Впадина расположена в восточной части республики и захоцит в Смоленскую и Новгородскую области (рис.23). Кристаллический фундамент впадины залегает на глубине 1000—1500 м. Осадочная толща состоит из отложений

верхнего протерозоя венедского, девонского и частично юрского, мелового и палеогенового периодов. Повсеместно распространены четвертичные отложения.

Наибольшее погружение фундамента впадины–свыше 1400м. Впадина разделяется грабеном на северную и южную части. Заложение ее произошло в нижнем докембрии, а погружение — к концу верхнего докембрия. В кембрии впадина подвергалась поднятию и размыву, но в среднем и верхнем девоне произошло погружение территории и накопление в ней морских песков, глин, доломитов, мергелей, известняков; в девонской толще фиксируется наличие гипсов и ан-

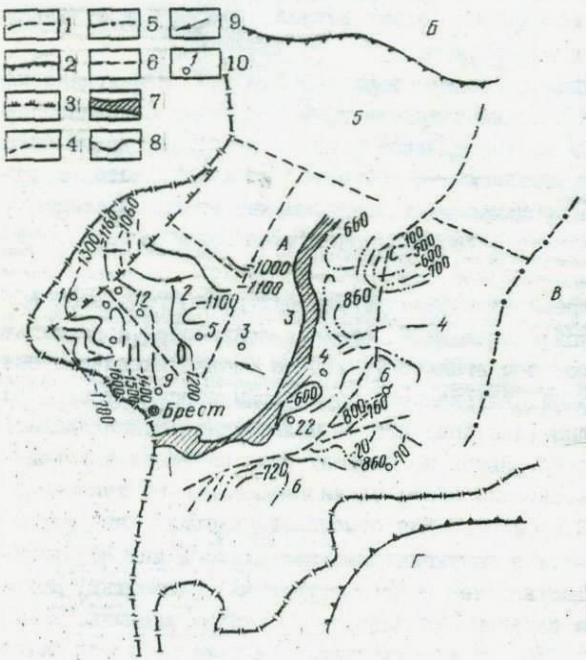


Рис.22. Схема тектонического строения Брестской впадины (Лукашев и др., 1969):

А — Брестская впадина; Б — Белорусский кристаллический массив; В — Полесская седловина; Г — Ратновский выступ фундамента;
блоки: 1 — Высоковский; 2 — Каменецкий; 3 — Кобринский; 4 — Антопольский; 5 — Порозовский; 6 — Дивинский.

Условные обозначения: 1 — государственная граница БССР; 2 — линии региональных разрывных нарушений; 3 — *линии дизъюнктивных нарушений*, установленные сейсморазведкой; 4 — линии разрывных нарушений, установленные электроразведкой; 5 — граница между Брестской впадиной и Полесской седловиной; 6 — линии предполагаемых дизъюнктивных нарушений; 7 — *зона неинтерпретируемых данных* электроразведки; 8 — изогипсы по верхности фундамента; 10 — колонковые скважины

гидритов, что свидетельствует о повышенной солености.

Из мезозойских отложений в строении впадины участвуют верхнеюрские, нижние и верхние меловые. Для первых характерно наличие известковистых алевролитов и глин, для вторых — мела, кварцевых и кварцево-глауконитовых песков и мергельно-меловых пород. В течение рассматриваемого периода господствовала морская среда развития и эволюции биосферы впадины. Накапливались карбонатные и глинистые осадки в бассейнах с нормальной и повышенной соленостью, на что указывают отложения гипса и ангидрита. Континентальное развитие было характерно для отдельных эпох палеозоя, мезозоя и кайнозоя.

Наиболее потенциальными для нефтеобразования являются карбонатные и глинисто-карбонатные породы верхнего девона впадины. Битумное вещество задонско-елецких и верхнедубровских отложений сходно с битумами таких отложений Припятской впадины.

5. Геохимические аномалии, связанные с глубинными породами

Из сказанного видно, что историко-геологические процессы, сложно протекавшие в разных частях земной коры и биосферы белорусского региона в

дочетвертичное время, сопровождались образованием рудных и нерудных геохимических аномалий и месторождений полезных ископаемых. На геологической карте (см.рис.2) они представлены залежами каменных и калийных солей, нефти, сланцев, бурых и каменных углей, железных руд, цветных и редких металлов, фосфоритов, глинистых пород и др. (Лукашев, Махнач, 1966; Лукашев, Красовский, Богомолов, 1969; Лукашев, Красовский, 1970; Леонович, 1972; Асташкин, 1970).

Геохимические аномалии и месторождения биолитов. К настоящему времени в Припятской впадине открыты нефтяные месторождения — Речицкое, Осташкович -

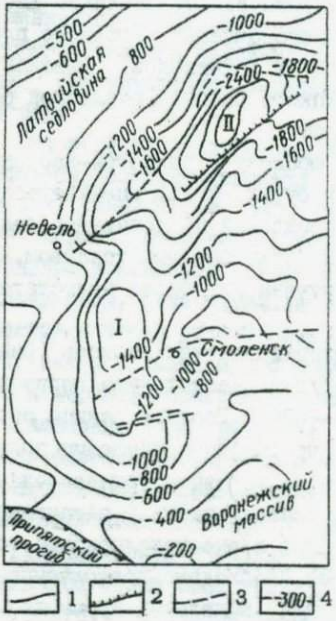


Рис.23. Схема тектонического строения Оршанской впадины по поверхности фундамента (составлена Геологическим управлением Центральных районов):

I — Оршанская впадина; II — Валдайский прогиб; 1 — линии региональных разрывных нарушений большой амплитуды; 2 — дизъюнктивные нарушения в кристаллическом фундаменте большой амплитуды; 3 — дизъюнктивные нарушения в кристаллическом фундаменте небольшой амплитуды; 4 — изогипсы поверхности кристаллического фундамента

ское, Южно-Осташковичское, Вишанское, Давыдовское, Тишковское, Надвинское, Золотухинское, Барсуковское, Моршовичское, Степовское, Восточно-Первомайское и др. Часть из них уже находится в промышленной эксплуатации, другие детально разведываются. Месторождения формировались в сложных тектонических и палеогеографических условиях пликативно-блоковой и блоково-пликативной тектоники (Айзберг, Гарецкий, Конищев, 1974). Структурные нефтегазовые ловушки связаны главным образом с зонами приразломных поднятий с опущенными по разломам краями, а также рифовыми и рифоподобными структурами.

В работе А.В.Кудельского и К.И.Лукашева (1974) характеризуется Припятская впадина как типичный рифтоген, наиболее активные фазы в развитии которого совпадают со средне- и верхнедевонскими этапами осадконакопления. Для ее геофизического режима свойственны флуктуации пластовых температур в очень широких пределах — от нормальных до надкритических. В таких термобарических условиях происходили образование и миграция нефти, ее концентрация в опущенных и высокоподнятых блоках и ловушках.

Все это обусловливает большие трудности в поисках залежей нефти в Припятском прогибе, в подсчете прогнозных и действительных запасов.

Важнейшей задачей является расширение поисков и разведки новых месторождений нефти в Припятской впадине, а также в Брестской и Оршанской. С добычей нефти связано использование попутного газа, поэтому по мере увеличения добычи нефти возрастают и ресурсы попутного газа. Собственно газовые месторождения в республике не открыты, но вероятность их открытий не исключается.

Поисками и разведкой последних лет на юге Белоруссии выявлены провинции и месторождения бурого и каменного углей. Промышленное значение имеют Житковичское, Брипевское, Кобринское и другие месторождения. Угольные пласты обнаружены в виде отдельных углепересечений в Хойникской, Ельской и Заозерной площадях, на Боровском участке Лельчицкого района Гомельской области, на Краснослободской площади Минской области.

Генетически угли приурочены к карбоновому, юрскому и палеоген-неогеновому возрасту. Генетические прогнозные запасы бурых углей оцениваются в несколько миллиардов тонн. Разработка их месторождений представляет большой экономический интерес для обеспечения республики бытовым топливом. Каменные угли карбонового и юрского возрастов изучены еще более недостаточно.

В Припятской впадине выявлены крупные провинции горючих сланцев (районы Давид-Городка, Турова, Любани и др.), залегающих несколькими горизонтами мощностью до 3 м и более на глубинах 140—430 м. Горючие сланцы образуют сравнительно крупный сланцевый бассейн с прогнозными запасами полезного ископаемого более 11 млрд. т. В пересчете на условное топливо сланцевый бассейн Белоруссии не уступает прогнозным запасам нефти в республике. Поэтому в перспективе добыча и переработка сланца в высококалорийное топливо представляет большой экономический интерес. Необходимо продолжение глубоких геолого-поисковых и разведочных работ для выявления промышленных запасов горючих сланцев с целью разработки месторождений.

Кроме Припятской впадины месторождения горючих сланцев могут быть выявлены также и в пределах Оршанской впадины.

Рудные геохимические аномалии и месторождения. Они связаны с интрузивно-эффузивными и метаморфическими комплексами кислых, основных и ультраосновных пород. В этих породах широко встречаются магнетит, ильменит, пирротин, халькопирит, пентландит, галенит, сфалерит. Для многих случаев характерна сульфидная минерализация полиметаллов — меди, свинца, цинка и других элементов. Уже в настоящее время в недрах кристаллического массива выявлено несколько месторождений железных руд, приуроченных к докембрийским породам фундамента. Наиболее перспективны на железо месторождения шунчинского и кореличского регионов.

Геохимические аномалии и месторождения кор выветривания. Изучены (Махнач, Левых, 1978) предрифейские, нижне- и среднерифейские коры выветривания, развитые на кислых и основных магматических породах; предвендские и вендские основные коры выветривания, развитые на ультраосновных породах и на основных метаморфических породах; мезозойские коры выветривания, развитые на гранитах и гнейсах, на основных магматических и метаморфических породах; предкайнозойские коры выветривания, развитые на гранитах и на уль-

траосновных породах. С корами выветривания кристаллического фундамента связаны месторождения железных руд, каолинов, проявления бокситоносности, повышенные содержания ряда редких и рассеянных элементов (титан, цирконий, ниобий, ванадий, кобальт, галлий, иттрий и др.).

Соленосные геохимические аномалии и месторождения. Каменные соли с огромными промышленными запасами выявлены в Старобинском, Мозырском, Давидовском регионах. Геологические запасы каменной соли в республике практически не ограничены (Лукашев, Махнач, 1966; Асташкин, 1970).

Выявлены и изучены также три крупных региона (провинции) месторождений калийных солей: Старобинский, Петриковский и Любанский. Перспективными для открытий залежей калийных солей могут быть другие регионы Припятской впадины (Шатилковская депрессия, Заозерская, Дудинская, Туровская и другие площади).

Как отмечалось выше, морские условия осадкообразования и геохимические процессы, сопровождавшиеся химической садкой из солевых растворов, были весьма характерны для значительной части периодов развития земной коры, особенно девона. В этих условиях формировались мощные толщи калийных и каменных солей с типоморфными для них минералами и галитом, сильвинитом, реже кариаллитом. В разрезе солевая толща состоит из слоев, пластов и пачек разной мощности с участием известняков, доломитов, мергелей, глин, органического вещества. Калийные соли приурочены главным образом к верхней соленосной толще девонского возраста.

Выявление новых регионов с крупными месторождениями калийных солей, а также залежей фосфоритов и карбонатных пород для производства удобрений и промышленного использования предоставляет для геологов Белоруссии одну из важнейших задач поисков и разведок полезных ископаемых.

Геохимические аномалии и месторождения песчано-глинистых отложений. В осадочной толще Белоруссии песчано-глинистые породы занимают господствующее место. Они весьма разнообразны по составу, способу переноса и отложения материалов. Среди песчано-глинистых пород — отложения древних морских бассейнов, побережий, дельт, озерных котловин, древних речных русел, пойм и террас[x].

В песчано-глинистых отложениях выявлены месторождения огнеупорных, тугоплавких и отбеливающих глин, стекольных и формовочных песков, гравийных материалов, широко используемых в производстве стекла, керамики, цемента, кирпича, канализационных труб и других изделий.

В Белоруссии возможны открытия россыпных полезных ископаемых (титана, циркония, олова и др.), связанных с древними отложениями русел рек, дельт и прибрежных морских зон. Поисковые работы в этом направлении систематически пока не проводились в республике.

---

[x] Характеристика глинистых пород дана авторами в сб. "Материалы IX пленума Всесоюзной комиссии по изучению и использованию глин", вып. I , 1971 г.

6. Геологические и литологические особенности четвертичного покрова Белоруссии

На основании комплексного изучения четвертичных отложений Белоруссии можно назвать следующие особенности их строения, распространения на территории, генетические и геохимические типы, отражающие палеогеографические условия антропогена.

Выделяется 4-6 комплексов ледниковых отложений в северной и центральной областях и 2-3 — в южной части республики (Горецкий, 1967, 1974; Лукашев, Вознячук, 1968, 1969). Установлено неоднократное чередование в разрезе толщи ледниковых и межледниковых комплексов, состоящих из моренных, флювиогляциальных, озерных, озерно-болотных и других отложений разнообразного состава, строения и условий залегания. Наименьшую мощность (10-40 м) четвертичные отложения имеют в Белорусском Полесье; на Минской, Ошмянской и Новогрудской возвышенностях мощность отложений достигает 350 м. Здесь же прослеживается 3-4 региональных горизонта морен и 2-3 — межморенных отложений.

Ледниковые комплексы Белоруссии сформировались в результате смешивания в разных пропорциях материала, захваченного из двух питающих петрографических провинций: Балтийского щита, сложенного изверженными и метаморфическими породами, и северо-западной части Русской платформы — областей развития осадочных отложений. Наблюдается, что с уменьшением возраста морен происходит общее уменьшение содержания в них крупнообломочного материала (отторженцев), возрастает степень переработки пород и минералов, увеличивается содержание кварца и тяжелых минералов и уменьшается количество полевых шпатов, амфиболов, пироксенов и других малоустойчивых к выветриванию минералов. Хорошо проявляются пространственные закономерности в литологическом составе покровных отложений: с северо-запада на юго-восток в моренных отложениях всех возрастов уменьшается количество полевых шпатов, амфиболов, пироксенов, слюд и увеличивается содержание кварца. В теснейшей связи с ними находятся содержания кремния, алюминия, кальция, магния, титана, циркония, ванадия, хрома, никеля и других элементов.

Литологический состав флювиогляциальных отложений характеризуется ясно выраженной дифференциацией материала в дистальном направлении: в северной части Белоруссии господствуют неоднородные в гранулометрическом отношении отложения песчано-гравийно-галечного состава, в южных районах преобладают мелкие песчано-алевритовые фракции. Характерной чертой отложений является низкое содержание тонкодисперсных фракций. В минеральном составе песчано-алевритовых фракций преобладает кварц, в подчиненном количестве находятся полевые шпаты; в тяжелых фракциях основными минералами являются ильменит, гранаты, роговая обманка, эпидот, циркон и метаморфические минералы с преобладанием ставролита; тонкодисперсная часть представлена в основном гидрослюдой.

Литологический состав речных отложений определяется не только литологией размываемых моренных, лессовых, песчаных пород, но и степенью неоднородности переработки песчаного материала водными потоками, особенностями развития гидросети и сноса. Речной снос вещества с северной минералогической провинции и провинции Украинского кристаллического щита обусловливает различия в содержании и соотношении полевых шпатов, слюд, рутила, цир-

кона, топаза и т.д. и микроэлементов — никеля, хрома, титана, бария, ванадия, кобальта.

Состав озерных отложений зависит от особенностей территории сноса материала в озерные котловины. В целом осадки озерных котловин южной части БССР характеризуются большей опесчаненностью по сравнению с северными и другими районами.

Отмечаемые различия в минеральном составе эоловых отложений (в северных районах больше полевых шпатов, слюд, карбонатов и меньше кварца, чем в южных), проявляющиеся в соответствующих изменениях содержания макро- и микроэлементов, связаны с характером исходных пород (озерных песков и супесей на севере и аллювиальных песков на юге).

При анализе минералогического состава отложений различных генетических типов выявляется ряд особенностей. Наиболее высокое содержание полевых шпатов отмечается в моренных отложениях; в ряду от моренных к эоловым оно уменьшается. Максимальное количество роговой обманки обнаружено в моренах, ильменита — в аллювиальных и граната — в эоловых осадках (фракция 0,25-0,10 мм). Количество и соотношение акцессориев в отложениях разных генетических типов Полесья с определенной долей вероятности свидетельствуют о том, что одним из важных источников формирования здесь песчано-алевритового чехла были моренные отложения преимущественно рисского оледенения. На состав аллювиальных отложений Припяти значительное влияние оказало смешивание принесенного ее притоками материала с местным, вскрываемым рекой в процессе углубления. При этом правые притоки, стекающие с Украинского щита и транспортирующие материал другой минералогической провинции, также оказали некоторое влияние на состав акцессориев.

Геохимические особенности литогенеза в разрезе четвертичной толщи на примере моренных отложений детально охарактеризованы В.К.Лукашевым (1970), отмечающим максимальные значения коэффициента Fe_2O/Fe_2O_3 для рисской морены днепровской стадии (что связано с более холодными климатическими условиями), резкие изменения величин Fe_2O/Fe_2O_3 на границе гюнц-миндель; черты наследственности составов, отмечаемые в величинах отношений Ti:Zr в гюнцской и миндельской моренах, закономерности ритмичности в поведении отношения Mn:Ni, связанных с ритмичностью ледниковых и педохимических процессов, направленность увеличений отношения Ti:Zr от гюнца и днепровской морены и т.д.

В то же время геохимические особенности геологических процессов в период антропогена проявились на вещественном составе аллювия Поднепровья следующим образом. На протяжении антропогена отмечается тенденция к снижению концентраций V, Zr, Cr, Ti с некоторым возрастанием Mn, Ti, Cr, Zr при переходе от верхнечетвертичного к голоценовому аллювию. По величинам коэффициентов вариаций выделяются нижнечетвертичные отложения с максимумами Ti, Cr, Ni, Zr, современные осадки с наибольшими величинами Mn и среднечетвертичные с минимальными величинами V и Zr; проявляются различия в концентрациях микроэлементов для речных осадков, теплых и перигляциальных обстановок, а также прямой порядок химической дифференциации аллювия в Поднепровье и обратный — для бассейна Припяти (Кузнецов, 1973).

Необходимы дальнейшие геохимические исследования эволюции состава четвертичной толщи, особенно ее низов, которые могут представить интерес для поисков глубинных месторождений.

7. Литогеохимические особенности отдельных генетических комплексов отложений

На основе 900 гранулометрических, 700 химических анализов сравнивались с моренными средние показатели гранулометрического и химического составов лессовидных, аллювиальных и озерно-ледниковых отложений Белоруссии. Выявились следующие сходства и различия между ними (табл.6, рис.24).

Средний размер слагающих частиц лессовидных пород (медианный диаметр Md) равняется 0,019 мм и одинаков по величине с таковым у моренных суглинков. По величине нижней квартили (Q_1), равной 0,037 мм, лессовидные отложения близки к аллювиальным глинам (Q_1=0,040 мм). Для глин в целом нижняя квартиль также равна 0,037 мм. Величина верхней квартили (Q_3), равная 0,010 мм, сближает лессовидные породы с супесями (0,008) и особенно с моренными глинами (0,010 мм). Величина коэффициента сортировки у лессовидных отложений составляет 1,92, моренных глин — 4,45, озерно-ледниковых суглинков — 2,99. Сравнение средних содержаний отдельных размерных фракций показывает, что по содержанию фракций 1—0,5 , 0,5—0,25 и 0,25—0,05 мм лессовидные породы наиболее близки к озерно-ледниковым осадкам, а во фракции 0,05-0,01 мм они почти в 2 раза отличаются от всех других пород. Содержание фракции 0,01—0,005 мм сближает лессовидные отложения с аллювиальными супесями (10,06 и 11,12%), а по среднему содержанию фракции <0,005 мм они занимают промежуточное положение между аллювиальными и озерно-ледниковыми супесями.

Сравнение химического состава лессовидных пород с глинами и суглинками показало, что лессовидные породы отличаются от последних высоким содержанием SiO_2 (79,27%) при более низком содержании R_2O_3, особенно Fe_2O_3, а также меньшими величинами средних квадратических отклонений содержания всех компонентов. Почти такие же содержания SiO_2 (78,94%) характерны для моренных супесей. Однако от последних лессовидные породы отличаются в 2 раза меньшим коэффициентом вариации (5,73 и 10,81%)[x]. Это следует, вероятно, объяснить тем, что лессовидные породы являются довольно хорошо отсортированными осадками, образованными при дифференциации материала моренных и флювиогляциальных отложений.

По содержанию Al_2O_3 (9,09%) лессовидные породы занимают промежуточное положение между моренными и аллювиальными супесями, а по коэффициенту вариации они ближе к последним. Лессовидные породы характеризуются довольно высоким значением отношения SiO_2/Al_2O_3 (8,72) и также занимают по этому показателю промежуточное положение между моренными (9,21) и аллювиальными (7,97) супесями. При довольно большой величине коэффициента вариации (Cv = 40%) содержание Al_2O_3 в лессовидных породах в 2-3 раза ниже, чем в других.

Интересны данные о содержании CaO и MgO. Среднее содержание CaO в лессовидных породах составляет 2,27%. Близки к ним озерно-ледниковые супеси (2,19%). По коэффициенту вариации последние (Cv =91,68%) приближаются к озерно-ледниковым суглинкам (98,79%). Среднее содержание MgO в лессовидных

---

[x] Коэффициент вариации $Cv = 100\% \cdot \frac{\sigma \text{ (среднее квадр.откл.)}}{\bar{x} \text{ (среднее арифмет.)}}$.

Таблица 6

Сравнительная характеристика четвертичных отложений Белоруссии, %

Гранулометрическая и химическая характеристики	Моренные отложения			Аллювиальные отложения			Озерно-ледниковые отложения			Лессовые отложения
	супеси	суглинки	глины	супеси	суглинки	глины	супеси	суглинки	глины	
Гранулометрический состав										
Медианный диаметр, мм (M_d)	0,050	0,0I9	0,009	0,028	0,0I7	0,009	0,0I6	0,I3	0,008	0,0I9
Первая квартиль, мм (Q_1)	0,I7I	0,I0	0,046	0,I07	0,076	0,040	0,063	0,050	0,029	0,037
Третья квартиль, мм (Q_3)	0,0I0	0,0056	0,0023	0,0086	0,0056	0,002I	0,0069	0,0056	0,0027	0,0I0
Половинный квартильный размах, мм (Q)	0,080	0,047	0,022	0,049	0,035	0,0I9	0,028	0,022	0,0I3	0,0I4
Коэффициент сортировки (S_0)	4,I4	4,3I	4,45	3,54	3,68	4,33	3,02	2,99	3,28	I,92
Химический состав										
Среднее содержание (первая цифра) и коэффициент вариации (вторая цифра) SiO_2	78,94	67,27	62,55	76,65	73,45	67,40	7I,I5	67,33	56,78	79,27
	I0,8I	I3,88	I4,26	9,34	I0,37	I6,47	I8,27	I3,66	I4,62	5,73
Al_2O_3	8,57	II,3I	I3,08	9,62	II,I2	I2,64	I0,57	I2,6I	I4,68	9,09
	I0,I5	30,42	27,29	33,68	28,87	27,55	3I,38	35,05	29,77	30,03
Fe_2O_3	3,99	4,96	5,49	5,37	4,58	4,82	4,87	4,65	6,08	2,70
	35,59	38,I0	24,4I	79,I3	53,7I	38,80	44,76	39,57	32,89	40,00
CaO	I,96	5,I0	6,0I	I,9I	2,43	4,39	2,I9	4,35	7,I4	2,27
	I45,4I	72,I6	64,89	II7,28	II8,II	96,53	I47,03	94,79	53,78	9I,63
MgO	I,I2	I,96	2,33	0,96	I,29	I,70	I,88	2,30	2,9I	I,08
	87,50	52,04	46,79	8I,25	70,54	65,88	78,I9	98,26	37,80	63,89
SiO_2/Al_2O_3	9,2I	6,95	4,78	7,97	6,60	5,33	6,72	5,34	3,87	8,72
CaO/MgO	I,75	2,60	2,58	I,99	I,88	2,58	I,I6	I,89	2,45	2,I0

породах составляет I,08%, в моренных супесях — I,I2% и в целом в супесях — I,I7%. Средняя величина отношения CaO/MgO для лессовидных пород равна 2,I0, приблизительно как и для суглинков БССР в целом (2,I6). Близость величин отношений в этих образованиях может свидетельствовать о том, что

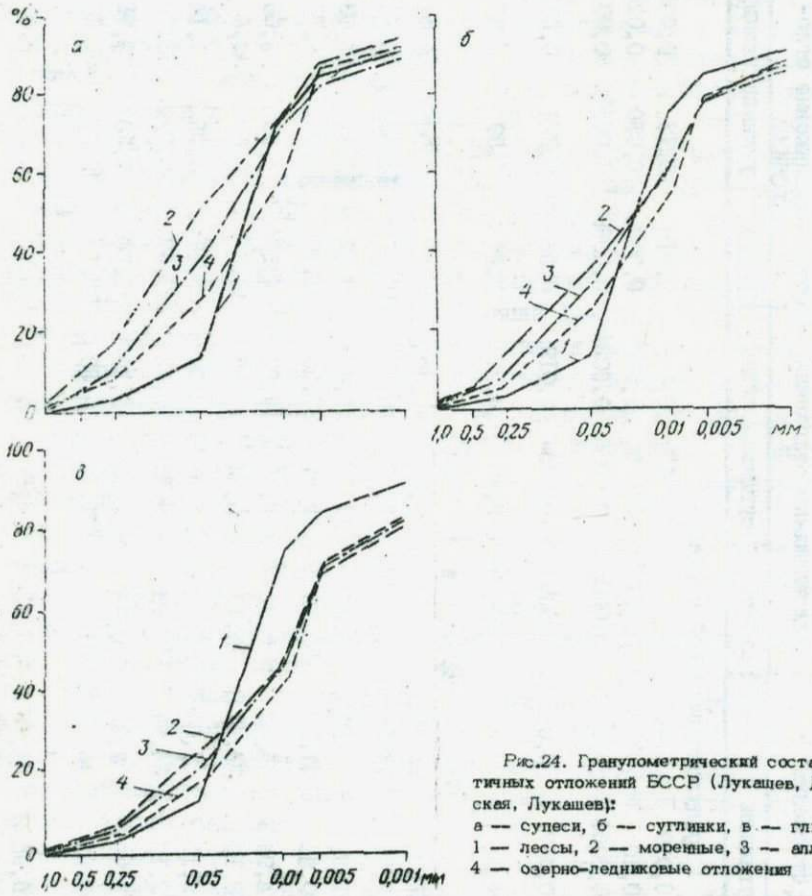


Рис.24. Гранулометрический состав четвертичных отложений БССР (Лукашев, Добровольская, Лукашев):
а — супеси, б — суглинки, в — глины;
1 — лессы, 2 — моренные, 3 — аллювиальные, 4 — озерно-ледниковые отложения

накопление CaO и MgO в указанных образованиях связано с присутствием их в исходном материале, а не с привносом извне, либо с диагенетическими процессами.

Установлено, что миндельская морена отличается от гюнцской и рисской более низким значением SiO_2/Al_2O_3 (табл.7). На границе гюнц–миндель имела место смена окислительно-восстановительных условий. На это указывают колебания значений FeO/Fe_2O_3. Вверх по разрезу увеличивается отношение K_2O/Na_2O, что в значительной степени связано с содержанием гидрослюды. Наибольшее значение коэффициента выщелачивания ($K_в$) наблюдается в рисской морене. Это позволяет предположить условия более засушливого и сурового климата в эти периоды. Изучение особенностей распределения элементов, соединения которых типичны для теплых эпох (например, кальций и железо в

Таблица 7

Химический состав валовых образцов разновозрастных морен БССР, %

Возраст (моренный комплекс)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	п.п.п.
Гинц (варяжский)	79,24	7,30	I,59	0,85	2,88	I,30	0,46	2,08	4,20
Миндель (березинский)	73,63	8,97	2,08	0,4I	4,92	2,0I	0,48	2,33	6,40
Рисс (днепровский)	77,56	6,70	2,0	0,48	4,5I	2,00	0,40	2,35	4,0I
Рисс (московский)	79,0	8,52	2,27	0,60	2,97	I,38	0,4I	2,32	3,6I

ряду морена—озерно-ледниковые отложения) показывает, в частности, что в миндельских межстадиальных глинах озерно-ледникового генезиса наблюдается накопление этих элементов по сравнению с моренами, в то время как в рисских межстадиальных озерно-ледниковых глинах этого явления не обнаружено. Это может свидетельствовать о разной палеогеографической обстановке указанных оледенений. Исследования отложений моренного литогенеза в Белоруссии позволили установить, что наряду с механическими процессами захвата и перемещения материала ледниками в формировании морен важную роль играли процессы гипергенного преобразования.

Сопоставление вещественного состава отложений различных генетических типов позволяет лучше осветить геохимическую сущность геологических процессов в ландшафтах Белоруссии. Так, аллювиальные процессы ведут в целом к формированию кор выветривания и ландшафтов, обогащенных кремнием и обедненных алюминием, железом, щелочными и щелочноземельными элементами. В то же время геохимические циклы поведения элементов в аллювиальном литогенезе на протяжении антропогена носят сложный характер, отражая прямые и опосредованные взаимосвязи составов пород различного генезиса (Кузнецов, 1973).

8. Отражение геохимических процессов в специфике ландшафтно-геохимических провинций

Интересно рассмотрение этих вопросов в двух важных аспектах: с точки зрения изучения влияния глубинных процессов и геологических структур на вещественный состав покровных образований; с учетом зональных и региональных закономерностей образования литогеохимических и ландшафтно-геохимических провинций.

Вследствие сложного структурно-геологического и геоморфологического устройства территории республики воздействие пород глубинных структур на покровные образования и их геохимические процессы выветривания носят неоднаковый характер. Это особенно четко проявлялось в раннечетвертичное время, когда ледниковые образования повсеместно перемешивались и перерабатывались с местным материалом. Так, состав ледниковых отложений минделя, рисса связан с составом захватывавшихся меловых пород, известняков девона и палеогеновых песчаников, отторженцы которых распространены в моренных

отложениях. В западной части Белоруссии процессы ледникового выпахивания и размыва и речной эрозии вели к образованию долин в Белорусском кристаллическом массиве, причем состав моренных отложений и венедского аллювия был тесно связан с составом пород массива, а выявленные в них геохимические аномалии имели значения для поисков коренных рудопроявлений в массиве. В дальнейшем эта связь с коренными породами региона ослабла, и в настоящее время проявляется через подтоки глубинных вод либо локальные размывы глубинных пород речной сети.

Подтоки глубинных вод, связанных с меловыми породами, обусловливают развитие карбонатных мергелей в долине Припяти и ее притоков, а с соленосными отложениями девона — засоление отдельных старичных водоемов в долинах Случи и Уборти.

На состав аллювия Западной Двины в районе Витебска и Днепра в районе Орши влияет размыв девонских известняков, а в ряде притоков Днепра — размыв меловых отложений и т.д.

Геохимическая специфика процессов элювиального выветривания гранитов на севере Украинского кристаллического щита связана с концентрированием SiO_2 в I,I, уменьшением Fe_2O_3 в I,2, CaO в I,3, MgO в I,4, K_2O в I,3, Na_2O в I,4 раза по отношению к первоначальному составу неизменных гранитов. В то же время аллювиальное выветривание и литогенез ведут к более резкому изменению продуктов элювиогенеза: уменьшению Na_2O в I7,7 раза, Al_2O_3— в 7,8, CaO—в 6,5, Fe_2O_3—в 6,I; K_2O— в 4,5; TiO_2—в 3,9 раза и увеличению SiO_2 в I,4 раза (Кузнецов, I966).

По данным того же автора, с геохимическими процессами выветривания покровных пород территории Полесья связаны следующие объемы ежегодной речной миграции вещества в виде твердого нерастворенного стока, т: Si — 203635, Al—I52I4, Fe—35760, Ca—47003, Mg—97I26, K+Na—88427, Mn —46I, Ni —59, Co—34, Cu—I75 и т.д.

На территории Полесья, по данным К.И.Лукашева, В.А.Кузнецова, В.К.Лукашева (I964), геохимические процессы в ландшафтах характеризуются следующими особенностями: геохимические обстановки в супераквальных ландшафтах носят мозаичный характер, связанный с особенностями рельефа и уровнем стояния грунтовых вод; на границах заболоченных и повышенных участков отмечаются формирование железорудных аккумуляций и концентраций Al, Mn, Cu, V и Ti; повышенная миграция и перераспределение кальция в элювиальном ландшафте; биогенная аккумуляция углерода и связанных с ним P, Ca, Fe, Mn и других элементов в субаквальных ландшафтах; закономерные изменения общей минерализации, содержаний кальция, магния, $C_{орг.}$, железа и т.д. в речных и грунтовых водах.

Обобщая литологические и геохимические особенности отдельных генетических комплексов покровных пород Белоруссии, можно указать на ряд закономерностей пространственного и ландшафтного характера, отражающих специфику геохимических процессов и образование литогеохимических и ландшафтно-геохимических провинций.

Для моренных, лессовых и аллювиальных отложений по мере перехода от северных к южным областям характерно закономерное увеличение содержания кремнезема и уменьшение количества окислов алюминия, кальция, магния, железа (исключая железо в аллювиальных осадках Полесья). Концентрации окислов на-

трия и калия уменьшаются с севера на юг только у аллювиальных осадков, для лессовых и моренных отложений они имеют близкие величины.

Для содержания титана, хрома, ванадия, меди, марганца закономерно увеличение с севера на юг у моренных отложений и уменьшение у аллювиальных. Для лессовых пород обнаруживается общая тенденция к снижению содержания марганца, хрома, меди (содержание титана и никеля одинаковое). Это связано с тем, что по мере перехода к югу среди моренных отложений начинают преобладать более древние аккумуляции, а у аллювиальных увеличивается общая перемытость и переотложение материала и, кроме того, усиливается тенденция его формирования за счет песчаных осадков. К сожалению, мы не имеем достаточно полных данных для суждения об изменении концентраций микроэлементов с севера на юг в моренных отложениях одного и того же возраста, которое, видимо, имеет в целом сходные черты с распределением микроэлементов в аллювии.

Распределение элементов по районам в болотных и озерных органогенных осадках имеет сложный характер. В Полесье по сравнению с Поозерьем обнаруживается уменьшение содержания окислов железа, алюминия, кальция, магния, натрия и калия, так как формирование покровных пород в северных и южных районах республики происходило в неодинаковых условиях. В Полесье оно связано с пострисскими процессами и характеризовалось перемывом пород водными потоками, на севере — с поствюрмскими процессами с относительно слабым перемывом осадочного материала.

Для северных районов по сравнению с южными характерно увеличение значений кремне-алюминиевого и уменьшение алюминие-кремниевого коэффициента в моренных, озерно-ледниковых, лессовых и аллювиальных отложениях, что определяет в целом общую тенденцию к уменьшению глинистости и возрастанию опесчаненности осадков к югу, обусловленную влиянием перемыва, переноса материала и выноса тонкозернистого вещества. Для озерных отложений эти закономерности менее характерны, так как распределение в них элементов связано с локальными условиями накопления и внутренними лимнологическими особенностями отдельных водоемов.

На основании вышеизложенного в пределах республики выделены 3 литогеохимические провинции: северная, центральная и южная, отражающие геологическое строение территории, основные черты дифференциации материала в процессе переноса, особенности выветривания в различные периоды и современные геохимические процессы. В пределах провинций выделяются районы, которые имеют свои особенности (рис. 25, табл. 8, 9).

Северная провинция занимает области последнего вюрмского оледенения (Поозерье и прилегающие районы). Здесь преимущественно развиты ледниковые и озерно-ледниковые аккумуляции, относительно слабо проявлена изменчивость пород от выветривания и эрозии, широко развито современное озерное осадконакопление и углубляющая эрозия рельефа. Провинция выделяется повышенными (по отношению к кларкам элементов в покровных породах БССР) содержаниями глинозема, окислов железа, магния, микроэлементов и пониженным содержанием кремнезема. Территория характеризуется повышенной концентрацией микроэлементов Ti (I,5), Mn (I,55), Cr (I,92), V (I,70), N (I,42). В пределах провинции выделяется Западно-Двинский район, характеризующийся по сравнению со средним содержанием элементов в провинции и покровными поро-

дами БССР в целом максимальными концентрациями глинозема, окислов железа, кальция, магния, микроэлементов и минимальными концентрациями кремнезема.

Центральная провинция приурочена к Белорусской гряде и прилегающим к ней возвышенностям. Состоит преимущественно из моренных и лессовых отложений, находящихся в разнообразных сочетаниях с осадками флювиогляциального, аллювиального, болотного и других генезисов. Процессы выветривания и эрозии здесь характеризуются большим разнообразием, поскольку распространение различных форм рельефа и горных пород носит мозаичный характер. Она занимает промежуточное положение между северной и южной провинциями не только

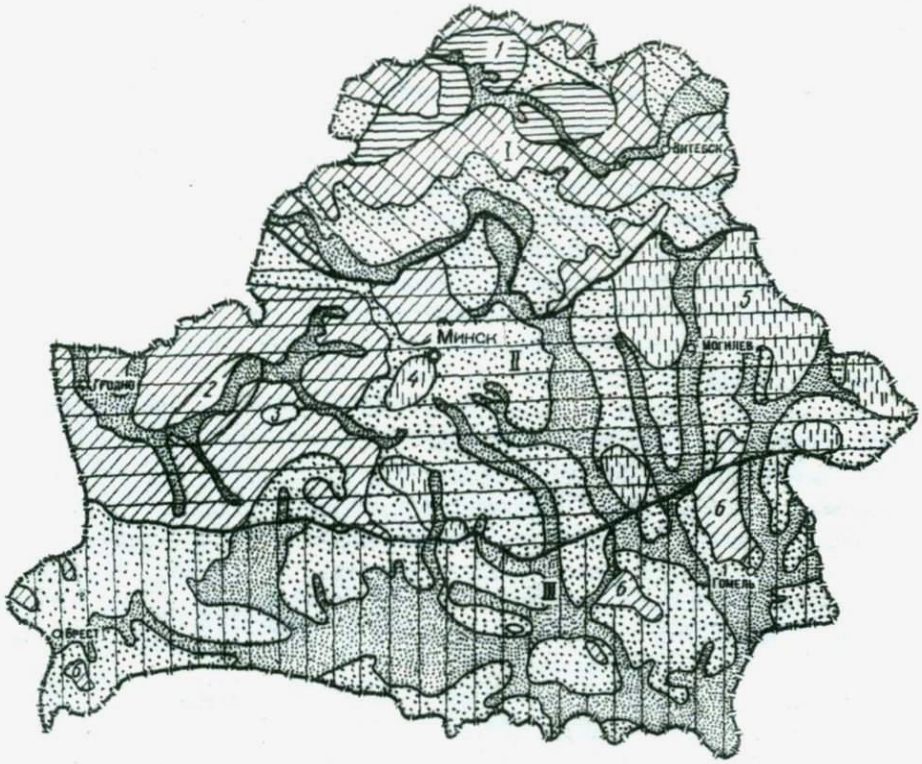


Рис. 25. Литогеохимические провинции покровных отложений территории БССР:

I — северная, II — центральная, III — южная провинции; 1 — Западно-Двинский, 2 — Центрально-Неманский, 3 — Новогрудско-Кореличский, 4 — Минский, 5 — Верхне-Днепровский, 6 — Мозырский районы

территориально, но и по средним концентрациям элементов, близким к среднекларковому составу покровных пород республики в целом.

В пределах провинции выделяется ряд районов с повышенными содержаниями микроэлементов по отношению к данной территории: Центрально-Неманский, где по сравнению со всей провинцией отмечается повышенное содержание марганца, хрома, меди, никеля; Новогрудско-Кореличский, отличающийся накоплением титана и марганца; Верхне-Днепровский, в породах которого концентрируется титан и ванадий и рассеяны хром, никель, медь, а содержание марганца близко к среднему для провинции.

Южная провинция занимает главным образом обширную Полесскую низменность и прилегающие к ней зандровые равнины. Она характеризуется преимущественным развитием песчаных аккумуляций водного генезиса, сильной перемытостью материала, болотными и заболоченными ландшафтами. Покровные породы провинции выделяются пониженными (по сравнению с кларками для покровных пород БССР) содержаниями окислов алюминия, железа, кальция, магния, натрия, калия, марганца, хрома, ванадия, никелл и максимальной концентрацией кремнезема. В пределах провинции выделяются районы моренных и лессовых отложений (Загородье, Мозырская гряда и др.). Здесь накапливаются титан, марганец, хром, ванадий, никель. В целом покровная толща четвертичных пород изученной территории характеризуется по отношению к кларкам земной коры пониженными содержаниями элементов; исключение составляет кремнезем, количество которого иногда (флювиогляциальные отложения) повышается в I,5 раза. Геохимическая специфика Белоруссии по сравнению с комплексом четвертичных пород Русской платформы выражается в несколько повышенном содержании кремнезема (до I,5 раза в лессах) и натрия (до I,9 в аллювии) и более низких количествах остальных элементов.

Таблица 8

Среднее содержание элементов в различных районах БССР, %

Провинция	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	CaO
Северная	78,50	8,59	2,79	I,23	0,7I	I,80	2,35
Центральная	84,93	5,45	I,55	0,80	0,65	I,69	I,36
Южная	94,77	2,9I	0,63	0,3I	0,24	0,48	0,50
Территория в целом	86,80	5,29	I,5I	0,73	0,52	I,29	I,28

Таблица 9

Среднее содержание микроэлементов в различных районах БССР, $n \cdot 10^{-3}$ %

Провинция, район	Ti	Mn	Cr	V	Cu	Ni
Северная провинция	I36,34	25,66	8,7I	3,40	–	I,65
Центральная провинция	II2,50	I7,2I	4,32	I,9I	I,05	I,57
Южная провинция	II5,II	9,86	2,20	I,60	I,60	0,33
Западно-Двинский район	248,73	63,00	26,65	3,98	–	3,2I
Центрально-Неманский район	50,20	20,90	I5,00	I,I0	6,40	4,80
Новогрудско-Кореличский район	306,00	45,00	2,60	–	0,35	0,35
Минский район	I30,00	I6,00	4,00	0,90	0,I5	0,50
Верхне-Днепровский район	I62,50	I5,63	3,06	2,29	0,28	0,3I
Мозырское плато и другие участки моренных отложений	I65,00	2I,00	6,00	5,30	0,96	0,80
Территория в целом	II8,I2	I6,55	4,53	2,00	I,I2	I,I6

9. Геохимические индикаторы концентрации и рассеяния химических элементов в четвертичных отложениях

Изучен комплекс геохимических индикаторов — pH, состав глинистых минералов, карбонатность, железистость, органическое вещество ледниковых и межледниковых отложений, — характеризующих геохимическую среду литогенеза, миграции, концентрации и рассеяния химических элементов в ландшафтах ледниковых, межледниковых и перигляциальных условий гипергенеза и литогенеза (В.К.Лукашев, 1970, 1971 и др.).

pH среды. Из общего количества анализируемых на pH образцов (737 водных и 143 солевые вытяжки) четвертичных и неогеновых отложений 50,9% характеризовались щелочными условиями среды, 19,3 — слабощелочными, 23,6 — слабокислыми и 6,2% — кислыми; бо́льшая часть древнечетвертичных образцов показала слабощелочные или щелочные значения, что связано с высоким содержанием карбонатов. Слабокислые и кислые условия среды характерны для озерных, озерно-аллювиальных и аллювиальных отложений рисс-вюрма, вюрма и голоцена.

Несмотря на весьма разнообразные кислотно-щелочные условия среды осадконакопления и литогенеза, проявляются некоторые возрастные закономерности. В частности, осадки палеогена характеризуются господством слабокислых и кислых условий среды, верхняя часть осадков полтавской серии (плиоцен) — преимущественно слабощелочными, щелочными условиями среды; перигляциальные (доледниковые) антропогеновые — слабощелочными, близкими к нейтральным.

Карбонатность. Решающее значение в четвертичных отложениях имеют карбонаты кальция и магния, в меньшей мере — других элементов. Основная масса карбонатов в четвертичных отложениях *сингенетическая по происхождению*. Она является продуктом разрушения карбонатных пород дочетвертичных систем и накопления их в различных генетических типах. Карбонаты вторичного происхождения также занимают видное место в составе отложений, особенно моренных, озерных и лессовых осадков. Они представлены обычно новообразованиями небольших размеров, иногда присутствуют в породах в рассеянном состоянии.

Проведенные исследования показывают, что содержание $CaCO_3$ в меловых породах в коренном залегании и в отторженцах колеблется от 57,33 до 82,24%, $CaMg(CO_3)_2$ — от 1,71 до 9,54%. Количество $CaCO_3$ в мергелях на границе плиоцен-плейстоцен составляет 39,76 и 54,52%, $CaMg(CO_3)_2$ — соответственно 1,14 и 1,52%. Карбонатные осадки миндель-рисского межледниковья из обнажения в районе д.Приневманское близ Гродно весьма различны: колебание содержания $CaCO_3$ составляет 37,26—60,38%, $CaMg(CO_3)_2$ — 4,19-7,63, $CaCO_3$ в голоценовых озерных мергелях — 34,98—81,33, $CaMg(CO_3)_2$ — 4,19—7,25%; $CaCO_3$ в почвенном луговом мергеле в районе д.Мохары в зависимости от глубины залегания — 39,98-82,16, $CaMg(CO_3)_2$ — 6,10-8,30%. Четвертичные (голоценовые) карбонатные породы отличаются от пород отторженцев и мела в коренном залегании на термограммах потерей веса в интервале 300-400°, что может быть объяснено присутствием органического вещества.

Резко увеличивается содержание карбонатов в осадках конца неогена—начала четвертичного периода, т.е. в пограничной зоне. При этом накопление карбонатов в значительной степени связано с климатическими факторами. Накопление карбонатов (часто в виде мощных карбонатных фаций) является ха-

рактерной чертой гипергенеза во многих районах мира, в том числе и БССР (К.И.Лукашев, В.К.Лукашев, 1967).

Ранне- и среднеантропогеновые ледники производили огромную разрушительную работу и вырывали из ложа массу карбонатного материала, который включался в морены в виде огромных обломков и размолотой пыли. Процесс накопления карбонатного материала в озерных водоемах в межледниковые периоды плейстоцена и голоцене происходил как путем механического осаждения карбонатной взвеси из разгружающихся в местных бассейнах седиментации водотоков, так и способом химического карбонатообразования. Эти процессы находились в прямой зависимости от развития и накопления органического вещества. В значительном количестве четвертичный карбонатный материал оказывается включенным в среднеантропогеновые озерные водоемы (вероятно, часто в виде терригенной взвеси), так как окружающие морены были пересыщены этим материалом.

Рисс-вюрмские межледниковые озерно-аллювиальные и аллювиальные осадки в целом малокарбонатны. Физико-географические условия вюрма благоприятствовали накоплению карбонатов в лессах, озерных водоемах, частично в аллювии (особенно в тех местах, где лессовые породы сносились в речную долину).

Глинистые минералы. Изучение их весьма важно как для характеристики продуктов литогенеза, так и палеогеографических реконструкций. Так, для образования каолинита и галлуазита требуется кислая среда, а образованию монтмориллонита, наоборот, благоприятствуют нейтральные и щелочные условия, неполное выщелачивание оснований, высокая концентрация железа и магния в растворе. Гидрослюды типа иллита характеризуются тем, что в них в качестве существенного компонента присутствует калий наряду с магнием, железом, окисями алюминия и двуокисью кремния.

В результате изучения состава глинистых минералов региона обнаружены следующие закономерности. Палеоген-неогеновые глины характеризуются высоким содержанием монтмориллонита и каолинита, в меньшей мере — гидрослюдистых минералов. В противоположность им раннеантропогеновые, доледниковые отложения Белоруссии имеют высокое содержание гидрослюды среди глинистых минералов, что указывает на изменения среды литогенеза. Отмечается определенная закономерность в распределении глинистых минералов в разрезах морен: нижние их горизонты содержат повышенные концентрации монтмориллонита, каолинита и хлорита, верхние же, в формировании которых большую роль играет дальнеприносенный скандинавский материал, характеризуются резким преобладанием гидрослюдистого материала.

Процессы гипергенного преобразования тонкодисперсных частиц четвертичных отложений во время межледниковий приводят к увеличению количества нерегулярносмешаннослойных минералов, усилению гидратации гидрослюд, выщелачиванию легкоподвижных элементов, в частности, к значительному замещению позиции калия в кристаллической структуре группой гидроксония и др.

Железо в четвертичных отложениях представлено в разных формах: в виде остаточных минералов — магнетита, гематита, ильменита, пирита, оливина, гиперстена и др.; окисных и гидратных минералов вторичного происхождения — лимонита, гидрогетита, сидерита, вивианита, мамозита и др.; в ионном и коллоидном состоянии в растворах; в форме сорбентов в глинистых минералах; в составе железобактерий.

Сравнение неогеновых и четвертичных пород БССР показывает, что среднее содержание железа выше в морских отложениях миоцена и близко по значениям в плиоценовых и четвертичных породах. Однако они отличаются по отношениям FeO/Fe_2O_3. Колебания средних концентраций железа в разновозрастных моренах незначительны и зависят от литолого-геохимических особенностей отдельных провинций. Общей закономерностью распределения железа в моренах Белоруссии является увеличение Fe_2O_3 от гинца к московской стадии русского оледенения.

В палеогеографических условиях межледниковых эпох и голоцена процессы гипергенеза приводили к перераспределению железа в осадках различных генетических типов. Высокой концентрацией отличаются современные озерно-болотные отложения.

Во всех генетических типах четвертичных отложений (кроме болотных) содержание окисного железа выше, чем закисного.

По особенностям распределения железа на территории БССР можно различать несколько провинций. Так, север БССР, т.е. область распространения отложений вюрмского ледника, выделяется повышенными средними содержаниями железа в глинах. Это же можно сказать и о флювиогляциальных вюрмских песках. Вместе с тем здесь очень мало месторождений железных озерно-болотных руд. Низкой концентрацией железа в породах и незначительным количеством месторождений железных болотных руд отличается Брестская область. Возможно, это связано с широким развитием карбонатных пород и вызванной ими щелочной средой. Больше всего месторождений и проявлений болотно-железных руд в Полесье и прилегающих областях.

Органическое вещество в осадках. Четвертичный период на территории БССР характеризуется резкими колебаниями в развитии растительного покрова в связи с неоднократными оледенениями и потеплениями климата. В зависимости от этого происходят изменения состава и общей массы органического вещества в ландшафте. Во время межледниковий происходило значительное накопление органического вещества в виде торфов, сапропелей, гумусированных почвенных горизонтов. В периоды оледенений резко уменьшилась продуктивность органического вещества. Изучены неогеновые (главным образом плиоценовые) и четвертичные отложения из нескольких опорных разрезов на территории БССР и ПНР. Количество органического углерода в неогеновых породах колеблется от следов до 10%.

Изучение особенностей распределения органического углерода в миндель-рисских озерно-аллювиальных осадках показывает, что его количество колеблется в пределах 0,19–1,33% при среднем 0,96%. Содержание органического углерода в алевритах межледниковых (возможно, межстадиальных) отложений среднеантропогенового возраста достигает 1,12%. Вверх по разрезу процент органического углерода постепенно уменьшается до 0,17. Высокая концентрация органического углерода отмечается в рисс-вюрмских кремнеземистых и известковистых сапропелях, где органическое вещество в озерных осадках колеблется в пределах 1,15—6,65% при среднем значении 2,96%. Наблюдается постепенное уменьшение его вверх по разрезу.

Красно-бурые рисские морены содержат в среднем 0,09—0,15% органического углерода. В лессах и погребенных в них почвах его содержание колеблется в пределах 0,04–0,86% при среднем значении 0,17%.

Изучение содержания битумов и гуминовых кислот в отложениях неогена и четвертичного периода показывает, что гуминовых кислот в образованиях четвертичного периода почти в 10 раз больше, чем в породах неогена. Внутри последних эти компоненты также распределены неравномерно: с увеличением глубины взятия пробы возрастает содержание битумов и уменьшается количество гуминовых кислот.

В заключение отметим, что в четвертичный период в литосфере--биосфере формировались различные геохимические типы и фации продуктов литогенеза. По комплексу ведущих процессов литогенеза и образующихся остаточных и аккумулятивных продуктов выветривания и осадкообразования в пределах белорусской территории можно выделить следующие основные геохимические типы и фации литогенеза: песчано-сиаллитные, глинисто-сиаллитнче, карбонатно-сиаллитные, ферритно-сиаллитные и биолитные.

Песчано-сиаллитные продукты литогенеза представлены песчаными аккумуляциями разного генезиса и состава. В них господствует кварц, подчиненное значение имеют полевые шпаты,в ничтожно малых количествах отмечаются гранат, роговая обманка, ильменит, турмалин, эпидот и другие тяжелые минералы.

Глинисто-сиаллитные продукты литогенеза характеризуются остаточными и аккумулятивными глинами и суглинками, в составе которых наряду с кварцем и полевыми шпатами видную роль играют минералы типа гидрослюды, каолинита и др. Широко представлены коллоидные образования кремне-глиноземных и кремне-железистых соединений вторичных алюмо- и ферросиликатов. Глинистые продукты содержат в себе повышенные концентрации ряда микроэлементов: O, Ni , Co, Cr и др.

Карбонатно-сиаллитные продукты литогенеза — песчаные, глинистые и суглинистые отложения — содержат карбонаты кальция и магния. Видным представителем этих продуктов являются лессовые отложения, карбонатные глины и суглинки. В лессовых породах содержание SiO_2 достигает 90%, а карбонатов колеблется от 0,46 до 10%.

Ферритно-сиаллитные продукты литогенеза — осадки, обогащенные вторичными железистыми минералами окисного, гидроокисного и силикатного составов. Они характерны для иллювиальных горизонтов подзолистых почв, озерно-болотных железистых руд и ожелезненных песчано-глинистых пород. Вместе с железом в них отмечаются повышенные содержания Mn, Cu , V , Ti и др.

Биогеохимические типы продуктов в ландшафтах Белоруссии весьма разнообразны. Некоторые из них — например, торфяные аккумуляции и сапропелевые отложения в озерных водоемах — представлены весьма широко. Торфяные болота распространены на всей территории Белоруссии, но особенно большие площади они занимают в Полесье и в северной части республики. Среди них преобладают торфяники низинного типа, в строении толщ которых наиболее развита ассоциация тростниково-осоковой растительности. Мощность торфяников, как правило, достигает 10 м и более. Озерные водоемы богаты залежами сапропелей и сапропелевых илов с большим содержанием кремнезема, карбонатов кальция и магния и окислов железа.

10. Специфика современных геологических и геохимических процессов в ландшафтах

Наиболее важной особенностью современных геологических и геохимических процессов в земной коре и биосфере является возрастающая роль человека как геологического фактора. Напомним, что еще в начале 30-х годов А.Е.Ферсман, учитывая быстрый рост добычи и использования многих полезных ископаемых, писал, что "человек геохимически переделывает мир".

По мнению А.Е.Ферсмана, роль человека настолько значительнее обычных природных явлений переноса веществ, например деятельности рек, морей и ледников, что по масштабу она отвечает в геологической истории страны революционным периодам усиленных процессов, перед которыми бледнеют даже сильнейшие извержения вулканов. Можно без преувеличения сказать, что в наш век научно-технической революции и использования полезных ископаемых в громадных масштабах — земная кора претерпевает коренные изменения, особенно в составе и строении зоны гипергенеза, в характере деятельности факторов денудации, в геохимическом комплексе процессов, участвующих в разрушении пород и переносе рыхлых продуктов и т.д.

Сказанное полностью относится к земной коре и биосфере Белоруссии, в изменении которых современный техногенез играет решающую роль. Еще каких-нибудь тридцать лет назад добыча полезных ископаемых в Белоруссии ограничивалась лишь небольшим перечнем минерального сырья, добывавшегося на поверхности (торф, глины, песок, гравий, болотная железная руда). В настоящее время такие ископаемые, как калийные и каменные соли, нефть, минеральные и питьевые воды, в больших количествах извлекаются из глубин земной коры. В ближайшей перспективе будут добываться уголь, сланцы, железные руды, цветные металлы, еще больше возрастет добыча минеральных строительных материалов. Извлекаемые из недр Земли на поверхность горные породы в результате дробления и переработки переходят в дисперсное состояние, их химические элементы вступают в гипергенную миграцию и геохимические реакции в ландшафтах. Расширяются области пространственной миграции химических элементов, перемещаемых вместе с продукцией промышленности и сельского хозяйства. При этом в составе геохимических мигрантов кроме основных породообразующих химических элементов возрастает роль микроэлементов, органического вещества и токсических компонентов.

В последние 10–15 лет в Белоруссии в широких масштабах осуществляются мелиоративные работы по осушению заболоченных земель. Коренным образом изменяются естественные ландшафты, трансформируется водный режим территории, новый характер приобретает геохимическая роль воды в процессах выветривания и денудации поверхности. При значительном участии промышленных и бытовых стоков формируется новый химический состав поверхностных вод, в котором видную роль играет химическое загрязнение. Воды рек и озер в ряде случаев утрачивают нормальные питьевые и биологические качества. В них уменьшается содержание кислорода и увеличивается концентрация токсических элементов и соединений (кислот, солей и др.).

В геологических и геохимических процессах в ландшафтах республики большую роль играет сельскохозяйственная перегруппировка химических элементов на земной поверхности, обусловленная глубокой распашкой земель, внесением минеральных удобрений, применением химических средств для борьбы с вредными растениями.

Распашка земель, добыча полезных ископаемых, осушение заболоченных территорий, изменение ландшафтной структуры лесных, пахотных и луговых площадей способствуют активной денудации и эрозии поверхности, переносу и перераспределению вещества ветром и текучими водами. При этом в продуктах переноса большую роль играют промышленные отходы и часть удобрений, неутилизированная растительностью. В целом в химическом стоке возрастает роль минеральных коллоидов, растворенных органических веществ, кислот и щелочей. В ветровом переносе большую роль играют продукты пылевых бурь и промышленных отходов (техногенная пыль). В республике главным источником техногенной пыли является возрастающее сжигание твердого топлива, производство цемента, выхлопные газы транспорта.

Необходимо особо отметить влияние на ландшафты республики расширяющейся добычи и переработки полезных ископаемых, в частности минерального сырья:

1) увеличиваются площади разрушения естественных условий биосферы, особенно в районах открытых разработок месторождений строительных материалов;

2) возрастают площади солеотвалов и шламохранилищ на территории добычи и переработки калийных солей; здесь же развиваются процессы засоления вод и почвогрунтов, которые в дальнейшем могут распространиться на значительно большие площади, особенно Припятского бассейна;

3) в районах добычи и переработки нефти в биосферу поступают нефтепродукты, загрязняющие ее ландшафтные компоненты — воздух, почву и воды;

4) в районе размещения химической и нефтяной промышленности в биосферу поступают продукты выбросов различных химических элементов и соединений, в числе которых видное место занимают CO_2, CO, S, H_2S и др.

В целом в биосфере и ландшафтах формируется новая геологическая и геохимическая среда процессов выветривания и почвообразования, миграции атомов и химических элементов — новая среда для жизни живых организмов. Для геохимической среды ландшафтов закономерными становятся техногенные нарушения физико-химических равновесий в балансе и круговороте химических элементов. Особенно нарушается баланс и круговорот кислорода, углерода, азота, фосфора, серы, железа и ряда других элементов, от которых зависят кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия природной среды, выветривание горных пород, минерализация и разложение органического вещества, синтез биогенного и минерального вещества в ландшафтах.

Все это пока не носит угрожающего характера для биосферы республики и ее живого мира, однако для предотвращения ее от возможного загрязнения химическими продуктами добычи и переработки минерального сырья и более рационального его использования требуется совершенствование технологических процессов, повсеместное применение различных пылегазосъемных установок, разработка технологии улавливания и утилизации вредных газов и т.д. (некоторые из этих вопросов более подробно характеризуются ниже).

II. Некоторые вопросы изучения геолого-геохимических процессов в ландшафтах

Проблемная тематика изучения геолого-геохимических процессов в ландшафтах Белоруссии должна включать в себя ряд вопросов. В числе их прежде всего необходимо назвать следующие.

1. Изучение влияния химических элементов, извлекаемых из глубин, на геохимический состав зоны гипергенеза. Сюда входит изучение качественного и количественного поступления в ландшафты минерального вещества глубин в связи с добычей солей, нефти, угля, сланцев, рудных компонентов (железа и цветных металлов), участие их в образовании ореолов рассеяния и геохимических аномалий в различных типах ландшафтов.

2. Изучение влияния геотехногенной деятельности (горнорудной, инженерно-геологической и др.) на процессы водного и воздушного перемещения продуктов выветривания и техногенеза, их рассеяния и концентрации в ландшафтах; роли минеральных продуктов техногенеза в районах добычи полезных ископаемых по сравнению с другими ландшафтами.

3. Изучение влияния продуктов добычи и переработки минерального сырья на геохимическую среду ландшафтов, в частности на величины pH и Eh, накопление карбонатов, сульфатов, органического вещества, азотных, фосфатных, хлоридных и других неорганических и органических соединений.

4. Изучение влияния продуктов техногенеза на изменение кларкового состава химических элементов покровных пород элювиальных, супераквальных и субаквальных ландшафтов; кларковой роли технофильных элементов, характерных для водной и воздушной геохимической миграции в ландшафтах республики.

5. Изучение влияния сельскохозяйственного комплекса мероприятий на геохимическую миграцию химических элементов в ландшафтах.

6. Большой круг вопросов относится к изучению глубинных и гипергенных геохимических аномалий и ореолов рассеяния с целью выявления месторождений полезных ископаемых, условий их образования и локализации в земной коре территории Белоруссии. Здесь на первый план выступает комплексное геолого-геофизико-геохимическое изучение историко-геологических процессов образования земной коры и биосферы, тектонических, стратиграфических, литологических и геохимических особенностей пород отдельных систем, характерных для них формаций и фаций, их рудоносности, геохимической контрастности минеральных парагенезисов и др. Для дальнейшего перспективного планирования и организации поисков полезных ископаемых весьма важным является: а) выделение на основе имеющихся данных металлогенических зон с известной и возможной минерализацией, общая оценка их потенциальных рудных запасов отдельных химических элементов; б) геолого-геохимическое картирование и районирование выделенных перспективных металлогенических аномалий и месторождений на основе связи их с тектоническими структурами, интрузивными, метаморфическими, вулканическими и осадочными формациями; в) выделение нерудных геохимических аномалий и месторождений, палеофациальное картирование их, оценка потенциальных возможностей и др.

Глава Ш. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛАНДШАФТАХ

I. Геоструктурные формы рельефа Белоруссии

Исследованиями белорусских геологов установлено, что на территории республики расположен ряд важнейших геоструктурных элементов западной половины Русской платформы, различающихся в настоящее время прежде всего гипсометрическим положением допалеозойского кристаллического фундамента, мощностью и строением перекрывающего его чехла осадочных пород (см. рис.2).

На территории северо-западной и частично центральной частей Белоруссии допалеозойские кристаллические породы образуют подземный выступ — Белорусско-Литовский кристаллический массив, в пределах которого наиболее высоко (до 86,6 м над уровнем моря) они залегают в районе между Копылем, Столбцами и Дзержинском. Отсюда их поверхность понижается:

1) на юго-восток к Припятской впадине, простирающейся в широтном направлении на территории Гомельской области (исключая ее небольшую северо-восточную часть), южной части Минской и крайней юго-восточной части Брестской областей; допалеозойские кристаллические породы на площади этой впадины наиболее глубоко погружены в юго-восточной части БССР; их кровля находится здесь местами на глубине до 4—5 км от поверхности земли;

2) на юг к Полесской седловине, захватывающей центральную часть Брестской области;

3) на юго-запад к Люблинской впадине, занимающей в БССР небольшую западную часть Брестской области;

4) на северо-запад и север к Польско-Литовской впадине;

5) на восток в сторону Московской впадины, западный склон которой захватывает значительную территорию Витебской и Могилевской областей.

У южных границ БССР (Лельчицкий район Гомельской области) расположена северная оконечность Азово-Подольского массива (допалеозойских пород). Мощность и строение покрывающих допалеозойский фундамент осадочных пород в преобладающей их части зависят от характера тектонических движений, имевших место на площадях отдельных структур. Не рассматривая в данном случае историю развития последних, отметим лишь, что они весьма древние и что со времени возникновения (в основном с нижнего и среднего палеозоя) подвергались многочисленным поднятиям и опусканиям.

Совмещение карты современного рельефа с тектонической схемой Белорус-

сии показывает, что с расположением различных крупных тектонических структур на значительной территории здесь хорошо согласуется расположение наиболее крупных элементов современного рельефа и размещение речных систем. Площадь Полесской низменности почти совпадает в БССР с площадью, занимаемой Припятской впадиной и Полесской седловиной. Развитие Неманской и Полоцкой низин происходит в направлении расположения Польско-Литовской впадины. Примерно в районе наиболее высокого положения допалеозойских пород на Белорусско-Литовском выступе находятся истоки р.Неман, причем она течет в общем в направлении падения поверхности допалеозоя к Польско-Литовской впадине. Через центральную часть Полесской низменности и соответственно простирающуюся в широтном направлении Припятскую впадину протекает в том же направлении р.Припять.

Можно привести ряд других примеров, устанавливающих влияние тектоники на расположение гидрографической сети и форм современного рельефа. Все это показывает, что формирование современной поверхности БССР, несомненно, в большой мере связано с историей развития наблюдаемых на ее территории тектонических структур. При этом в образовании форм рельефа, видимо, заметную роль играли унаследованные тектонические структуры дочетвертичного времени и структуры, созданные в антропогеновое время. Следует, однако, отметить, что мы пока не располагаем достаточными данными для вполне достоверного суждения о характере дочетвертичного рельефа и тектонических движениях в четвертичное время.

Для доантропогеновой поверхности характерно наличие ряда котловин и ложбин, разделенных повышенными участками. Среди них Белостокская, Феликсовская к югу от г.Лиды, Новогрудская, Залесско-Радошковичская, Чашникская, Полоцкая, Даугавпилская и др.

С доантропогеновой поверхностью тесно связано распределение антропогеновых отложений и их мощности. По данным М.М.Цапенко (1957, 1960), мощности свыше 300м характерны для Залесско-Радошковичской и Новогрудской котловин и присклонной части котловины у Осмян и Воложина, от 200 до 250м — для Наревской, Даугавпилской и Чашникской котловин; от 150 до 200 м — для эрозионного понижения северо-западнее Лиозно и Птичско-Ольсинского понижения; от 100 до 150 м — для Старобинской, Шатилковской, Ельской, Климовичской и Гусаковской отрицательных форм доантропогеновой поверхности. Для крайнего севера, юга и востока характерны меньшие мощности антропогеновых отложений — от 50 до 100 м.

Можно считать, что к началу антропогена на территории Белоруссии был сформирован рельеф, в известной мере отражавший основные структурные особенности данного участка земной коры и отличавшийся значительной сложностью. В антропогене происходило дальнейшее изменение и усложнение структуры, вызванное колебательными движениями земной коры и перераспределением обломочного материала денудационными и эрозионными процессами.

Амплитуда высот положительных и отрицательных форм доантропогеновой поверхности Белоруссии в настоящее время достигает 275 м, а современной — 226 м. Наименьшие отметки доантропогеновой поверхности характерны для района Гродно. Наибольшие отметки доантропогеновая поверхность имеет в краевой части Украинского кристаллического массива и Овручского кряжа (200 м над уровнем моря).

Анализ имеющихся данных показывает, что в восточных, южных и северных районах Белоруссии (в пределах тектонических впадин) располагаются возвышенности кровли дочетвертичных пород. Центральные и особенно северо-западные районы Белоруссии (Белорусский выступ фундамента) в рельефе коренных пород вырисовываются как обширная низина.

Таким образом, связь между современным рельефом Белоруссии и структурами фундамента является чрезвычайно сложной, опосредованной структурами осадочного чехла альпийского этапа тектогенеза.

Большую роль в формировании современного рельефа сыграли новейшие тектонические движения. В позднем плиоцене и начале антропогена территория Белоруссии испытала общее тектоническое поднятие, интенсивность и размеры которого были неодинаковыми в разных ее частях. Наиболее значительным поднятием были охвачены западные и северо-западные районы. Несколько менее интенсивный характер носило воздымание земной коры на востоке Белоруссии. Наименьшими размерами характеризовалось поднятие Полесья и Центрально-Белорусской доледниковой равнины. В дальнейшем в течение антропогена продолжались колебательные движения, отразившиеся на строении современного рельефа. Эти движения привели к тектонической инверсии (обращению) рельефа в пределах основных структурных элементов. Крупные формы современного рельефа целого ряда районов Белоруссии являются обращенными по отношению к тектоническим структурам фундамента. Особенно хорошо это заметно в восточной части Белоруссии, где в пределах западного крыла Московской впадины располагается Оршанско-Могилевское плато. Обращенным является также рельеф южной части Латвийского прогиба. В сводовой части Белорусского массива располагается одна из наиболее крупных в Белоруссии Неманская низина.

Все это говорит о том, что при изучении связи современного рельефа с тектоническими структурами должно быть уделено особое внимание роли последних этапов геологической истории, в особенности роли новейших и современных тектонических движений.

2. Геоморфологические и генетические особенности современного рельефа Белоруссии

Таким образом, развитие рельефа в четвертичное время было полностью обусловлено чередованием ледниковых и межледниковых эпох, сопровождавшими наступление и отступание ледниковых масс, ледниковой и водной эрозией и накоплением осадочного материала, образованием различных типов морен (донных, конечных, боковых, друмлин, отторженцев), камовых, озовых, зандровых и других типов ледникового и водно-аккумулятивного генезиса.

Наибольший вклад в изучение современного рельефа Белоруссии, выделение его генетических типов и форм внес А.В.Дементьев (1960). Его классификация содержит 27 геоморфологических районов и 4 геоморфологические подзоны (рис. 26). В рельефе республики сочетаются довольно обширные невысокие возвышенности с равнинами, низинами и озерными котловинами. Около 3/5 территории республики возвышается над уровнем моря всего на 100--200м. Широко представлены невысокие моренные гряды, среди которых особенно выделяется Белорусская гряда, состоящая из нескольких возвышенностей, а также Свенцянская и Туровская гряды. Обширные территории заняты болотами и заболоченными пространствами.

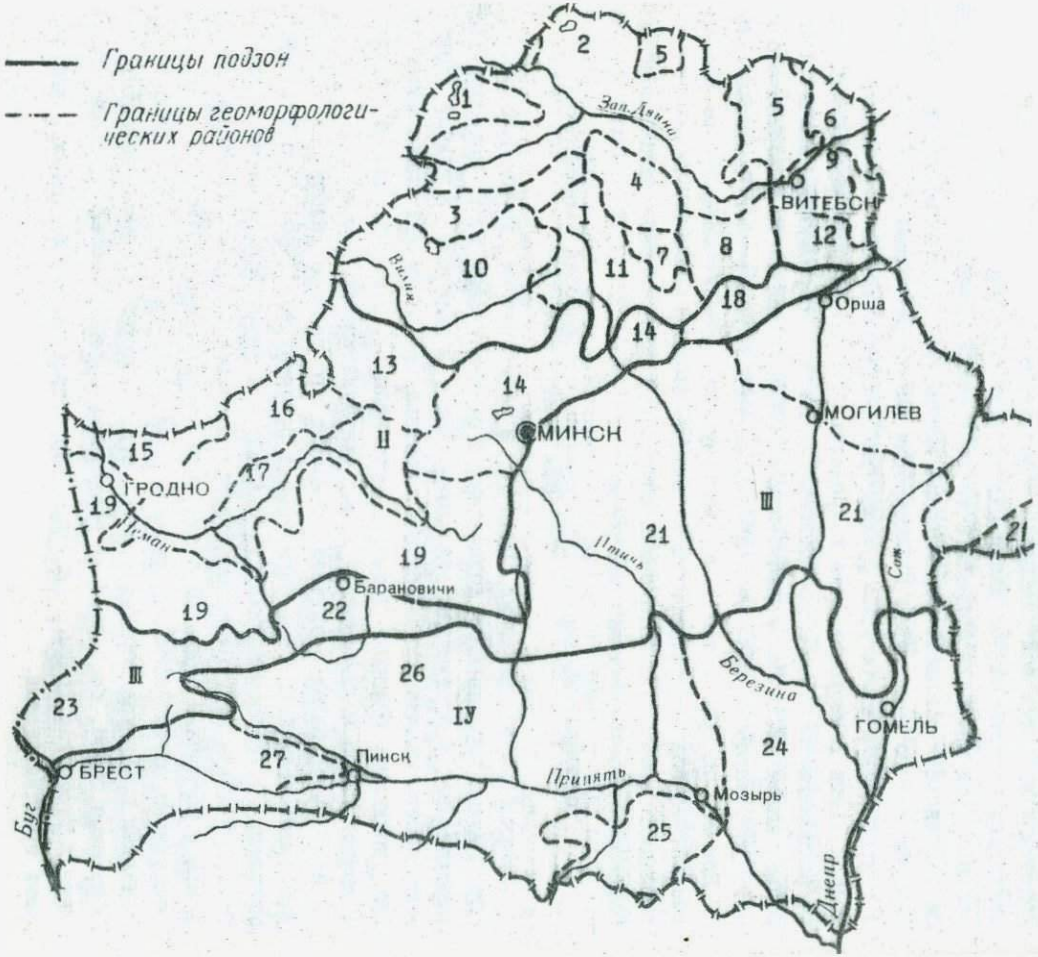


Рис.26. Геоморфологические подзоны и районы (Дементьев, 1967):

геоморфологические подзоны: I — Белорусское Поозерье; II — Белорусская гряда; III — приледниковые равнины; IУ — низменность Белорусского Полесья;

геоморфологические районы: 1 — Балтийская гряда; 2 — Полоцкая низина; 3 — Свенцянская гряда; 4 — Туровская гряда; 5 — Невельско-Городокская возвышенность; 6 — Суражская низина; 7 — Лепельские высоты; 8 — Чашникская равнина; 9 — Витебская возвышенность; 10 — Нарочано-Вилейская низина; 11 — Верхне-Березинская низина; 12 — низина Лучесы; 13 — Ошмянская возвышенность; 14 — Минская возвышенность; 15 — Средне-Неманская низина; 16 — Лидская равнина; 17 — Верхне-Неманская низина; 18 — Оршанская возвышенность; 19 — юго-западная ветвь Белорусской гряды; 20 — Оршано-Могилевское плато; 21 — Центрально-Березинская равнина; 22 — Барановичская равнина; 23 — Прибугская равнина; 24 — Приднепровская низменность; 25 — Мозырская равнина; 26 — Припятское Полесье; 27 — Брестское Полесье

На основе геоморфологической и ландшафтной специфики резко различаются между собой северная часть Белоруссии, область Белорусской гряды, Центрально-Белорусская равнина, Восточно-Белорусское плато и Полесская низменность.

Наиболее характерные особенности современного рельефа сводятся к следующему. В центральной и северной частях территории Белоруссии наблюдается чередование холмистых возвышенностей (до 350м над уровнем моря) с плоскими равнинами или слабовогнутыми низинами (100—200 м). Более повышенные равнины приобрели вид плато, приподнятых над соседними низинами. На севере Белоруссии широко распространены озера, вследствие чего эту часть территории называют Белорусским Поозерьем. Самое крупное из озер — Нарочь (80 км^2). Большинство холмисто-моренных гряд и возвышенностей Поозерья приурочено к четко выраженным доледниковым возвышенностям высотой 30-50 м, а также к более или менее крутым скатам и уступам эрозионного происхождения, обращенным на север и северо-восток. Невельско-Городокская и Витебская холмисто-моренные и камовые возвышенности сформировались в пределах поднятий коренных пород, сложенных крепкими среднефранскими доломитами и доломитизированными известняками. Холмисто-моренный рельеф Свенцянской гряды, Лепельская, Лукомльская, Черейская, Сенненская и некоторые другие гряды Белорусского Поозерья образовались на довольно крутых южных и юго-западных склонах Дисненской и Полоцкой доледниковых депрессий (низин), выработанных эрозией в рыхлых песчано-глинистых лучских и оредежских отложениях на южном крыле Латвийского прогиба. Уплощенные днища этих низин, напротив, послужили ареной формирования равнин основной морены, покрытой на обширных пространствах мощным чехлом озерно-ледниковых и зандровых отложений. К крутому встречному скату высотой до 50—60 м, оконтуривающему с юга доантропогеновую эрозионную Верхне-Неманскую низину, которая занимает южную часть Верхне-Неманской мезокайнозойской мульды, приурочены Гродненская, Волковыская, Слонимская и Новогрудская возвышенности — крайняя западная гирлянда широкой полосы ледниково-аккумулятивных образований Белорусской гряды. Ледниковые отложения Лидского плато, представляющего собой древнюю возвышенность с холмисто-моренным рельефом, уничтоженным в ходе перигляциальной денудации, увенчивают древнюю синклинальную возвышенность, расположенную в центральной (осевой) части Неманской мезокайнозойской мульды, которая сформировалась на своде Белорусско-Литовского массива.

В основном современные возвышенности северо-западной Белоруссии приурочены к доледниковым повышениям, а низменности — к доледниковым депрессиям, имеющим эрозионно-тектоническое происхождение. Это указывает на прямое унаследование современным рельефом основных, главнейших черт рельефа, созданного в доледниковое время. Таким образом, можно говорить о древнем возрасте крупных форм рельефа Белоруссии. По строению, морфологии и размеру среди моренного рельефа можно выделить различные формы: формы первого порядка — крупные моренные возвышенности и гряды, занимающие большую площадь, имеющие ширину и длину, измеряемые десятками километров (Минская, Новогрудская, Невельско-Городокская возвышенности, Свенцянская, Ошмянская и другие гряды); формы второго порядка — конечно-моренные гряды, камовые и моренные всхолмления, междуречные массивы в пределах крупных моренных

возвышенностей и гряд; формы третьего порядка — отдельные моренные и камовые холмы, друмлины, озы и другие мелкие ледниково-аккумулятивные формы, сочетание которых с замкнутыми западинами и многочисленными озерными котловинами определяет специфику ледниково-аккумулятивного рельефа области последнего оледенения.

Ледниково-аккумулятивный рельеф наиболее хорошо выражен на севере БССР в зоне последнего оледенения. Здесь моренный рельеф характеризуется лучшей сохранностью всех форм ледниковой аккумуляции и, что особенно важно, форм третьего порядка. Южнее, в области рисского (днепровского) оледенения, моренный рельеф характеризуется большей сглаженностью вплоть до образования выровненных поверхностей — вторичных моренных равнин. Видное место в рельефе занимают водно-ледниковые и перигляциальные аллювиальные равнины (Центрально-Белорусская, Полесская, Верхне-Неманская и др.). Среди них встречаются отдельные полуразмытые моренные гряды и одиночные холмы, уцелевшие на месте широких полос краевых ледниково-аккумулятивных образований рисского ледника. На значительной части территории БССР моренные формы рельефа перекрыты или маскируются мощным чехлом лессовых и лессовидных пород. Эти территории представляют собой платообразные равнины с волнистой поверхностью, расчлененной оврагами и суффозионными западинами.

Из низин на севере и северо-западе БССР хорошо выделяются в рельефе Полоцкая (высота 130—160 м), изобилующая озерными впадинами, Нарочано-Вилейская с крупными озерами нарочанской группы, Неманская и др. Последняя к северу от Гродно понижается до 80 м абсолютной высоты, являясь наиболее низменной в Белоруссии.

К районам с платообразным равнинным рельефом и редкими моренными грядами относятся Оршано-Могилевское плато, сложенное водно-ледниковыми и лессовыми отложениями, Центрально-Березинская равнина, занимающая обширное пространство в бассейне рек Птичи, Березины и Друти, плоская Барановичская равнина, открытая к Полесью, и др.

Юг Белоруссии занят обширной низиной Белорусского Полесья. Это плоская слабодренированная ложбина с наклоном в сторону Днепра, среди которой выделяется серия широких, часто расплывчатых по очертаниям озерно-речных террас и болотных массивов. Из последних особенно значительны Пинские болота, болото Галы и др.

В Припятском Полесье широко развиты дюно-бугристые пески, рассеянные среди болот и озер. Изредка встречаются также и моренные холмы, сохранившиеся от эпохи максимального оледенения, большей частью перекрытые молодыми водно-ледниковыми и речными отложениями. Моренный рельеф представлен здесь Мозырской и Хойникско-Брагинской грядами, моренными холмами на террасовом выступе Загородья и др.

Большое влияние на формирование рельефа оказывает речная сеть. Долина Западной Двины — наиболее узкая из долин крупных рек республики. У нее крутые обрывистые берега. Ю.А.Мещеряков, Р.В.Федорова (1961) и другие выделяют здесь два террасовых уровня: первая терраса высотой до 11 м, вторая — 12—22 м. Пойма (высотой до 3 м) развита слабо.

Долина Немана в верховьях (до устья Шары) имеет пологие склоны, пойма заболоченная (ширина ее до 3,0 км), в низовьях (в пределах республики) долина реки достигает 7 км. Здесь ярко выражены террасовые уступы и пойма.

Отличительная особенность долины — многочисленность эрозионных и эрозионно-аккумулятивных речных уровней. В месте прорыва Неманом Гродненской возвышенности долина узкая с крутыми (высотой до 15 м) берегами, сильно изрезанными глубокими оврагами; пойма почти не развита.

Долина Днепра в пределах Минской и Смоленско-Московской возвышенностей неширокая, глубокая (высота берегов 10-15 м). В пределах Центрально-Березинской и Чечерской равнин она более широкая (до 35 км), с хорошо выраженной поймой высотой 1-2 м. Выделяются две террасы: хорошо выраженная первая и вторая с более сглаженными склонами.

Бассейн Припяти имеет равнинную пойменную долину шириной 2—6 км, переходящую в первую надпойменную террасу со слабо выраженным уступом. Пойма (высотой 2,5—2 м) подразделяется на прирусловую, центральную (повышенную) и притеррасную (пониженную заболоченную) части. Встречаются дюны. Извилистое русло отрезает много стариц и притоков. Узкая долина с крутым коренным правым и низким пойменным левым берегами у Припяти отмечается в районе прорыва Мозырско-Хойникско-Брагинской моренной гряды.

На основании сказанного на территории Белоруссии можно выделить следующие генетические формы эрозионно-аккумулятивного рельефа: ледникового выпахивания (переуглубленные депрессии и ложбины) и аккумуляции (моренные гряды и холмы); водно-ледниковой эрозии и аккумуляции (камы, озы, зандры); приледниковые краевые и межгрядовые озерные котловины (подпрудные, ложбинные и др.); аллювиальной эрозии и аккумуляции (долины, поймы, террасы); эоловой дефляции и аккумуляции (дюнные образования).

3. Зависимость между литогеохимическим составом отложений и генетическими формами рельефа

В настоящее время хорошо изучена связанная с генезисом рельефа специфика состава отложений — например ледниковых аккумуляций различных типов морен (конечных, донных, боковых), друмлинов; водно-ледниковых (флювиогляциальных) камов, озов, конусов выноса, зандровых; различных морфологических типов аллювиальных отложений (террасовых, дельтовых, подгорных); элювиальных, делювиальных, эоловых и других продуктов, формы и способы накопления которых связаны с деятельностью ледников и талых вод, постоянных и временных водотоков рек, плоскостным смывом, растворением и суффозией, эоловой дефляцией, гравитационными процессами и т.п. Не ставя перед собой задачи детальной характеристики этих вопросов, сопоставим генетические типы ледниковых, аллювиальных и эоловых отложений, их основные фациальные комплексы и главные формы и способы аккумуляции материала (табл. 10—12).

В Белоруссии широко представлены различные формы рельефа ледниковых и водно-ледниковых аккумуляций— конечных и донных морен, друмлинов, долинных зандров, камов, озов, эоловых песков, пойменных и надпойменных террас.

В ледниковом рельефе друмлины известны на Свенцянской гряде и в пределах Браславского Поозерья. Они представляют собой различной формы холмы (высотой 10-20 и длиной несколько сотен метров), вытянутые в направлении движения ледника. Расположены друмлины на внутренней стороне конечноморенного комплекса.

Таблица 10

Основные генетические типы и разновидности ледниковых и водно-ледниковых форм рельефа Белоруссии

Форма рельефа	Ведущий способ и процесс аккумуляции	Генетический тип отложений	Область аккумуляции
Основной (донной) морены (аккумулятивной и напорной); друмлинов	Ледниковые (гляциальные); перенос и отложение ледниками	Моренные и друмлиновые отложения, состоящие из неслоистых осадков глины, песка, гальки и валунов	Внутриледниковая; краевая зона ледников
Озов (смешанных, галечниковых, эрозионных, выдавливания); камов*	Водно-ледниковые (флювиогляциальные); перенос и отложение ледниковыми водами	Флювиогляциальные отложения, состоящие из слоистых песчано-галечниковых осадков	Приледниковая
Зандров (песчаных, галечниковых и др.); покровных суглинков (лессовидных и др.)			Внеледниковая
Внутри котловин ледниковой эрозии и выпахивания, особенно в краевой зоне и в местах ледниковых запруд	Озерные, водно-ледниковые; перенос и отложение в воде озер	Озерно-ледниковые отложения, сложенные главным образом глинистыми осадками	Краевая зона ледника; водно-ледниковые и внутриледниковые озера

* Некоторые авторы рассматривают камы как озерно-ледниковые отложения.

В водно-ледниковом рельефе республики выявлено около сотни озовых гряд. Наиболее крупные из них известны в районе оз.Белого в Гродненской области, возле с.Волколаты Глубокского района, в районе г.Свирь и к юго-западу от него в Тушанской низине, у д.Щербы, между Чашниками и Лепельским озером, возле оз.Березовского в Сенненском районе, южнее Богушевска, в пределах Браславского Поозерья и в самых северных районах Витебской области (Махнач, Вазнячук, 1959). Часто озовые гряды приурочены к низинам и протягиваются вдоль рытвинных озер. Некоторые из них расположены непосредственно в озерах, поднимаясь над их уровнем в виде узких извилистых гряд (озы оз.Мядельского, Лисненского и др.). С озами тесно связаны камы, которые в отли-

Таблица II

Основные генетические типы и разновидности аллювиальных форм рельефа Белоруссии

Тип и форма морфоскульптурного рельефа	Генетические типы и фации отложений	Важнейшие характерные особенности
Русла рек	Комплексы осадков руслового аллювия (донного и прируслового)	По характеру накопления осадков различают участки дна с преобладанием глубинной и боковой эрозий
Поймы	Комплексы отложений пойменного аллювия (стариц, болот, собственно пойм)	Различают пойму низкую, заливаемую ежегодно, и высокую, заливаемую 1 раз в несколько лет. В результате меандрирования рек образуются прирусловые валы или гривы, остатки старых русл (старицы)
Террасы	Комплексы осадков (аллювиальных, делювиальных, эрозии почв и др.)	Морфологические и генетические особенности рельефа террас определяются развитием эрозионного цикла и изменением положения базиса эрозии, изменением количества воды, связанного с изменением климата, мелиорацией, вырубкой лесов и др.
Зандровые долины и низины	Аллювиальные комплексы флювиогляциальных отложений долин и низин	Геоморфологически связаны с краем конечных морен. Представляют собой слившиеся пологие плоские конусы и веера, сложенные осадками ледниковых и речных вод

чие от сравнительно узких озовых гряд представляют возвышенности. Камовый рельеф в какой-то мере напоминает холмистый моренный и в то же время существенно отличается от него строением и составом. Камы сложены водно-ледниковыми слоистыми образованиями (песками, гравием, ленточными глинами и др.).

Озерно-ледниковые аккумуляции ленточных глин широко распространены в северной части Поозерья (Дисненский, Верхнедвинский, Полоцкий, Лучесский озерно-ледниковые котловины и низины). Выделяются также ленточные глины Суражской низины. В крайней западной части Белоруссии они приурочены к не-

Таблица I2

Основные генетические типы и фации форм эоловых отложений рельефа Белоруссии

Форма рельефа	Генетические типы и фации	Ландшафтные разновидности песчаной поверхности
Барханные бугры, барханные цепи, дюны и цепи дюн, грядовые пески, кучевые пески, бугристо-равнинные пески	Эоловые пески материковых, прибрежно-морских, прибрежно-озерных, долинно-речных условий образования	Кустовые бугры, бугры насыпания, песчаные грядки, мелкогрядовые пески, песчаная степь

большим озерно-ледниковым котловинам Средненеманской низины. Ленточные глины и супеси характерны для ледникового и водно-ледникового рельефа центральной и средней частей Белоруссии в зоне краевых конечноморенных образований.

Зандровый рельеф приурочен к областям междуречий и речным долинам. Образование его тесно связано со сложной переплетающейся сетью флювиогляциальных потоков. Господствующие геоморфологические формы зандров — удлиненные ложбины, вытянутые по долинам рек и сложных лопастных дельт. На равнинах форма зандровых полей приближается к эллипсоидальной, в холмистых местностях они имеют различные очертания. На общем фоне в рельефе зандровой равнины выделяются ложбины, расположенные большей частью радиально, ямы и котловины (остатки растаявших глыб льдов), открытые рытвины, образованные крупными потоками (в особенности при выходе из-под ледника), различные конечные морены. В республике зандровые формы рельефа хорошо сохранились в верховьях Березины, долине Днепра, бассейне Западной Двины, Полесье.

Дюнные формы рельефа распространены преимущественно в южной части республики. Особенно видное место они занимают в ландшафтах долины Припяти и ее притоков. Представлены дюны холмами, буграми различной величины и генетически связаны с речными террасами и зандрами. В литологических комплексах ведущее место занимают аллювиальные и делювиагляциальные отложения, в большей или меньшей мере переработанные ветром. Изучение дюнных образований Полесья, выполненное в последние годы (В.К.Лукашев, I963, I970), показывает, что многочисленные песчаные гряды, распространенные в долине Припяти, по генезису являются преимущественно прирусловыми валами, сложенными рыхлыми песками. Одновременно происходила эоловая переработка осадков и накопление их эоловых разностей. Песок лучше сортировался, изменялся его гранулометрический и химический состав.

Отметим, что роль рельефа в геохимических процессах в ландшафтах в главных чертах сводится к следующему. От рельефа зависит:

характер гравитационного перемещения обломочного рыхлого материала и условия миграции растворенных в воде химических элементов и соединений;

литологическая и геохимическая дифференциация материала в процессе его переноса и аккумуляции;

разнообразие геологических и геохимических процессов: денудационных, эрозионных, суффозионных, аккумулятивных и др. в зависимости от устройства и контрастности рельефа;

разнообразие геоморфологических типов области сноса и накопления продуктов выветривания и перемещения;

формирование геоморфологических типов ландшафтов — элювиальных, супераквальных, субаквальных, транзитных, различающихся между собой геофизическими, геохимическими и биологическими условиями миграции химических элементов, накоплением обломочного, хемогенного и биогенного вещества и другой спецификой;

высотная зональность в ландшафтной специфике геоморфологических и геохимических процессов в высокогорных областях;

склоновые процессы (делювиальные, коллювиальные, пролювиальные), сопровождающиеся огромным перемещением рыхлых обломочных продуктов выветривания по склонам гор и возвышенностей и отложением их у подножий и в межгорных прогибах с образованием мощных толщ отложений гетерогенного состава;

распределение поверхностных и грунтовых вод в ландшафтах, уровни их залегания и гидрогеохимические особенности;

видовой состав фито- и зообиоценозов, их биологическая продуктивность и др.

При оценке рельефа как фактора, от которого зависит характер геохимических процессов, следует учитывать его морфогенетические особенности, характеризующие количественные соотношения разных генетических форм и элементов, а также особенности ландшафтов в целом, от которых зависят процессы денудации, водной и ветровой эрозий, суффозионные процессы, определяющие водную и воздушную миграцию химических элементов.

В настоящее время публикуется большое количество материалов по оценке процессов эрозии в зависимости от густоты эрозионной сети, уклонов поверхности, высоты местных базисов эрозии, противоэрозионной устойчивости горных пород, влияния литологического состава пород и структуры земельного фонда. При этом используется многобальная система показателей (отсутствует, слабая, умеренная, средняя, сильная, очень сильная, катастрофическая).

В Белоруссии эрозионными процессами разной степени проявления охвачено около 60% территории. Обусловлено это различными факторами (характером рельефа, литологическим составом покровных пород, структурой сельскохозяйственного использования земель, горно-рудной деятельностью и т.п.), и проявляются они в разной форме. Наибольшим распространением характеризуется плоскостной смыв: местами эффективно проявляется повседневная ветровая эрозия, иногда образуются пыльные бури; на ряде территорий протекают суффозионные процессы с образованием воронок, западин, карстовых озер и др.

Согласно данным Н.В. Евцихевича (1971), сильные бури в Белоруссии отмечены в 1949, 1950, 1961, 1963 и 1964 гг. Наиболее характерны они для южных районов, причем около 88% их падает на май и июнь. Суффозионные формы рельефа особенно характерны для поверхностного залегания меловых и лессовых пород. В частности, многочисленные воронки и провалы встречаются под Кричевом, Славгородом на Оршанско-Могилевском плато. С карстовыми провалами связаны многие озера — Бездонное, Тайное, Ревучее, Странное, Синий Колодец и др. (см. также главу о почвах).

4. Некоторые вопросы изучения геохимических процессов в связи с рельефом и его преобразованием

Изучение геоморфологических и геохимических процессов в ландшафтах Белоруссии в зависимости от генетических и морфометрических особенностей рельефа представляет большой научный и практический интерес. Материалы изучения необходимы для решения многих научно-технических вопросов мелиорации, защиты почв от эрозии, осуществления мероприятий по выборочному облесению, снегозадержанию с целью регулирования стока поверхностных вод, проектирования гидротехнических сооружений и других работ, так или иначе преобразующих рельеф и ландшафты отдельных участков и крупных регионов.

Изучение геохимических процессов в ландшафтах Белоруссии в зависимости от рельефа требует проведения прежде всего большой работы по классификации и районированию территории по ряду признаков: 1) типам рельефа, его генерациям, морфоструктурным и морфоскульптурным особенностям (большого внимания заслуживают все аккумулятивные формы и типы рельефа — ледниковые, водно-ледниковые, речные, эоловые, органогенные); 2) густоте эрозионной сети в отдельных бассейнах и характерных для нее местных базисов эрозии; 3) *генетическим и литологическим комплексам горных пород*, характеризующихся разной противоэрозионной устойчивостью; 4) структуре земельного фонда (леса, луга, пастбища, пашни); 5) горно-геологическим условиям добычи полезных ископаемых, где в результате проходки шахт, разработки карьеров, образования отвалов пустой породы, уничтожения естественной растительности и почв происходит коренное преобразование рельефа и ландшафтов.

В геохимическом отношении представляет интерес изучение механических и химических продуктов: водной эрозии (поверхностной, овражной, ложбинной и др.); эоловой денудации (дефляции, коррозии, аккумуляции); суффозионных процессов; вымелачивания и выноса растворенных веществ, сопровождаемых оседанием поверхности и формированием карстового рельефа; продуктов гидрохимического стока поверхностных вод в разных регионах, ландшафтах и бассейнах рек.

В геохимическом аспекте особого внимания заслуживает антропогенная (техногенная) деятельность человека по преобразованию рельефа земной поверхности и ландшафтов в связи с разработкой карьеров, созданием мелиоративных каналов и канав, шахт, дамб, плотин и т.п. Такая деятельность человека может существенно изменить ход геоморфологических процессов, их скорость, направленность и геохимическую сущность, например вызвать процессы засоления в результате солевалов на поверхности земли или создать более благоприятные условия для эоловой денудации и аккумуляции и т.д.

В связи с возрастающей техногенной деятельностью человека по преобразованию естественных форм рельефа и созданию антропогенного рельефа изучению геохимических аспектов этих вопросов должно уделяться большое внимание.

Глава IУ. АТМОСФЕРНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛАНДШАФТАХ

I. Общая характеристика геофизической и геохимической роли атмосферы

Основные положения, сформулированные здесь, характеризуют атмосферу как специфическую геофизико-геохимическую среду, в которой газовое состояние материи является главным. В дисперсном состоянии в ней мигрируют атомы, ионы, коллоиды, вода в форме пара и кристаллов льда, минеральные частицы.

Одной из важнейших особенностей атмосферы является прежде всего то, что она представляет воздушную среду, отличающуюся химическим составом и физико-химическими свойствами от других земных геосфер (литосферы, гидросферы, биосферы). Из табл. I3 и рис.27 видно, что главными элементами атмосферы являются азот, кислород, аргон и углерод. Другие газы представлены в очень малых количествах, но тем не менее они играют весьма важную роль в геохимических процессах земной коры.

Характерно геофизическое строение атмосферы (рис.28), в котором представлены различные зоны, отличающиеся плотностью, газовым и химическим составом, геофизическими процессами. Например, в круговороте тропосфера—биосфера в газовой форме принимают участие N, O, CO_2, CH_4, NH_3, H_2S, а в жидкой форме (через выпадение осадков) — в микроколичествах многие химические элементы во главе с водородом и кислородом воды. Для ионосферы и более высоких слоев характерно атомарное и ионное состояния вещества. Здесь молекулярный кислород преобразуется в атомарный, присутствуют атомы азота, натрия и других элементов. Для ионосферы характерны слои (E и F), представляющие области максимальной концентрации ионно-заряженных частиц. Считают, что слой E представляет результат ионизации ультрафиолетового излучения солнцем молекулярного кислорода, слой F_1 — молекулярного азота, а слой F_2 — атомного кислорода.

Геохимическая роль атмосферы весьма велика в процессах фотосинтеза, метаболизма и дыхания живых организмов, в окислительных и восстановительных реакциях, аэробных и анаэробных процессах. Через процессы испарения, конвекции, турбулентности, тепловую и кинетическую энергию приводится в движение весь механизм планетарного круговорота атмосферы, проявляется ее

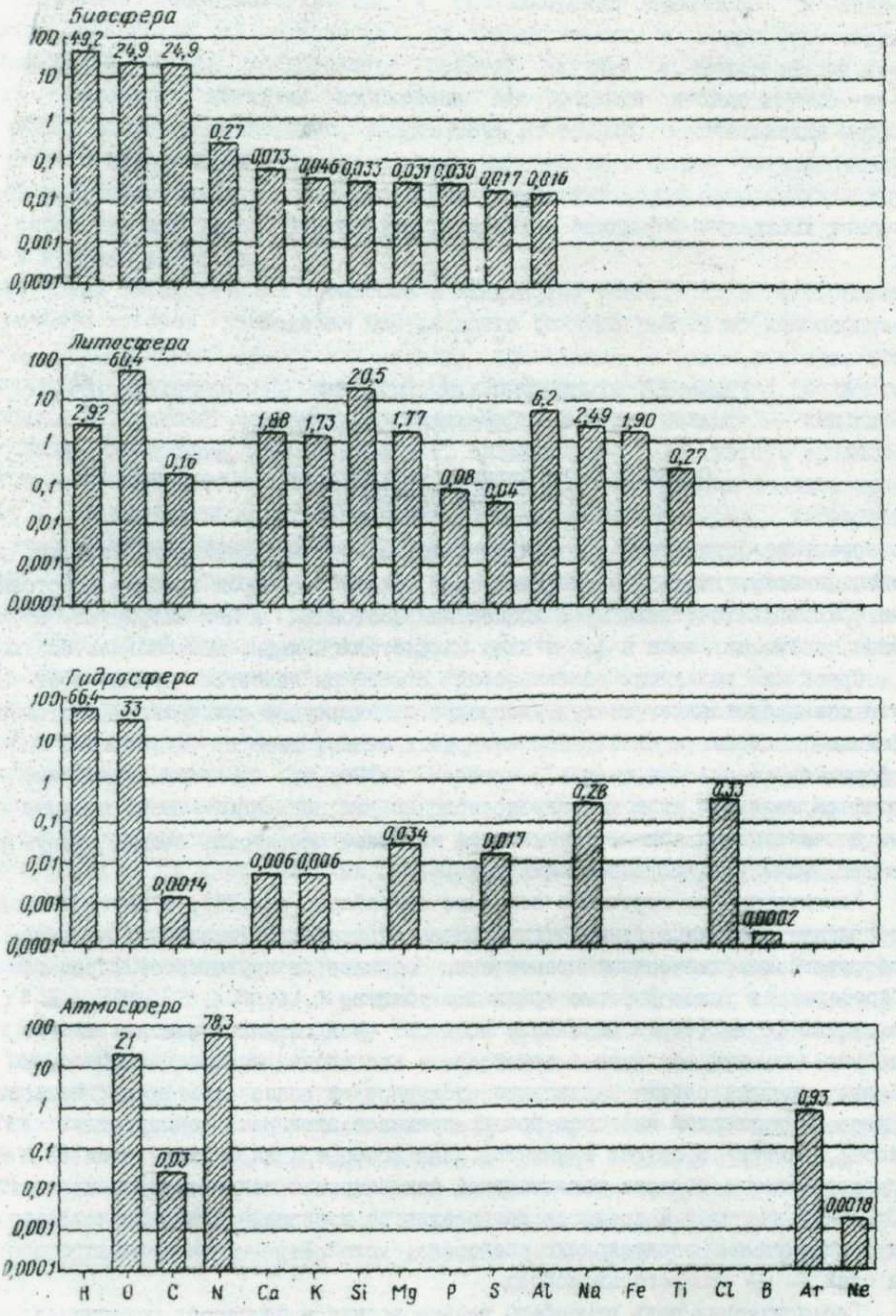


Рис.27. Сравнение (в логарифмической шкале) содержания различных элементов в атмосфере, биосфере, литосфере и гидросфере. Содержание элементов выражено в количестве атомов данного элемента на 100 г вещества каждой сферы (Дажи младший, 1972)

энергетическая роль в использовании солнечного излучения, распределения тепла и воздушной влаги на поверхности Земли. Этот механизм хорошо проиллюстрирован на рис.28. Тепловые градиенты в атмосфере, создаваемые неодинаковым нагреванием ее массы, Океана и суши, в тропиках, средних и нижних широтах, в верхних и нижних частях атмосферы, поддерживают и направляют всю глобальную атмосферную и океаническую циркуляцию, оказывают влияние на климатические условия отдельных поясов, зон и регионов Земли.

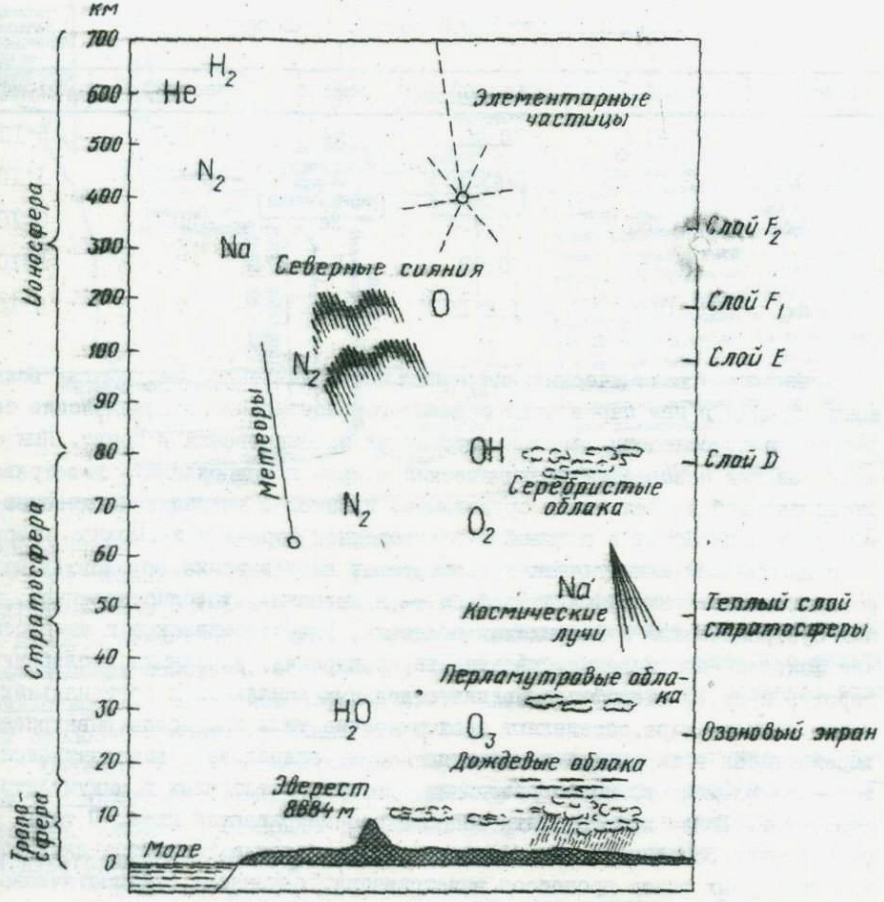


Рис.28. Строение атмосферы Земли (Виноградов, 1973)

Атмосфера является специфическим "приемником" космической энергии, использования солнечной энергии в биосфере. Здесь с момента ее выхода в атмосферу в форме солнечного света и до того момента, когда она возвращается обратно в атмосферу в виде тепла, происходят существенные трансформации и преобразования. Известно, что только около 50% солнечного излучения достигает биосферы (суши и океана), где она наблюдается в форме тепла. Около 30% (в среднем) солнечной энергии рассеивается частицами атмосферы или

непосредственно отражается облаками или поверхностью Земли. Остальные 20% поступающего солнечного излучения используются по-разному. Большая их часть с длиной волны > 2 мкм поглощается в основном водяными парами, частицами пыли и капельками воды в облаках. Этот процесс характерен для тропосферы и ее нижних слоев. Около I—5% излучения (в основном ультрафиолетового) с длиной волны $< 0{,}3$ мкм поглощается озоновым экраном, в котором озон (O_3) и молекулярный кислород (O_2) играют очень важную роль.

Таблица I3

Средний химический состав тропосферы

Элемент	Весовой %	Объемный %	Элемент	Весовой %	Объемный %
N_2	75,3I	78,80	He	$7 \cdot I0^{-5}$	$5 \cdot I0^{-4}$
O_2	23,0I	20,93	K	$3 \cdot I0^{-4}$	$I \cdot I0^{-4}$
Ar	I,286	0,933	Xe	$4 \cdot I0^{-5}$	$9 \cdot I0^{-6}$
CO_2	0,04	0,03	H_2	?	$5 \cdot I0^{-5}$
Ne	$I,2 \cdot I0^{-3}$	$I,8 \cdot I0^{-3}$	Rn	?	$6 \cdot I0^{-I8}$

Важнейшие геохимические значения имеют давление, плотность воздуха, концентрация в нем паров воды и пыли, горизонтальное распределение температуры по поверхности Земли и глубина их проникновения в почву. Ими определяется так называемый геохимический макро- и микроклимат выветривания, биологической деятельности организмов, процессов миграции химических элементов в ландшафтах в газовой и растворенной формах и др. Можно говорить о специфических климатических геосистемах выветривания, обусловленных гидротермическими факторами атмосферы — в холодных, холодноумеренных, влажных субтропических и засушливых областях. Гидротермические и энергетические факторы (прогревание, увлажнение, испарение, инсоляция, колебания температур и др.), специфические для отдельных зональных и региональных климатов земного шара, определяют геохимические типы процессов выветривания, выражающиеся в характере разрушения пород (гидролизе), выщелачивании химических элементов, новообразований, составе остаточных и аккумулятивных продуктов. Более подробно эти вопросы рассматриваются ниже. В табл. I4 суммированы основные геофизические и геохимические параметры пяти основных зональных типов процессов выветривания, связанных с климатической зональностью.

На основании сказанного можно сформулировать геофизическую и геохимическую роль атмосферы в природных процессах ландшафтной оболочки.

Атмосфера участвует во всех природных процессах земной коры и играет исключительно важную роль в выветривании, миграции химических элементов, биосинтезе, метаболизме и дыхании организмов, в преобразовании космической энергии.

Посредством атмосферы и ее воздушных масс на земном шаре совершается планетарный круговорот энергии, тепла, влаги, газов, создаются поясные, зональные и региональные режимы климатических условий.

Атмосферно-климатические условия определяют зональные и региональные условия развития биосферы, ее растительного и животного мира, сезонное их развитие, определенные ритмы, накладывают отпечаток на характер осадочных процессов и фациальный состав продуктов осадкообразования, по которым можно восстанавливать палеогеографические и палеоклиматические условия развития и эволюции географических ландшафтов и биосферы. Можно говорить о

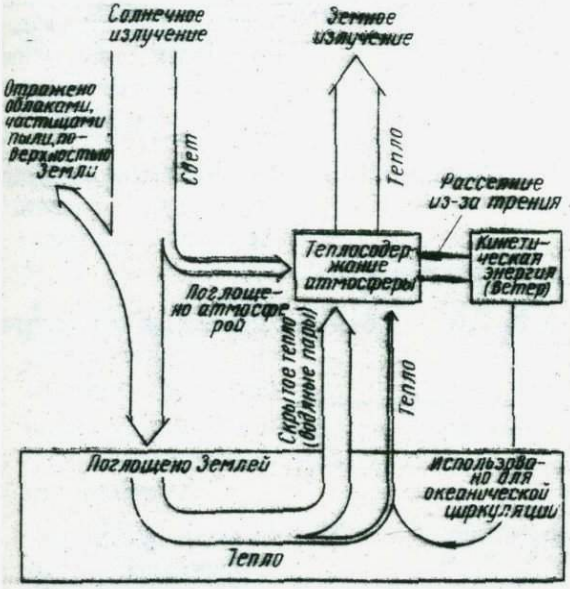


Рис.28. Атмосферная тепловая машина, освещенная по всей атмосфере (Оорт, 1972). Толщина стрелок примерно соответствует интенсивности различных потоков энергии и ее преобразования из одного вида в другой. Оценки к.п.д. атмосферной тепловой машины весьма разнообразны и зависят от величин притока и оттока энергии, принятых при определении к.п.д. Согласно одному из определений (при котором количество энергии, затраченной на возникновение океанических течений, делится на количество всей поступающей солнечной энергии), к.п.д. системы составляет менее 1%

специфических атмосферно-климатических барьерах, представляющих собой то или иное развитие и эволюцию природных ландшафтов в зависимости от горизонтальной и вертикальной зональностей и других факторов.

Атмосферно-климатические условия оказывают влияние на хозяйственную деятельность человека, особенно на те ее сферы, которые связаны с сельским хозяйством, — растениеводство и скотоводство, а также на развитие отдельных отраслей производительных сил и т.д.

Особого внимания заслуживают изучение специфики геохимических процессов в ландшафтах и биосфере в зависимости от климатической зональности в природе, влияние глобальных и местных гидротермических условий на процессы выветривания, почвообразования, состав продуктов гипергенеза и др.

2. Отражение современных климатических условий в геохимических процессах в ландшафтах

Еще в конце XIX в. выдающийся русский ученый В.В.Докучаев, изучая почвы европейской части России, установил тесную зависимость их образования, морфологии и состава от климата, рельефа, подпочвы, растительного и животного мира. На этой основе он создал учение о планетной зональности в природе. Ученый писал, что явления зональности в природе могут быть прослежены гораздо глубже почв, они резко выражены и на характере почти всех четвертичных образований как в европейской, так и в азиатской России. Особенно резко влияние климата в

Таблица I4

Основные параметры геохимических типов процессов выветривания

Геохимический тип	Радиационный баланс, ккал/см² в год	Коэффициент увлажнения, K^x	pH среды	Геохимическое направление процессов выветривания; основные продукты
Резко выраженного физического и слабого геохимического выветривания	I0–35	0,50–I,00 и I,00	3—6	Механогенез; грубообломочные без существенных изменений химического и минерального сырья
Энергичного физического и геохимического выветривания кислого типа	35–50	0,50–I,00	3—5	Глинистая сиаллитизация; гидрослюда, каолинит, вермикулит, лимонит
Интенсивного биогеохимического и геохимического выветривания нейтрального и слабощелочного типов	50–75	0,25–I,00	6—8	Карбонатная сиаллитизация; монтмориллонит, хлорит, палыгорскит, кальцит, гипс
Энергичного термического биогеохимического выветривания сильнощелочного типа	50–75	0,25–0,50	8—I0	Хлоридно-сульфатная сиаллитизация; галлит, мирабилит, тенардит, кальцит, гипс, монтмориллонит
Весьма энергичного геохимического и биогеохимического выветривания кислого типа	75–I00	0,75–I,00 и I,00	3—5	Аллитизация; бемит, гиббсит, гидраргиллит, гетит, гидрогетит

^{x} Отношение суммы осадков к величине испаряемости.

распределении по земной поверхности таких легкоподвижных (легкорастворимых) соединений, как сульфаты, хлориды, азотнокислые и углекислые щелочи и им подобные многочисленные соединения. По мере движения с севера на юг — к приазовским, черноморским и особенно прикаспийским побережьям — замечается весьма характерное, крайне последовательное изменение грунтов: они, видимо, делаются все более и более мергелистыми, все более и более богатыми сернокислыми, хлористыми и иными легкорастворимыми солями.

Таким образом, В.В.Докучаевым процессы выветривания, образования и развития почв, геохимическая миграция легкоподвижных соединений тесно связываются с ландшафтом как органическим целым.

После В.В.Докучаева крупный вклад в изучение химических и биогеохимических процессов, протекающих в ландшафтах (в частности в связи с выветриванием, почвообразованием, аутигенным минералообразованием), внесли К.Д. Глинка, П.А.Земятченский, А.Е.Ферсман, В.И.Вернадский, В.Р.Вильямс, К.К. Гедройц, Б.Б.Полынов, А.П.Виноградов и др.

Учение о зонах природы явилось важнейшим этапом в развитии естественных наук. Оно открыло путь к изучению закономерностей и структуры природных зон и областей Земли во всей их взаимосвязи и взаимообусловленности и положило начало новому взгляду на закономерности природных явлений и процессов.

В настоящее время географическая зональность получила подтверждение не только в отношении почв, растительности и животного мира, но и в отношении продуктов выветривания, геохимических процессов, распределения гипергенных минералов и грунтовых вод, в распространении бактериального населения почвы, гумусообразования и распространения типов болот и т.п. Многие наши труды также посвящены разработке и характеристике процессов геохимического выветривания в зависимости от климатических и ландшафтных условий (К.И. Лукашев, 1938, 1956, 1958).

Главнейшие констатации взаимосвязи между процессами выветривания и климатическими условиями, проявляющимися в специфике зональных и региональных гипергенных образований, кор выветривания и ландшафтов, сводятся к следующему.

1. Климат планеты с его глобальными и региональными особенностями является наиболее универсальным и наиболее общим фактором, определяющим процессы выветривания, почвообразования и характер развития ландшафтов. Влияние его проявляется главным образом через специфические для отдельных географических зон и регионов гидротермические процессы, жизнедеятельность организмов, интенсивность и характер процессов разрушения минерального и органического веществ, миграцию химических элементов и их соединений, образование типоморфных гипергенных продуктов осадкообразования (геохимических типов и фаций коры выветривания) и др.

2. Характер и специфика процессов гипергенеза и образования продуктов выветривания подчинены закону горизонтальной и вертикальной зональностей. Согласно этому закону, для каждой природной зоны характерны специфические геохимические типы коры выветривания и генетические типы почв, определенные подвижные и остаточные продукты гидрогенеза, биогенеза, галогенеза, диагенеза и др. (табл. I5).

В числе главных зональных геохимических типов коры выветривания К.И. Лукашев (1956) выделил и охарактеризовал следующие: литогенный, или обломочный, сиаллитно-глиногенный, сиаллитно-карбонатный, сиаллитно-хлоридно-сульфатный, сиаллитно-ферритный и аллитный. Они отражают специфику процессов выветривания, выноса и накопления элементов и их соединений, изменение и новообразование минералов, кислотно-щелочной характер среды и другие особенности состава и морфологии зональных и региональных типов кор выветривания. Зональные черты ландшафтов территории СССР проиллюстрированы схематической картой ландшафтных зон (рис. 30), выделенных и детально охарактеризованных Л.С. Бергом (1947).

Прослеживая с севера на юг размещение ландшафтных зон тундры, тайги,

смешанного леса, лесостепи, степи, полупустыни, пустыни, субтропиков, можно заметить, что на их физико-географические особенности большое влияние оказывают расчлененность суши, наличие обширных и высоких горных систем, их простирание, географическая широта местности, близость или отдаленность от морских бассейнов и Мирового океана и другие факторы. От них в свою очередь зависят гидротермические условия местности, складывающиеся из годовых и среднемесячных температур, количества осадков и формы их выпадения, аккумуляции, солнечной радиации; ледовые, гумидные или аридные гид-

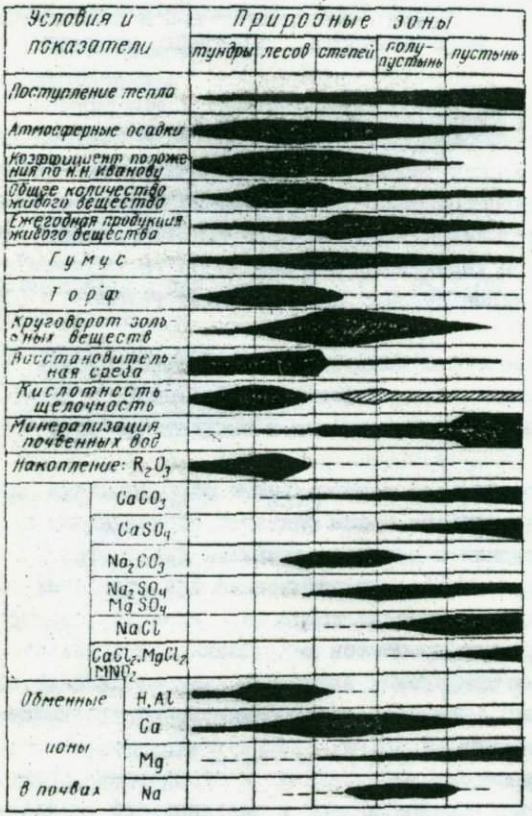


Рис.30. Геохимические особенности ландшафтов на континенте (Перельман, 1961)

ротермические условия процессов выветривания и почвообразования, миграции в ландшафтах химических элементов и их типоморфных соединений; биогеохимическая деятельность организмов и их биологическая продуктивность в ландшафтах; накопление органического вещества в форме гумуса, торфа, сапропелей и т.д.

Рис. 31 и 32 характеризуют особенности геохимических процессов в ландшафтах: первый из них — подвижность и накопление типоморфных элементов и соединений в зональных типах ландшафтов на континентах, второй — кислотно-щелочные условия зональных типов почв (pH почвенной среды).

Как уже известно (К.И.Лукашев, 1956, 1958 и др.), для каждого зонального геохимического типа коры выветривания характерны типоморфные химические элементы, т.е. элементы, определяющие основные особенности геохимии процессов и продуктов выветривания. Типоморфные элементы и их соединения передвигаются в коре выветривания в форме катионов, анионов или в составе

Таблица II

Зональные геохимические процессы в ландшафтах

Зональные климатические условия выветривания и миграции	Геохимия процесса	Геохимический тип процессов выветривания, основные продукты
Тундровой зоны: низкотермические условия выветривания — слабое химическое и биохимическое разрушение пород, почвенные растворы, разной степени кислые	Механическая смесь разрушения: слабый вынос химических элементов, pH низкая	Литогенный (обломочный) тип; мало глин, илы, пески
Таежно-лесной зоны: среднетермические и среднеувлажные условия выветривания; активная роль органических гумусовых кислот; нисходящая миграция растворов; почвенные растворы от слабо- до сильнокислых	Образование смесей гидратов SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 (сиаллитов); накопление SiO_2 в подзолистых горизонтах; вынос Al_2O_3 и Fe_2O_3 в нижележащие горизонты; выщелачивание Cl, Na, Ca, Mg, K и других элементов	Сиаллитно-глинистого состава; неоднородные глины, суглинки, супеси, пески с господством кварца, гидрослюды, каолинита, лимонита и др.
Степной зоны: условия выветривания, переходные между среднетермическими и среднеувлажными и высокотермическими и засушливыми; активная роль органических гумусовых кислот; нисходящая и восходящая миграция растворов; почвенные растворы, нейтральные или слабощелочные	Образование смесей гидратов SiO_2, Al_2O_3 (сиаллитов); накопление Ca, Mg, K и частично Na, но главным образом карбонатов Ca	Сиаллитно-карбонатного состава; глины, лессы, мергели с монтмориллонитом, каолинитом, кальцитом, гипсом
Пустынной зоны: высокотермическое выветривание при недостатке влаги; энергичные псевдотермические процессы; господство восходящей миграции щелочных растворов; слабая роль органического вещества в процессах миграции и накопления элементов	Большая подвижность легкорастворимых солей хлоридов и сульфатов щелочных и щелочно-земельных металлов, а также SiO_2; накопление хлоридно-сульфатных солей Cl, Na, Ca, Mg	Сиаллитно-хлоридно-сульфатного состава; глины, илы, пески с SiO_2, галитом, мирабилитом, гипсом, кальцитом, монтмориллонитом и др.
Тропической влажной зоны: высокотермические и высоковлажные условия выветривания; энергичное развитие процессов выщелачивания и миграции элементов и соединений; почвенные растворы слабокислые, нейтральные или слабощелочные с большими колебаниями pH	Образование сиферритов и аллитов: вынос SiO_2, Ca, Na, Mg, K и др.; накопление Al_2O_3, Fe_2O_3	Аллитно-ферритного и аллитного составов, красноземы, желтоземы, латериты с господством минералов бемита, гиббсита, ретита, гидрогетита и др.

простых и более сложных соединений. Они участвуют в минеральном и органо-минеральном составе коры выветривания, в форме первичных и вторичных минералов, а также различных растворов и т.п. Так, образование кислой сиаллитно-глиногенной коры выветривания протекает главным образом при активной деятельности иона водорода и алюминия, которые вытесняют из поглощенного основания другие (Ca, Mg, Na, K, Cl, S) элементы и существенно влияют на почвообразование, состав грунтовых вод, накопление и рассеяние химических соединений в ландшафтах. Таким образом, водород и алюминий являются типоморфными элементами образования кислой сиаллитно-глинистой коры выветривания.

Образование сиаллитно-карбонатной коры выветривания теснейшим образом связано с активной ролью кальция и магния, особенно кальция, который господствует в поглощающем комплексе сиаллитно-карбонатных почвогрунтов, оп-

Рис.31. pH верхнего слоя почв и климатические условия основных типов и подтипов в пределах СССР (Тюрин, 1937):

1 — подзолистые, 2 — светлые оподзоленные лесостепные, 3 — темные оподзоленные лесостепные почвы; 4 — черноземы выщелоченные; 5 — черноземы мощные; 6 — черноземы обыкновенные; 7 — каштановые темные; 8 — каштановые светлые почвы; 9 — сероземы; 10 — бурозёмы, красноземы

ределяет нейтральную или слабощелочную реакции природных вод, влияет на свертывание коллоидов, мигрирующих в почвогрунте, и другие геохимические особенности ландшафта. Вместе с CO_2 эти элементы участвуют в геохимических процессах карбонатизации, результатом которых является образование углекислых солей и их продуктов (карбонатов). При этом происходит сложное взаимодействие между углеродом, кислородом, кальцием и магнием — главными элементами наиболее распространенных минералов карбонатов (кальцита, арагонита и доломита). В процессах карбонатизации в зоне гипергенеза участвуют обменные реакции, сорбция катионов Ca и Mg и анионов CO_3 и др.

Геохимическое своеобразие сиаллитно-хлоридно-сульфатной коры определяется такими типоморфными для нее элементами, как Cl, Na, Ca, S (в форме SO_4). Эти легкоподвижные элементы в условиях господства испарения над осадками накапливаются в верхних слоях коры выветривания.

В условиях влажных тропиков и субтропиков, где гидротермические условия способствуют глубокому гидролизу и выносу подвижных соединений, активными типоморфными элементами, формирующими геохимическое своеобразие коры выветривания, являются H, Al, Fe, Si, Mn, способные к образованию гидратов глинозема, железа и других соединений и накоплению их в коре выветривания в форме латеритов, красноземов, желтоземов и др.

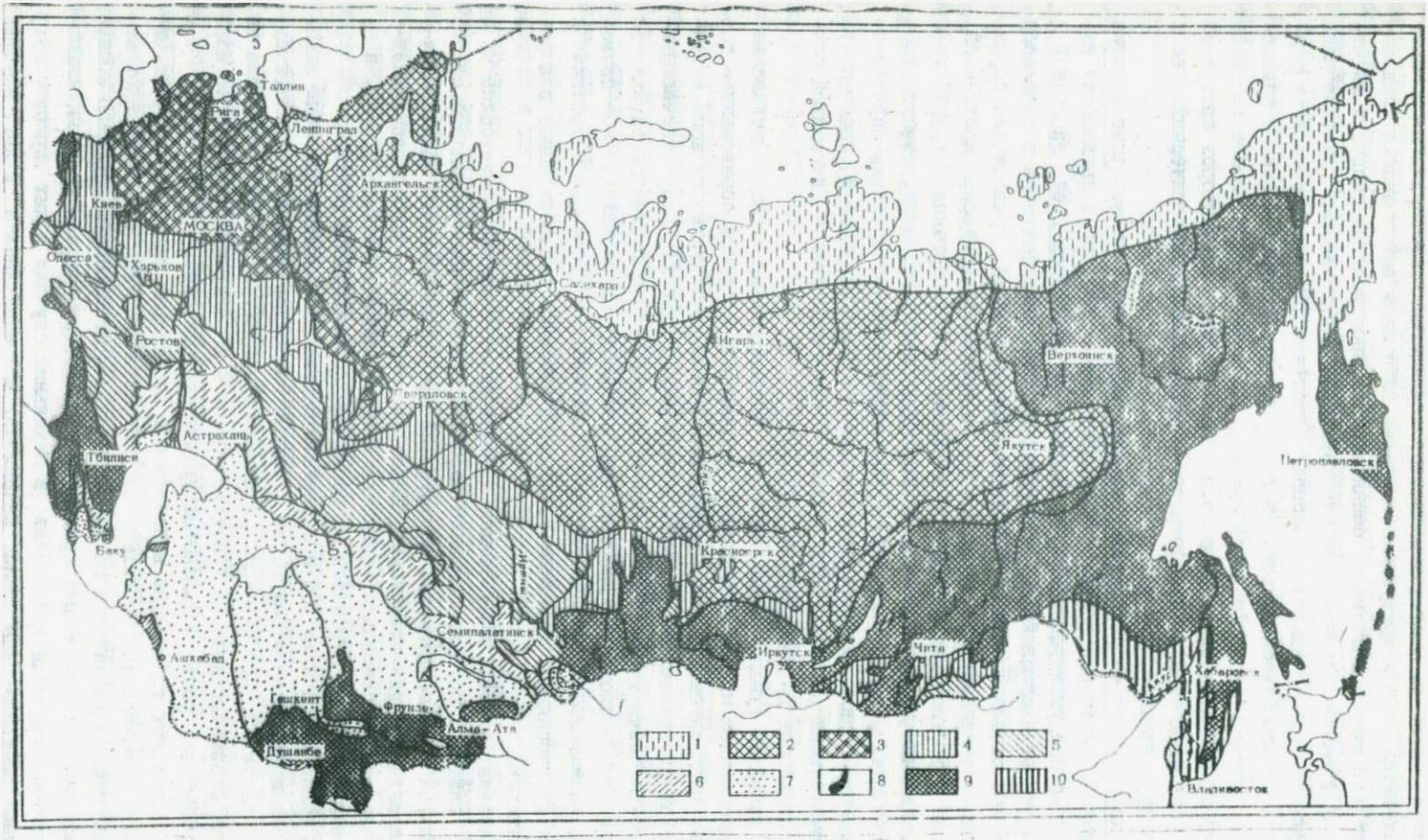


Рис.32. Ландшафтные зоны СССР (Берг, 1947):

1 — тундра; 2 — тайга; 3 — смешанный лес; 4 — лесостепь; 5 — степь; 6 — полупустыня; 7 — пустыня; 8 — субтропики; 9 — горные ландшафты; 10 — широколиственные и смешанные леса Дальнего Востока

На этом основании К.И.Лукашевым (1956) выделены и сформулированы основные положения, характеризующие зональные типы коры выветривания (под последними понимаются зональные, сменяющиеся в пространстве продукты выветривания и почвообразования, характеризующиеся определенными генетическими свойствами и геохимическими процессами, протекающими специфически в разных физико-географических зонах в зависимости от совокупности и взаимодействия факторов географической среды). Правильное истолкование генезиса и характера геохимических процессов в зависимости от факторов природной среды, раскрытие их сущности представляют не только теоретический, но и большой практический интерес.

Что касается pH — показателя, определяющего кислотно-щелочные условия почвенной среды, то его влияние на геохимические процессы в ландшафтах является поистине универсальным. От величины pH растворов и ее изменений в зависимости от взаимодействия в ландшафтах различных факторов и процессов зависит ход окислительных и восстановительных реакций, разложение пород, растворимость наиболее важных для питания растений химических соединений, осаждение и растворение карбонатов кальция, магния, марганца и других элементов, наличие в почвогрунтах тех или иных микроорганизмов, развитие высших культурных и диких растений. В настоящее время установлены определенные значения pH для каждого генетического типа почв, хотя и имеет место его значительная варьируемость в связи с комплексностью и динамикой почвенных процессов во времени (см. рис.32).

В условиях тундры кислый характер почвогрунтовой среды обусловливается накоплением малоразложившихся органических остатков, образованием торфянистых горизонтов, бедных основаниями. В дерново-подзолистой зоне, а также в условиях влажных субтропиков и тропиков кислый характер почвогрунтовой среды создается в связи с глубоким разложением горных пород, выносом из сферы почв и продуктов выветривания оснований, миграцией в толще почвогрунтов значительного количества гумусовых веществ (особенно в тропиках и влажных субтропиках), активным участием в обменных реакциях ионов водорода и алюминия.

В условиях степей, полупустынь биологические и гидроклиматические условия благоприятствуют созданию щелочной среды в широком диапазоне: от нейтральной и слабощелочной, характерной для черноземов, до сильнощелочной, характерной для солончаков. Щелочная среда здесь формируется вследствие накопления оснований (кальция, магния, натрия, анионов Cl, O_4 и др.), накладывающих отпечаток на формирование ландшафтов в целом.

При значении pH ниже 3,5 в почвенном растворе накапливаются ионы водорода, алюминия, железа, марганца и других элементов в концентрациях, вредных для растений. При значении pH выше 8 такое же токсическое действие на растения оказывают ионы OH. Значения pH от 4 до 8 являются наиболее благоприятными для роста большинства культурных растений.

Для зональных типов коры выветривания характерны также типоморфные минеральные образования (табл.16). Из таблицы видно, что для литогенной коры выветривания характерны первичные минералы материнской породы. В составе отложенных (терригенных) продуктов господствуют окислы кремния, алюминия, железа, марганца и др. Лишь в отдельных случаях в них присутствуют вторичные минералы типа опала, халцедона, монтмориллонита и др., которые

обязаны своим происхождением главным образом жизнедеятельности организмов. Однако совсем иной минеральный состав имеет сиаллитно-глиногенный тип коры выветривания. Глинистые фракции сиаллитно-глиногенных продуктов содержат часто значительное количество дисперсных минералов, преимущественно типа гидрослюды, каолинита, вторичного кварца, галлуазита, аллофанов и др. Господствующими при этом являются минералы группы каолинита и гидрослюды.

Таблица 16

Типоморфные вторичные минералы, характерные для отдельных зональных типов коры выветривания

Кора выветривания	Минерал
Литогенная	Первичные минералы, породы, мало измененные в процессе выветривания
Сиаллитно-глиногенная (ненасыщенная)	Каолинит, кварц, гидраты окисей железа (ведущие), галлуазит, гидрослюды и др.
Сиаллитно-карбонатная	Кальцит, монтмориллонит, бейделлит (ведущие), доломиты
Сиаллитно-хлоридно-сульфатная	Галогенные и сульфатные соли (ведущие), хлориды, мусковит-серицит и др.
Сиаллитно-ферритная и аллитная	Гидраты окиси алюминия (ведущие) и железа, каолинит, кварцит и др.

Минералогическое своеобразие также характерно для сиаллитно-карбонатной коры выветривания, в которой преобладают монтмориллонит, бейделлит, видное место занимают карбонаты кальция и магния — кальцит, доломит и др. Присутствие последних обусловливает карбонатность и резкое отличие этого типа коры выветривания от других зональных поверхностных образований.

Далее, в зоне пустынь, минеральный состав коры выветривания резко изменяется в сторону господства в продуктах выветривания галогенных и дегидратированных минералов самого разнообразного состава. Они являются типоморфными для данного зонального геохимического типа коры выветривания, и ими определяются состав и морфологические особенности в строении толщи почвогрунтов.

Наконец, аллитно-ферритный и аллитный типы коры выветривания характеризуются специфическими для них типоморфными минералами сиферритов и аллитов. Среди них определяющими геохимический характер продуктов выветривания являются гидратные окислы алюминия и железа, бемит, диаспор, гиббсит и др. Зональная закономерность в образовании вторичных минералов часто весьма существенно нарушается составом первичных пород, кислотностью среды, условиями синтеза коллоидов, продолжительностью образования и другими факторами.

Геохимическое изучение коллоидных минералов различных типов коры выветривания, условия их образования представляют для науки и практики огромный интерес.

3. Некоторые особенности геохимических процессов гипергенеза в зависимости от климатических условий Белоруссии

Как отмечалось выше, территория Белоруссии расположена в ландшафтной зоне смешанного леса. Климатические условия ее характеризуются умеренной континентальностью. Годовое количество осадков составляет 600–650 мм на северо-западе и 550–600 мм на юге и юго-востоке. Максимум осадков выпадает летом. Среднегодовые амплитуды температуры воздуха колеблются от 22,7°С на западе до 26,1°С на востоке. Максимальные температуры, связанные с летними месяцами, достигают 34—38°С на юго-востоке. На климатические условия Белоруссии оказывают влияние морские ветры, дующие с Арктики и Атлантики. Арктические ветры вызывают похолодание, атлантические -- потепление климата Белоруссии. С западными циклонами связано выпадение осадков.

Радиационный баланс (т.е. приход-расход лучистой энергии, получаемой и излучаемой атмосферой) в среднем за год является положительным и равен 37—42 ккал/см^2, увеличиваясь с северо-востока на юго-запад. Около 84% годового радиационного баланса расходуется на испарение. На значительной части территории грунтовые воды находятся близко от земной поверхности. В зоне активного водообмена господствуют процессы элювиального промывания и выщелачивания продуктов выветривания. В геохимической миграции активно участвуют элементы первой и второй групп периодической таблицы Д.И.Менделеева, а также ионы окисного и закисного железа, сульфат-ион SO_4. В ландшафтах перемещается большое количество органического вещества — продуктов разложения опада и болотных процессов.

Мигрирующая способность химических элементов в ландшафтах определяется основными геохимическими типами процессов и связанными с ними геохимическими барьерами, оказывающими влияние на подвижность или осаждение химических элементов (табл.17).

Для ландшафтных условий Белоруссии характерными типами геохимических процессов являются: кислый глинистый, кислый силицитный, кислый глеевый, сиаллитно-карбонатный. В ходе геохимического выветривания образуются глинистые минералы типа гидрослюды, каолинита, монтмориллонита, аллофанов, гидроокислы железа и марганца, вторичные образования кварца, сложные комплексы типа SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, карбонаты (преимущественно кальция: кальцит, сидерит) и др.

В результате выветривания в зоне гипергенеза накапливаются главным образом сиаллитно-глинистые, сиаллитно-карбонатные, сиаллитно-железистые, силицитные геохимические продукты осадкообразования.

Сиаллитно-глинистые продукты выветривания и осадкообразования образуются при участии основных геохимических реакций: гидролиза, гидратации, выщелачивания и катионного обмена. При этом происходит разрушение первичных материалов, гидролитическое их разрушение, выщелачивание большей части Na, Ca, Mg, K, высвобождение Al_2O_3, SiO_2 и Fe_2O_3, образование алюмосиликатов и алюмоферритных коллоидов и глинистых минералов. Возможны следующие случаи поведения SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3. В геохимической среде от нейтральной до щелочной, в которой концентрация ионов Ca и Mg незначительна, SiO_2 может выноситься в растворе вместе с Na и K; в умеренно кислой среде (pH 4,5–6,5) SiO_2 и Al_2O_3 являются малоподвижными, они образуют глинистые

коллоиды и минералы; в сильно кислой среде и среде, богатой органическими кислотами, Al_2O_3 и Fe_2O_3 могут выноситься в растворе. Установлено, что образование гидрослюдистого минерала — иллита — происходит в среде, характеризующейся достаточным количеством SiO_2 при отсутствии ионов Ca, Mg и Fe_2, высокой концентрации в растворе K, дефиците положительных электрических зарядов внутри кристаллических ячеек. Минералы группы каолинита — галлуазита образуются в среде, из которой выносятся Ca, Mg, Fe_2, Na, K и накапливаются H и Al. Характерными геохимическими процессами образования монтмориллонитов являются относительно высокое накопление Si, Mg, Fe, Ca (в условиях щелочной среды), относительное обеднение Al по сравнению с Si, неполное выщелачивание металлических катионов. Глинистые отложения зоны гипергенеза являются образованиями, не насыщенными основаниями. Сиаллитный характер их определяется соотношением первичных и вторичных силикатных минералов, характером выноса подвижных соединений и накоплением остаточных продуктов выветривания. Определяющую роль в этих процессах играют гидротермические условия выветривания, вызывающие глубокое гидролитическое разрушение минералов, систематический вынос подвижных продуктов геохимического разрушения, обменные реакции между основными химическими элементами, колебания pH среды, определяющие кислотно-щелочной характер водных растворов и др.

Таблица 17

Основные геохимические типы процессов в ландшафтах

Тип геохимического процесса	Типоморфные элементы, ионы и соединения	Минеральные образования	Геохимический тип ландшафта
Кислый (pH 4–6,5)	H^+, SiO_2, CO_2, гумусовые кислоты	Глинистые минералы (каолинит, гидрослюда, гидроокислы Al, Fe, лимонит)	Элювиальные ландшафты умеренной и влажно-тропической зон
Сернокислотный (pH 1—3)	H^+, SO_4^{2-}, подвижные Cu, Zn, Al, Mn и др.	Сульфаты железа и алюминия, карбонаты, фосфаты тяжелых металлов	Ландшафты надрудных участков зоны окисления сульфидов, кислых засоленных квасцовых почв
Кислый (силицитный)	H^+, SiO_2	Первичные и вторичные кремнистые соединения	Пески эоловых аккумуляций пляжей и др.
Кислый (глеевый)	H^+, Fe^{2+}, Mn^{2+} и др.	Сидерит, вивианит, ферросиликаты и др.	Гидроморфные болотные и луговые ландшафты
Карбонатный	Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-	Кальцит, доломит, пиролюзит и др.	Элювиальные и гидротермальные ландшафты, лесостепные, степные
Хлоридно-сульфатный с вариациями сульфидно-хлоридного, гипсового, содового и др.	Na_2^+, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, SO_4^{2-} (в гипсовом), Na^+, HCO_3^- (в содовом)	Галит, гипс, ангидрит, сода и др.	Элювиальные, гидроморфные и гидроаккумулятивные ландшафты пустынь и полупустынь

Сиаллитно-карбонатные продукты выветривания и осадкообразования характерны для лессовых пород, морен, перегнойно-карбонатных почв, донных осадков озер и луговых мергелей. Геохимия процессов и способов гипергенного образования карбонатов разработана и охарактеризована в ряде работ (К.И. Лукашев, 1962; В.К.Лукашев, 1970 и др.). Источниками карбонатообразования в осадочной толще являются: выветривание и выщелачивание горных пород путем непосредственного действия CO_2 на горные породы; химические процессы, ведущие к выпадению карбонатов в осадок из растворов; биогенная деятельность организмов, бактерий, способных разлагать органическое и неорганическое вещество и освобождать Ca, Mg, CO_2 после смерти и разложения их детритов; диагенетические и эпигенетические изменения осадков, содержащих кальций и магний, под воздействием растворов, богатых углекислотой.

Значительным источником образования карбонатов при выветривании являются кальциевые полевые шпаты, пироксены и амфиболы в кристаллических породах, карбонатные минералы в осадочных. Они разлагаются слабыми растворами углекислоты (H_2CO_3) с образованием глинистых минералов и переходом Ca и других оснований в водный раствор.

Отметим, что бикарбонатные растворы химически очень активны. Они могут растворять кварц и полевые шпаты, отлагая взамен карбонаты. В продуктах выветривания карбонаты могут присутствовать в распыленном состоянии, покрывать пленкой обломочные частицы, заполнять различные трещины и ходы корней растений, а также в виде разнообразных конкреций.

Как отмечалось выше, процессы образования карбонатов, их взаимодействия с продуктами выветривания и осадочными отложениями получили название процессов к а р б о н а т и з а ц и и . Эти процессы играют большую роль в образовании сиаллитно-карбонатной коры выветривания и ее фациальных разновидностей (по содержанию карбонатных минералов — кальцита, арагонита, доломита, сидерита, радохрозита, магнезита и др.).

Сиаллитно-железистые продукты выветривания и седиментации также являются характерными для гипергенеза Белоруссии. Железо в них представлено в разных минеральных и биогенных формах:

1) в виде остаточных минералов — магнетита, гематита, ильменита, пирита, оливина, гиперстена и др.; доминируют в составе четвертичных отложений;

2) в виде окисных и гидратных минералов вторичного происхождения — лимонита, гидрогетита, сидерита, вивианита, нонтронита, шамозита; представлены главным образом новообразованиями разной формы (конкреций, гнезд и др.);

3) в ионном и коллоидном состояниях в растворах и в форме сорбентов в глинистых минералах;

4) в составе железобактерий, при массовых скоплениях которых в болотах и водоемах образуются залежи болотной или дерновой руды. На дне водоемов с деятельностью железо- и сульфобактерий, генерирующих сероводород, связано образование сульфатных минералов.

Железо повсеместно фиксируется во всех генетических типах четвертичных отложений, а местами и в виде залежей болотных железных руд. Высоким содержанием железа отличаются современные озерные отложения. В заметных ко-

личествах железо аккумулируется в иллювиальном горизонте подзолистых почв, куда оно включается вместе с другими элементами (Al, Cu, Mn , Co, Ni , V и др.). Основными формами миграции железа в ландшафтах являются коллоидные и ионные, а также железо-органические соединения.

Высокая миграционная способность железа связана с восстановительными условиями, кислым глеевым классом водной миграции, сернокислыми условиями в местах распространения сульфидных минералов, ландшафтами, богатыми органическим веществом, условиями с резкими колебаниями pH-Eh среды, благоприятными для обратимых реакций двух- и трехвалентного железа. Все это обусловливает исключительно важную роль железа в образовании различных сиаллитно-железистых форм коры выветривания и седиментации. В минералах железа видное место занимают гипергенные образования -- продукты активных окислительно-восстановительных процессов. Напомним, что железо в минералах очень чувствительно к окислению. При этом образование окисей железа сопровождается разрушением структуры минерала, поэтому первичные минералы, содержащие железо, подвергаются выветриванию одними из первых. Большинство солей трехвалентного железа, хорошо растворимого в воде, выделяются из растворов в виде кристаллогидратов. Железо обладает большой способностью образовывать комплексные соли и органо-минеральные соединения. В настоящее время хорошо изучены пороговые значения pH, при которых происходит осаждение двух- и трехвалентных форм железа с образованием тех или иных концентраций его в продуктах седиментации.

Силлитные продукты выветривания и седиментации широко представлены в Белоруссии оподзоленными горизонтами почв, высоким содержанием SiO_2 во всех генетических типах покровных отложений, аккумуляциями песчаных пород в форме дюнных и других накоплений, кремнеземными типами сапропелевых образований в озерах. В одних случаях они являются остаточными продуктами выветривания и седиментации, в других образовались в результате переотложения терригенного материала и его механической и геохимической дифференциации.

Сложные геохимические процессы образования кремнезема протекают при выветривании горных пород и почвообразовании.

Процессы выветривания, сопровождаемые растворением и гидролизом, ведут к освобождению кремнезема из силикатов и алюмосиликатов и накоплению его в виде кварца (SiO_2), образованию коллоидных и метаколлоидных форм кремнезема (опал, халцедон); возникновению алюмокремнитовых и феррикремниевых соединений типа $Al_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$, $Fe_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot H_2O$. Важным источником образования SiO_2 являются живые организмы, их отмирающие остатки, с которыми кремний поступает в почву в форме кристаллических включений кварца, кристобалита и растворенной кремнекислоты. Особенно большое количество SiO_2 организмы отлагают на дне озерных водоемов биогеохимическим путем в результате жизнедеятельности организмов.

4. Отражение палеоклиматов плейстоцена в осадочных процессах в ландшафтах

В течение историко-геологического развития земной коры и палеоландшафтов атмосферно-климатические факторы претерпевали существенные колебания, связанные с общими ритмами и циклами развития Земли. Наиболее фиксируемые

изменения палеоатмосфер и климатов получили отражение в смене холодных (ледниковых) и теплых (неледниковых) эпох. Теплые эпохи господствовали на земной поверхности, холодные зафиксированы в развитии ландшафтов и осадочных процессов начала протерозоя, верхнего карбона — начала перми, в мезозое, второй половине кайнозоя. Наиболее хорошо изучены специфические особенности палеоклиматов четвертичного периода. Этому периоду свойственны в основном следующие зональные климатические режимы: гляциальный (ледниковый), перигляциальный (типа климата областей вечной мерзлоты); плювиальный (типа климата влажных умеренных зон), ксеротермический (засушливый), субтропический и тропический влажный.

Соответственно формировались и изменялись географические зоны, происходили геофизические и геохимические процессы в ландшафтах, изменения в органическом мире.

Палеогеографическое изучение четвертичной толщи Белоруссии позволяет говорить о трех основных типах палеоклиматов, получивших отражение в строении и составе осадков: ледниковом, межледниковом и перигляциальном.

Ритмическое чередование ледниковых и неледниковых палеогеографических обстановок — главная особенность палеоклиматов плейстоцена, характерная не только для Белоруссии, но и для обширных областей Северного полушария. Первый ритм (гюнцкий, в Белоруссии, вероятно, варяжский) крупных климатических изменений, по данным изучения осадочных отложений, занимает период между плиоценом и началом плейстоцена, второй ритм связан с миндельским оледенением (в Белоруссии — березинским), третий — с рисским (днепровским, шкловским), четвертый — с вюрмским (валдайским) с соответствующими им межледниковыми эпохами, веками и стадиями. Установленная ритмичность в чередовании ледниковых и межледниковых эпох связана прежде всего с планетарным положением Земли, ее взаимодействием с Солнцем и сложными процессами тектонической и астрономической жизни.

Наиболее древними нижнечетвертичными отложениями территории Белоруссии являются моренные валунные супеси и суглинки гюнцского возраста (варяжский горизонт), выявленные в последнее время в Поозерье (Лукашев, Вознячук, 1968). Характерной особенностью этих отложений, широко распространенных также в Литве, является высокое содержание крупнообломочного плохо сортированного материала, представленного породами Аландских островов, Финляндии и Балтийского моря (аландские порфиры, финские рапакиви и граниты, выборгит, балтийский порфир) и продуктами их выветривания. Цвет отложений серый до черного с зеленоватыми и бурыми оттенками. Мощность до 30 м.

Выше по разрезу залегают отложения гюнц-миндельского межледниковья (беловежский горизонт), выявленные в центральной и южной частях республики. Они представлены алевритами, супесями, карбонатными суглинками, мергелями, гиттиями, реже сапропелитами и торфами, отлагавшимися в озерных либо старичных условиях, а также песками, алевритами и суглинками древних русел рек. Общая мощность беловежского горизонта около 30 м. Климатические условия этого времени характеризовались, вероятно, выраженной континентальностью и относительной сухостью. Увлажненность ландшафтов была меньшей, чем, например, в течение муравинского и ликвинского межледниковий. В межледниковой флоре видное место занимали широколиственные породы. В озерах происходило отложение карбонатных осадков.

Следующее миндельское (березинское) оледенение распространялось почти на всю территорию Белоруссии, исключая юго-восточную часть Гомельской области. Его моренные отложения вскрыты скважинами в центральной части Белоруссии, местами в Полесье или встречены в обнажениях по Неману (близ Гродно) и Днепру (у Орши). Они сложены суглинками, супесями, алевритами и песками преимущественно темно-серой окраски. Характерными особенностями этих осадков является наличие отторженцев палеоген-неогеновых пород. Мощность отложений от 2 до 100 м. Березинские ледниковые осадки сменяются лихвинскими (миндель-рисскими) межледниковыми отложениями. Последние выходят на поверхность в долинах Днепра, Немана и Западного Буга, а также слагают Белорусскую гряду на глубинах до 70 м. Сложены они аллювиальными песками с гравием и галькой русловой фации, пойменными суглинками, торфяниками старичной фации, а также озерными гиттиями, диатомитами и мергелями и болотными низинными торфами. Мощность до 25 м.

От момента таяния березинского ледника до наступления следующего, днепровского (рисского) оледенения И.А.Махнач (1971) выделяет на территории Белоруссии 5 основных фаз лесной растительности: березовые, еловые, смешанные хвойно-широколиственные с орешником, смешанные сосново-березовые и березовые леса. Как отмечает Л.Н.Вознячук (1972), лихвинские смешанные флоры и пыльцевые диаграммы воспроизводят довольно богатую мезофильную, лесную, болотную и водную растительность длительного умеренно теплого межледниковья, в составе которой большую роль играли, особенно в период первого климатического оптимума, экзотические и другие термофильные виды.

Отложения рисского оледенения (днепровской и московской фаз) имеют максимальное распространение на территории БССР, слагая толщу до 150 м. По мнению большинства исследователей, во время днепровского оледенения вся территория республики была покрыта сплошным льдом.

Границу московской стадии оледенения исследователи проводят по-разному. А.И.Москвитин считал, что московский ледник доходил до линии верховье Припяти—Мозырь—Речица. М.М.Цапенко проводила эту границу по линии Брест—Пинск—Мозырь—Чернобыль—Новозыбков, а Л.Н.Вознячук — по линии верховья Нарева и Ясельды—Лысково—Коссово—Ганцевичи — Солигорск—Бобруйск—Могилев—Рославль.

Отложения днепровского оледенения широко развиты на всей территории Белоруссии, а московского слагают главным образом Белорусскую гряду и прилегающие к ней возвышенности, выходя на долины Немана и Днепра.

Днепровская морена на севере республики залегает на глубинах 20—50 м и имеет мощность 15—20 м (в центральной части имеет мощность 30—40, до 100 м), на юге она сохранилась лишь в отдельных местах и характеризуется мощностью до 15 м. Отложения днепровской морены представлены валунными супесями с песками, алевритами, суглинками и гравийно-галечной смесью. Характерными особенностями этих отложений являются высокое содержание (часто в виде крупных отторженцев) карбонатных пород с фауной силура, девона, юры, средние значения коэффициента выветрелости минералов тяжелой фракции (0,35), низкие величины окатанности зерен песчано-алевритовой фракции (0,14) и т.д.

Отложения московского оледенения представлены аналогичными днепровскими образованиями, но отличаются большей песчанистостью и выветрелостью ма-

териала. Преобладает бурая окраска. Мощность отложений до 30 м.

В целом на территории Белоруссии выделяется несколько фаз отступлений днепровского ледника в днепровскую и московскую стадии, сопровождавшихся образованием сложного эрозионно-аккумулятивного рельефа и накоплением моренных отложений гетерогенного состава.

Таяние и отступание рисских ледников определило палеогеографическую специфику рисс-вюрмского (муравинского) межледниковья. Территория характеризовалась значительной увлажненностью — широким развитием озер и болот, хвойных, широколиственных и смешанных хвойно-широколиственных лесов. Это определило образование озерно-болотных аккумуляций — торфа, сапропеля, мергеля. Расширившиеся речные долины были выполнены мощной толщей аллювия (10—15 м).

Аллювиальные отложения этого возраста, как и в долинах рек бассейна Днепра и Немана, представлены русловыми песками, пойменными пойвато-супесями и суглинками, старичными гумусированными песками, суглинками и опесчаненными торфами общей мощностью до 20 м. В межледниковых разрезах районов Тимошковичи, Мозырь, Комотово и других встречены погребенные дерново-подзолистые, глеевые и торфянисто-болотные почвы. Муравинскими являются выходы известковых туфов в долине Западной Двины близ д. Дречалуки.

Валдайские (вюрмские) моренные аккумуляции, по мнению большинства исследователей, распространены только в северной части Белоруссии. Л.Н.Вознячук южную границу этого оледенения проводит через Вильнюс—Свирь—Лепель—Сенно—Ореховск, М.М.Цапенко — по линии оз. Нарочь — р.Плисса—Лепель—Городок—Усвяты—Лиозно. Южнее, на территории Полесья, отложения, относимые к этому возрасту, представлены зандровыми песчаными аккумуляциями. Ледниковые отложения представлены на севере конечноморенными образованиями, озами, камами, а также широко распространенными в Поозерье озерно-ледниковыми ленточными глинами. С отступанием вюрмского ледника на территории Белоруссии стала формироваться физико-географическая обстановка голоцена со всеми присущими ей климатическими условиями. Подробнее эти вопросы характеризуются ниже.

Естественно, что плейстоценовая толща отложений полностью отражает специфику химического выветривания пород, накопление в ней неорганического и органического вещества, его состав и особенности осадочного литогенеза. Необходимо констатировать, что палеогеохимические условия литогенеза резко изменялись на протяжении четвертичного периода, однако характер четвертичной истории, стадии выветривания и литогенеза ограничивался лишь образованием продуктов литогенного, сиаллитного и биогенного составов, характерных для областей холодно-умеренного климата. В плейстоценовой толще совершенно не обнаружено признаков галогенного, аллитного и аллитно-ферритного типов выветривания и литогенеза, характерных для засушливых и влажных субтропических и тропических условий.

Анализ литогеохимических данных показывает также, что в стратиграфическом разрезе плейстоценовой толщи геохимические обстановки литогенеза характеризуются значительными колебаниями между кислыми и щелочными условиями среды в зависимости от вещественного состава седиментационного материала, присутствия в них карбонатного и органического вещества, состава

поверхностных и грунтовых вод, поступающих в четвертичную толщу, и других факторов.

В изученной плиоцен-нижнеплейстоценовой толще отложений, в обстановке господства щелочной среды формировались продукты литогенеза, обогащенные сиаллитами монтмориллонитового типа, гидроокислами и силикатами железа и марганца и карбонатами кальция и магния. Соответственно среди геохимических типов продуктов широко представлены сиаллитно-глинистые (монтмориллонитового типа), сиаллитно-ферритные (лимонитового типа), сиаллитно-карбонатные продукты. Глинистые продукты часто характеризуются пестрой окраской с пятнами красного, желто-бурого и малинового цвета. Щелочные условия способствовали разделению железа и марганца и их обособленному накоплению в осадках.

В обстановке господства кислой среды формировались продукты гипергенеза сиаллитно-глинистого, сиаллитно-ферритного, сиаллитно-силицитного и биогенного типов. Активная роль в процессах гипергенеза и миграции элементов принадлежит кислым растворам и органическому веществу. Из глинистых минералов в осадках заметно представлены гидрослюды (иллит) и каолинит.

В стратиграфическом разрезе смена геохимической обстановки литогенеза на основании полученных данных может быть охарактеризована следующим образом. Палеогеохимические особенности пограничного плиоцен-плейстоценового литогенеза заключаются прежде всего в характере материала, участвующего в гипергенных процессах. В состав осадков входят переотложенные продукты выветривания палеоген-неогеновых пород. Они отличаются заметной карбонатностью и содержанием глинистых минералов группы монтмориллонита и хлорита.

Древнечетвертичные моренные и другие генетические типы отложений во многом унаследовали вещественный состав неогеновых отложений. Влияние последних четко проявляется в моренах гюнцского и миндельского возрастов. Для них также характерна большая карбонатность за счет обильного включения меловых пород, что может служить коррелятивным критерием для морен.

Между отложениями ледниковых формаций (морена, флювиогляциальные пески, озерно-ледниковые глины) разных эпох оледенения существует довольно выдержанное соотношение в перераспределении вещества, что в значительной степени указывает на гидротермическую идентичность условий осадконакопления. Вместе с тем такие геохимические критерии, как отношение FeO/Fe_2O_3, карбонатность, состав минералов, особенности распределения химических элементов (Fe, Mn, S и др.), между отдельными литофациями морен межледниковых и перигляциальных отложений резко колеблются.

5. Отражение палеоклимата в развитии природы голоцена

В наших работах (К.И.Лукашев, 1961, 1971; В.К.Лукашев, 1967) на примерах изучения озерно-болотных отложений, пыльцевых диаграмм разрезов и других данных охарактеризованы палеоклиматические и палеогеографические условия развития ландшафтов и процессов осадкообразования в голоцене.

Напомним, что для голоцена характерны колебания климата, выраженные в выделении климатических периодов: предбореального, бореального, атлантического, суббореального и субатлантического (рис. 33). По мнению М.И.Нейштадта (1971), при рассмотрении климатических особенностей голоцена необходимо

важную роль отводить так называемому пограничному горизонту торфяников, широко распространенных не только в СССР, но и во многих странах Западной Европы. Верхний уровень этого горизонта характеризует резкую смену климатических условий в глобальном масштабе на рубеже между средним и поздним голоценом (суббореально-субатлантический контакт). К этому времени привязывается теплая климатическая фаза, известная под названием климатического оптимума. Считают, что в этот период происходило повышение фирновой границы в горах Западной Норвегии на 200–300 м и сокращение

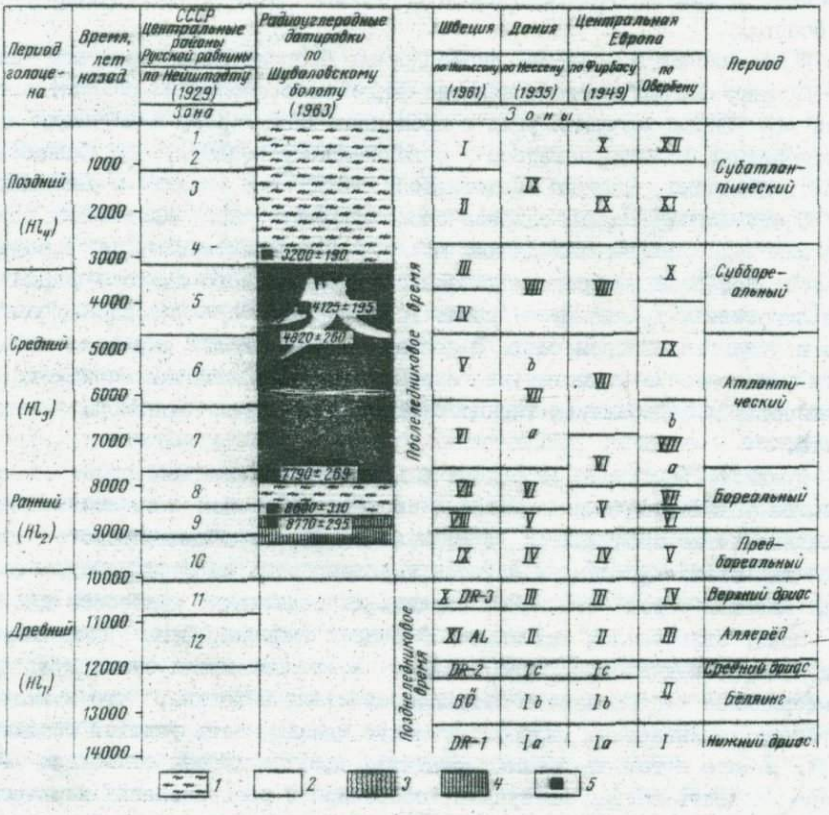


Рис.33. Схема подразделения и хронология голоцена (Нейштадт, 1971):

1 — сфагновый торф (фускум); 2 — пограничный горизонт; 3 — тростниковый торф; 4 — древесный торф; 5 — места отбора проб на C^{14} (рядом указаны полученные датировки)

ледников Аляски. Очевидно, что климатический оптимум отражает изменения климата во всем Северном полушарии. В фазу оптимального максимума граница леса продвинулась больше чем на 200 км. При наступившем затем похолодании леса отодвигались к югу, в горных же районах происходило некоторое расширение ледников. Как показывают палеоклиматические исследования С.П.Хромова

(1964) и других, на протяжении последних 7000 лет сухой и теплый климат сменялся более влажным и прохладным. Это согласуется с данными Л.С.Берга (1947) о "субатлантическом" времени, сменившем атлантическую и суббореальную эпохи с более ксеротермическим климатом, на протяжении которого природные зоны смещались к северу. Такого же взгляда придерживается и А.В. Шнитников (1957) при исследовании вопроса общей увлажненности материков Северного полушария за доисторическое и историческое время.

Анализ многолетних среднегодовых колебаний температуры на территории Белоруссии дает представление об их общей тенденции в новейшее время (Лукашев, Шкляр, 1970).

Представляют интерес средние температуры десятилетий с 1842 по 1967 г., которые рассматривались на трех станциях: Горки, Минск, Василевичи. Подтвержден вывод о повышении температуры воздуха в конце XIX и начале XX веков на территории республики как в зимние, так и в летние месяцы. Максимальное повышение годовой температуры приходится на 1934—1943 гг.(5,4°С), минимальное понижение — 1875–1884 гг. (–4,2°С).

Для Белоруссии установлено, что в южных районах по сравнению с северными начинает острее чувствоваться тенденция к понижению средней годовой температуры. Годовой ход осадков в еще большей степени, чем годовой ход температуры, обнаруживает резкие колебания.

Анализ хода скользящих 10–летних годовых сумм атмосферных осадков показывает, что десятилетия с максимальными суммами осадков соответствуют десятилетиям, когда годовые температуры были ниже нормы. Считают, что это вызвано усилением циклонической деятельности, с которой связан рост облачности и количество атмосферных осадков.

В работе Л.Н.Вознячука, О.П.Леонович и К.И.Лукашева (1969) климатические изменения в голоцене, отраженные в смене растительности и осадочных процессов, характеризуются следующим образом.

Ранний голоцен (10300—7000 лет назад). Постепенно усиливается потепление. Климат континентальный, в предбореальное время еще довольно прохладный, в бореальное — теплый и относительно сухой. Леса вначале березовые несомкнутые и березово–сосновые, а затем сосновые и смешанные хвойно–широколиственные со сравнительно небольшим участием широколиственных пород (вяза, липы, дуба) и с лещиной в подлеске. Уровень озер относительно низкий (ниже современного). Озера, находящиеся в большинстве случаев на олиго– и мезотрофной стадиях развития, зарастают слабо. В них отлагаются преимущественно глинистые, известковистые, кремнеземистые и в меньшей мере органические детритовые сапропели. Время наиболее интенсивного выщелачивания грунтов и образования пресноводных известковых отложений озерного и родникового происхождения. Формируются преимущественно низинные и переходные торфяники. В предбореальное время с образования пушицевого, сосново–пушицевого, фускум– и медиум–торфа начинается непрерывное накопление верховых торфов и возникают первые олиготрофные торфяники. В начале предбореального времени завершается вытаивание погребенного льда, прекращаются термокарстовые процессы и образование дюн на поверхности песчаных низин и валдайских речных террас. Довольно интенсивные поднятия земной коры, имевшие место в конце позднеледниковья—самом начале предбореального (иольдиевского) времени, вызывают врезания рек и образование уступа треть–

ей надпойменной террасы Немана, Западной Двины и их притоков, а также окончательное оформление первой надпойменной террасы Днепровского бассейна. В раннем голоцене тектонические движения ослабевают. К его началу приурочена граница между палеолитом и мезолитом.

Средний голоцен (7000–3300 лет назад). Уменьшение континентальности климата, начавшееся в конце бореала (фаза H_3), продолжается. Наступает время климатического оптимума голоцена — атлантический период (фаза H_4). Климат становится значительно более теплым и влажным, чем современный. В Поозерье и в средней полосе Белоруссии широко распространяются богатые по составу хвойно-широколиственные леса из ели, дуба, липы, вяза, ясеня, клена, сосны и березы. В Полесье существенно увеличивается удельный вес широколиственных лесов. В связи с поднятием уровня грунтовых вод большие площади занимают ольшаники. Повышается и уровень озер, в них повсеместно плодоносят водяной орех и другие термофильные растения. Многие озера переходят в эвтрофную стадию развития, быстро заполняются органическим сапропелем и зарастают, превращаясь в торфяники. В олиго- и мезотрофных озерах накапливаются разнообразные органо-минеральные илы.

Образование озерных и родниковых известковых отложений резко сокращается. Усиливается заболачивание территории, продолжается развитие низинных переходных и верховых болот. Балтийскую котловину занимает литориновое море. Начало фазы H_4 наряду с быстрым увлажнением территории знаменуется поднятием земной коры в пределах Поозерья, что вызывает врезание рек и образование уступа второй надпойменной террасы Западной Двины и Немана. На протяжении атлантического периода накапливается аллювий первой надпойменной террасы этих рек и их притоков. В конце фазы H_4 (около 5000 лет назад) происходит новое поднятие земной коры и увеличение влажности климата, влекущее за собой врезание рек Поозерья, оформление уступа их первой террасы и начало накопления аллювия верхнего уровня поймы. В бассейнах Днепра формирование высокой поймы продолжается. На смену мезолитической эпохе приходит неолит (5500–5000 лет назад).

В течение фазы H_5, т.е. во второй половине среднего голоцена (в суббореальном периоде, соответствующем лимниевой стадии), в развитии Балтийского моря уменьшается количество атмосферных осадков, что при сохранении достаточно высокой средней температуры воздуха обусловливает изменение климата в сторону большей сухости (усиление засушливости лета). Понижаются зеркало грунтовых вод и уровень озер; в котловинах озер Нарочь, Лукомльское, Дрисвяты, Снуды, Струсто, Нещердо и других возникает широкая аккумулятивная терраса (ныне подводная). Усиливаются процессы накопления озерных и родниковых известковых отложений. В верховых торфяниках образуется пограничный горизонт — слой сосново-пушицевого, пушицевого и пушицево-сфагнового торфа высокой степени разложения, нередко с пнями и целыми стволами сосны (прослои хорошо разложившегося торфа встречаются и в других горизонтах торфяников, но в большинстве разрезов они имеют суббореальный возраст). В бассейне Днепра заканчивается, а в долинах Западной Двины, Немана, Вилии и их притоков продолжается формирование высокой поймы. Вторая половина суббореального периода (примерно с 4000–3700 лет от наших дней) совпадает с эпохой бронзы. На территории Белоруссии возникает и развивается земледелие, начинается сведение лесов и несколько увеличива-

ется интенсивность делювиальных процессов.

Поздний голоцен (3300 лет назад – настоящее время). Начало фазы п(суб-атлантического периода) характеризуется уменьшением континентальности климата: некоторым похолоданием и ростом количества атмосферных осадков. Увеличение влажности климата вызывает повышение уровня воды в озерах, усиление процессов заболачивания, ускоренный переход торфяников в слиготрофную стадию развития. В речных долинах формируется низкая пойма. Балтийское море приобретает современные очертания. В условиях некоторого улучшения климата (уменьшения его влажности и потепления) около 2700—2500 лет назад начинается железный век. Ритмические изменения климата с длительными периодами, на которые накладываются более мелкие, происходят и позднее — вплоть до наших дней. Примерно 1500 лет назад, в V веке н.э., влажность климата снова возрастает, а затем (X–XIвв.) уменьшается, чтобы снова увеличиться в XIV–XV вв. Новая трансгрессионная фаза 1800—1900-летнего ритма, характеризующаяся резким похолоданием и увлажнением климата, должна наступить, если правильно установлена хронология предыдущих фаз, приблизительно через 300–400 лет, т.е. приблизительно в 2350 г.

В течение позднего голоцена, начиная со времени широкого распространения подсечного земледелия, облесенность территории, особенно возвышенностей с их лучше дренированными и более плодородными суглинистыми почвами, быстро уменьшается. Вследствие этого, а также ухудшения климатических условий в составе лесов резко сокращается участие широколиственных пород и увеличивается площадь, занятая древостоями сосны, березы и осины. Массовая вырубка лесов в XIX–XX вв. приводит к заметному усилению эоловых и делювиальных процессов, эрозии почв, приносящих большой вред сельскому хозяйству. Ландшафты Белоруссии постепенно приобретают современный облик.

6. Техногенные факторы загрязнения атмосферы. Геохимические изменения

Земная атмосфера представляет собой резервуар, в котором скапливаются газы различного происхождения, образующиеся в земной коре. В форме промышленных выбросов и отходов в атмосферу поступают дымовые частицы сажи и пыли, различные химические соединения, радиоактивные вещества и др. Они непрерывно вовлекаются в геохимические процессы биосферы, в ряде случаев отрицательно влияя на живые организмы. Происходит загрязнение атмосферы и гидросферы ядовитыми веществами, часто вызывающими отравление и гибель живых организмов и создающими неблагоприятные условия для здоровья человека. В связи с этим у ученых возникает тревога о будущем атмосферы, биосферы и климата Земли, в частности о влиянии техногенеза на содержание в атмосфере кислорода и углекислоты, на тепловой режим земной поверхности.

Рассмотрим кратко некоторые источники образования промышленных газов в атмосфере в результате технической деятельности человека и возможные тенденции в эволюции основных компонентов ее химического состава.

Переработка руд, нефти и газа, использование металлов, сжигание топлива сопровождаются поступлением в атмосферу, почву и гидросферу большого количества различных веществ — миллиардов кубометров угольной кислоты и сернистого газа, миллиардов тонн золы и шлаков. Предприятиями химической, нефтяной, целлюлозно-бумажной, текстильной, металлургической, горно-рудной

промышленности в реки, озера, моря опускаются десятки миллионов кубометров сточных вод с растворенными в них химическими соединениями. Среди химических веществ загрязнения — такие элементы, как мышьяк, ртуть, кадмий, олово, цинк, свинец, сурьма, висмут, различные окислы углерода, соединения азота и серы, ДДТ, углеводороды и др. Многие из них при определенных обстоятельствах становятся токсическими для живых организмов и опасны даже в незначительных количествах. Например, цинк является канцерогенным веществом, свинец может вызвать паралич и расстройство психики, ртуть разрушает нервную систему и в дозах гораздо меньших, чем смертельная, преодолевает "плацентарный барьер", ускоряя старение организма, ослабляя умственные способности человека.

Дихлордифенил трихлорэтан (ДДТ), за открытие которого швейцарский ученый П.Мюллер получил в 1948г. Нобелевскую премию и применение которого росло с каждым годом, оказался очень вредным для многих животных самых различных географических районов. Его обнаружили в рыбах, в печени пингвинов и в женском молоке. Концентрация ДДТ в организмах нарушает обмен веществ. Считают, что ДДТ — виновник гибели белоголового орлана и сокола-сапсана.

Углекислый газ (CO_2) — основной загрязнитель биосферы (по массе), за ним следуют сернистый газ и углеводороды. По подсчетам ученых, концентрация его в атмосфере от сгорания горючего ежегодно увеличивается в размерах 1,8 части на 1 млн., однако наблюдения показывают, что прирост составляет только 0,7 части — остальное количество, вероятно, включается в различные процессы, протекающие в биосфере, и растворяется в океанической гидросфере. Установлено, что примерно 10^{11} т углекислого газа непрерывно находится в обменном состоянии между атмосферой и океаном и что концентрация его в атмосфере из года в год увеличивается от сгорания топлива.

При сжигании горючего в атмосферу выбрасывается также большое количество окиси углерода, известной как угарный газ. Токсический эффект этого газа выражается в том, что, попав, например, в организм человека, он соединяется с гемоглобином, образуя карбоксигемоглобин. В результате нарушается снабжение органов кислородом.

К числу весьма вредных загрязнителей биосферы принадлежит сера (S) и ее соединения (SO_2, H_2S и др.). Сернистый газ (SO_2) очень ядовит, особенно для растений. Проникнув в лист, он вступает в реакцию с железом, нарушает каталитическую активность хлоропластов и вызывает распад хлорофилла и гибель растения. Сероводород (H_2S) также очень токсичен. В чистом виде он убивает человека почти мгновенно. Опасность велика и при содержании его в воздухе до 0,01%: соединяясь с железом, входящим в состав гемоглобина, он приводит к кислородному голоданию и смерти. Образующиеся в биосфере серная кислота и сульфат аммония повышают кислотность природной воды. В Нидерландах и Швеции, например, pH дождевой воды уже в настоящее время иногда достигает почти 4 против 6—7 в нормальной питьевой воде.

Загрязняют атмосферу и продукты азота (N_2O — закись, NO — окись, NO_2 — двуокись), образующиеся при сгорании топлива. Двуокись азота, например, является сильным поглотителем ультрафиолетового излучения. В присутствии углеводородов она участвует в образовании ядовитого смога, а соединяясь с водой дает азотную кислоту. Накопление азотных соединений, в частности

нитритов (NO_2) и нитратов (NO_3), в водоемах и реках вызывает "цветение" водорослей и усиление их биологической активности, в результате которой вода обедняется кислородом, происходит эвтрофикация водоемов и гибель в них организмов.

Выявлено весьма вредное действие на живые организмы накоплений промышленных углеводородов. Подсчитано, что на их долю приходится около 15% общего количества углеводородов, поступающих в атмосферу естественными путями. При этом важно отметить, что промышленные углеводороды концентрируются в больших городах, где атмосфера заражена и другими газами, реагируя с которыми они образуют ядовитые газы. В Калифорнийском смоге — самом загрязненном воздухе на планете — содержатся ядовитые газы, несущие ионы многих тяжелых металлов (цинка, ртути, бария, мышьяка), канцерогенные углеводороды и другие вредные вещества. Смог снижает активность ферментов, затрудняет дыхание, воспаляет слизистую оболочку. В результате засыхают деревья, животные не дают потомства.

По подсчетам видного американского ученого Э.Д.Гольдберга (1971), сжигание минерального топлива и производство промышленных изделий могут потенциально выделять в атмосферу некоторые элементы (кобальт, цинк, барий, бериллий и др.), которые не уступают количеству и скорости поступления их в биосферу в ходе цикла выветривания, являющегося, как известно, самым могучим фактором миграции химических элементов на земной поверхности.

Б.Мейсон (1971) приводит данные, согласно которым со времени добавления алкильных соединений свинца в бензин (1923г.) 2,6 млн.т свинца было превращено в эти соединения и сожжено в автомобильных двигателях. В настоящее время ежегодное производство алкильных соединений свинца соответствует приблизительно 300 тыс.т свинца. Среднее суммарное загрязнение свинцом в Северном полушарии только за счет сжигаемого бензина составляет около 10 мг/м^2, а в районах с интенсивным автомобильным движением и развитой промышленностью — во много раз больше.

Весьма опасно для живых организмов и загрязнение атмосферы радиоактивными веществами, основным источником которых являются атомные взрывы и атомные электростанции. Радиоактивными продуктами являются тритий (H^3), стронций (Sr^{90}), цезий (Cs^{137}), полоний (Po^{210}), плутоний (Pu^{238}), облученные нейтронами продукты коррозии конструктивных материалов реактора, примеси в воде, применяемой для охлаждения реактора, продукты деления ядер и др.

Итак, техническая деятельность человека изменяет атмосферу. В этой новой атмосфере большую геохимическую роль начинают играть разнообразные неорганические и органические вещества промышленного производства, ядовитые и вредные для живых организмов. Загрязнение воздуха, если не будут приняты самые строгие меры к его охране, может явиться большой угрозой для здоровья человека, оно может привести к увеличению числа таких легочных заболеваний, как эмфизема, бронхит, астма, а также к поражению глаз.

Поступление в биосферу химических продуктов техногенеза во многих случаях резко отрицательно отражается на местных ландшафтах, на создании новой геохимической среды миграции химических элементов и их соединений.

Прежде всего это выражается в изменении кислотной и щелочной сред ,окислительно-восстановительных потенциалов и реакций,усилении подвижности одних групп и семейств элементов и ослаблении других (особенно щелочных и щелочно-земельных) элементов группы железа, играющих большую роль в геохимических реакциях биосферы.

В отдельных ландшафтах формируются либо сильнощелочные, либо сильнокислотные условия, геохимическая и экологическая адаптация к которым требует длительного времени. Такие условия ведут к массовой гибели организмов.

Почвы, занятые растениями, в том числе многими сельскохозяйственными культурами, имеют pH, близкие к 5—6. Некоторые же организмы, особенно морские, обитают в среде pH от 8 до 9; при pH ниже 7,5 многие из них погибают. При pH ниже 7 карбонаты морской воды будут оставаться в растворе, и образование скелетов окажется невозможным.

7. Техногенез и изменение баланса кислорода, углекислоты и азота в атмосфере

В настоящее время в научных публикациях обсуждается вопрос о том, как отражается научно-технический прогресс на планетарном круговороте и балансе кислорода, двуокиси углерода и азота в атмосфере. В отношении кислорода дискуссия идет вокруг проблемы возможного дефицита его в биосфере и изменения озонового экрана, а в отношении углерода — вокруг проблемы излишнего накопления углекислоты в атмосфере в результате увеличивающегося сгорания топлива.

Источники образования, потребления, водозные соединения и круговорот кислорода схематически показаны на рис. 34, 35.

Фотосинтез земных растений является основным механизмом образования и поступления в атмосферу свободного кислорода. В реакциях фотосинтеза участвуют CO_2, H_2O и световая энергия. При этом образуются углеводы с общей формулой $(CH_2O)n$ и высвобождается молекулярный кислород согласно уравнению

$$CO_2 + H_2O + \text{световая энергия} \longrightarrow (CH_2O)n + O_2.$$

В круговороте кислорода в ландшафтах участвуют вулканическая деятельность, окислительно-восстановительные процессы, поступления из ископаемого состояния (связанного в отложениях) и др. Основное потребление кислорода идет на окислительные процессы и участие его в составах многообразных минеральных продуктов, воды, воздуха, аэробной деятельности организмов. В настоящее время это потребление значительно увеличивается в промышленности, авиации, автомобильном транспорте. На некоторых территориях, особенно в индустриальных районах США и Западной Европы,его потребляется больше, чем производится фотосинтезом. В целом же на планете, по данным А.П.Виноградова (1973), человек использовал пока на сжигании горючего всего 0,02% кислорода от его содержания в атмосфере, или миллионную долю от всего образования растениями в результате фотосинтеза за трехмиллиардную историю развития органического мира. Об этом свидетельствуют определения содержания кислорода в атмосфере за последние 60 лет (содержание O_2 в процентах): 1912г. — 20,95; 1930г. — 20,939; 1951г. — 20,946; 1970г. —

20,946. Как видим, нет пока серьезных оснований говорить о том, что техногенез, сопровождающийся нарушением естественных и созданием искусственных экосистем в биосфере, может вызвать существенный недостаток кислорода в атмосфере в ближайшее время. В то же время из этого не следует, что неосознанные действия человека не могут не нарушить саморегулирующегося баланса газов в атмосфере. Вероятно, правильнее будет предполагать, что, хотя содержание кислорода в атмосфере может быть несколько снижено, это не

Рис.34. Источники кислорода в ландшафтах (К.И.Лукашев, 1974)

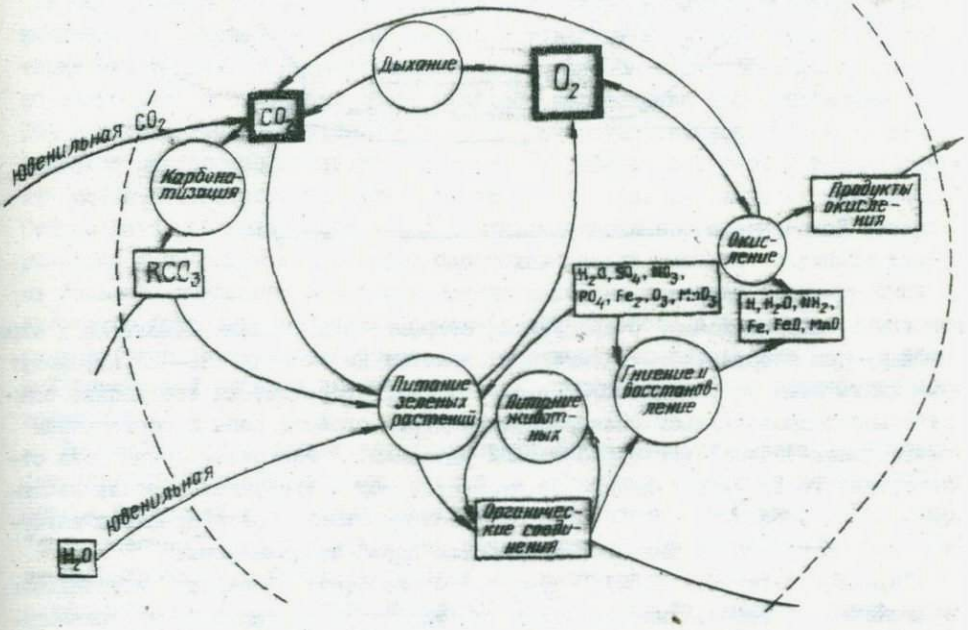


Рис.35. Схема круговорота водных соединений кислорода (Полынов, 1934). В окружностях — процессы, в прямоугольниках — продукты; стрелки, пересекающие круг, очерченный прерывистой линией, показывают приток в кору выветривания ювенильных и фреатических соединений кислорода и вынос из коры выветривания его водных соединений

вызовет каких-либо катастрофических последствий для живых организмов в планетном масштабе. Но такие выводы нельзя распространять на отдельные промышленные районы, где потребление кислорода превышает его естественное поступление в атмосферу и где образуется смоговая геохимическая среда, о которой говорилось выше.

Высказывается опасение о возможности нарушения озонового экрана — очень важного атмосферного слоя, защищающего поверхность Земли от вредного влияния ультрафиолетовых лучей (2900 Å). Установлено, что окислы азота

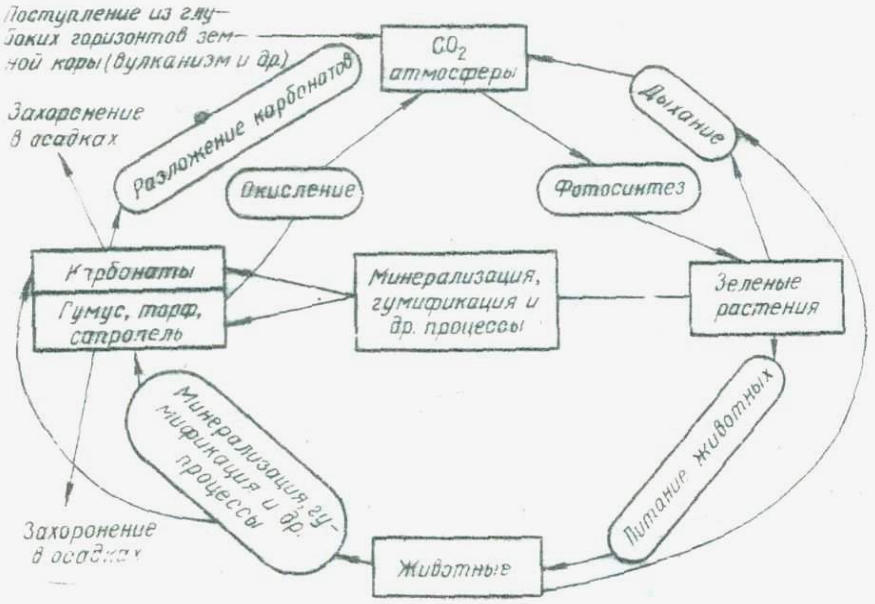


Рис.38. Круговорот углерода в ландшафте (Полынов, 1934)

NO и NO_2, выбрасываемые с продуктами сгорания двигателями самолетов в стратосферу при сверхзвуковых длительных полетах на высотах 20—25 км, могут разрушать озон по реакции $NO+O_3 \longrightarrow NO_2+O_2$. Теоретически это должно обязательно сопровождаться ослаблением защитных свойств слоя и постепенным увеличением опасной ультрафиолетовой радиации. В настоящее время пока отсутствуют убедительные данные по этому вопросу и требуются опытные наблюдения. В программу ООН по охране окружающей среды проблема изучения озонового экрана включена в качестве одной из важнейших.

Двуокись углерода (CO_2) поступает в атмосферу из разных источников: вулканических газов, дыхания человека, животных, растений, микробиологической деятельности организмов в почве и, наконец, в результате сжигания горючих ископаемых (рис.36). Установлено, что в настоящее время вносится в атмосферу в форме продуктов сжигания топлива около $1 \cdot 10^{10}$ т CO_2 ежегод-

но. По А.П.Виноградову (1973), такое увеличение составляет в среднем за последние 10 лет 0,2%. По ориентировочным подсчетам, за время с 1970 по 2000 г. количество CO_2 в атмосфере может возрасти еще до 20% (с 0,320 до 0,0379). Мы пока не в состоянии ответить на вопрос, способна ли биосфера продуктивно использовать дополнительные количества CO_2 и какими путями. Считается, например, что биомасса суши вследствие увеличения содержания CO_2 в биосфере за последние 100 лет выросла примерно на 15 млрд.т, однако конкретных доказательств этого очень мало (Болин, 1972). Если этот факт имеет место, то необходимо знать, какая доля техногенного CO_2, освобождаемого при сгорании горючих ископаемых, идет на увеличение биомассы, какая поступает в океаны, а какая расходуется в различных геохимических процессах. Все это нуждается в глубоком изучении.

В то же время выражается беспокойство, что к концу этого столетия увеличение содержания CO_2 в атмосфере на 20% может вызвать глобальное повышение температуры климата на Земле (на 4–5°С). Как известно, двуокись углерода обладает сильными полосами поглощения, особенно в инфракрасной области спектра (13–17 мк). По этой причине CO_2 в атмосфере, подобно стеклу в оранжерее, пропуская солнечную радиацию, не выпускает назад теплового инфракрасного излучения. Важнейшими результатами энергетических и геохимических процессов, связанных с возможным повышением температуры, могуть быть увеличение испарения и изменение облачного покрова планеты, изменение альбедо (т.е. отражательной способности) Земли, изменение температурн и климата планеты. Неизбежным следствием этого может явиться таяние полярных и горных ледников, повышение уровня воды в Мировом океане и др. Нет основания категорически отрицать неизбежную угрозу техногенного накопления CO_2 в атмосфере, так же как и утверждать это. Геологическая история знает много примеров, когда содержание CO_2 в биосфере увеличивалось во много раз. Результатом этого являлось захоронение огромных количеств CO_2 в карбонатных и других породах. Но как осуществлялось при этом динамическое равновесие между углекислотой атмосферы, биосферы и гидросферы и как все это отражалось на живом веществе планеты, детально не известно. Сейчас изучению этих вопросов, а также выделению в геологической истории развития и эволюции земной коры биогеохимических скачков геохимия уделяет большое внимание. По-новому встают проблемы изучения геохимических результатов фотосинтеза – этого самого замечательного и во многом загадочного энергогеохимического процесса, интенсивность которого для разных растений имеет свой оптимум при определенной концентрации CO_2, влажности, освещении и т.п.

Большой интерес представляют геохимические аспекты азота в биосфере. Азот является господствующим элементом атмосферы, занимая почти 80% ее объема. По иронии судьбы при открытии он был назван "удушливым", "дурным", "безжизненным", в то время как его соединения играют важнейшую роль в жизни организмов. Ни одной растительной или животной клетки не существует без содержания в ней азотистого вещества. К сожалению, большинство живых организмов не может использовать его прямо из воздуха, а лишь через азотфиксирующие микроорганизмы. При этом совершаются сложные химико-биологические процессы нитрификации, денитрификации и аммонификации (рис. 37, 38). С помощью нитрификации особые виды микроорганизмов окисляют ион аммония (NH_3)

до нитрита (NO_2) или нитрит до нитрата (NO_3). В результате денитрификации происходит восстановление нитритов и нитратов до газообразных соединений — молекулярного азота (N) или окиси азота (N_2O). Аммонификация, в свою очередь, переводит азот органических соединений (в основном аминокислот) в ион аммония. Так в основном совершается биологический круго-

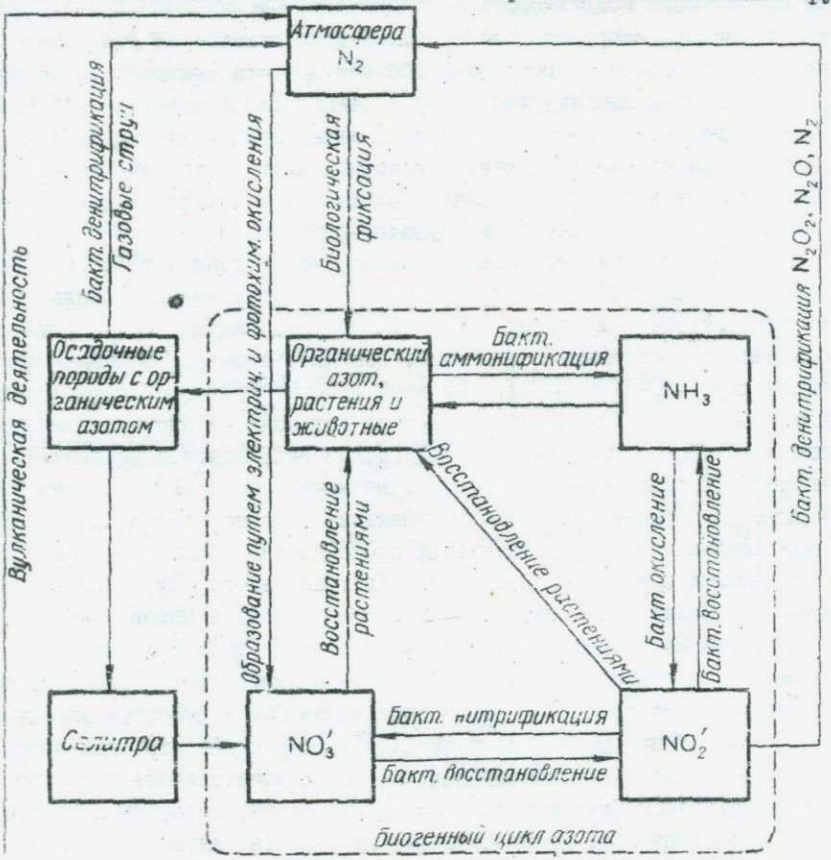


Рис.37. Схема круговорота азота (Виноградов, 1973)

ворот азота в биосфере, и в этом круговороте он из "безжизненного" превращается в продукт первостепенной важности для жизни и развития всех организмов.

Процесс естественной биологической фиксации азота микроорганизмами пока детально не изучен. Известно, что для сохранения баланса азота в атмосфере большую геохимическую роль играет денитрификация, возвращающая азот в атмосферу. Без таких реакций азот убывал бы из атмосферы в результате его связывания в почвах и осадочных породах. Вполне вероятно, что это могло бы привести к подкислению воды в океане нитратами, усилению процессов выделения CO_2 из карбонатных пород и т.д.

В настоящее время на баланс азота и его соединений в биосфере большое влияние оказывает внесение азотных удобрений — продуктов промышленной фиксации азота. Для этого во всем мире ежегодно потребляется около 100 млн.т азота (в атмосфере его содержится в 40 миллионов раз больше). В дальнейшем эта цифра во много раз возрастет, так как потребности в азотистом

удобрении увеличиваются с каждым годом. Согласно оценке К.Дельвича (1972), за год в биосферу поступает около 92 млн.т биологически фиксируемого азота (включая промышленную фиксацию), возвращается же в атмосферу в результате процессов денитрификации всего около 83 млн.т; остальные 9 млн. т, видимо, откладываются в биосфере — в почве и природных водах — в форме нитритов и нитратов.

Чрезмерное накопление названных соединений в озерах и океане стимулирует развитие водорослей, которые потребляют весь кислород. Развивается про -

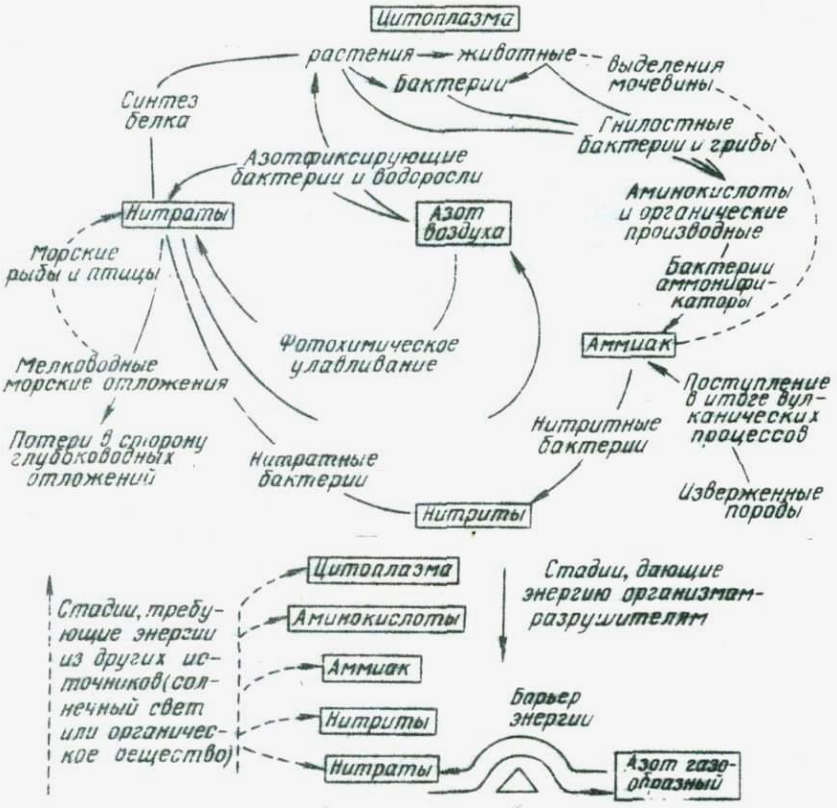


Рис.38. Цикл азота как пример биогеохимического цикла в земной коре (Одум, 1967)

цесс эвтрофикации, приводящий к гибели водоемов. Озеро Эри в системе Великих американских озер является ярким примером этого. Эвтрофикация биосферы в широком аспекте — это биогеохимическое загрязнение избытком нитратов, фосфатов и сульфатов, с которыми биосфера в некоторых случаях не в состоянии справиться.

Сказанное свидетельствует, что человек своей хозяйственной деятельностью уже существенно влияет на круговорот азота в биосфере и заметно изменяет биогеохимические процессы, протекающие при его участии. Все это требует глубокого изучения круговорота азота в гиперсфере.

В заключение укажем, что большой геохимический интерес представляет изучение проблемы запыления атмосферы продуктами техногенеза(пыль, выбрасываемая через трубы заводов и фабрик, агрохимическая обработка почв, лесные пожары, атомные взрывы). Наблюдения показывают, что за последние годы запыленность атмосферы резко возрастает. Масса пыли, ежегодно поднимающаяся в воздух, исчисляется многими миллионами тонн (Виноградов , 1973). Увеличением поступления пыли в атмосферу объясняют похолодания, наметившиеся в 40-х годах нашего века. С запыленностью атмосферы связано ее тепловое состояние, особенно в городах и густо заселенных индустриальных районах.

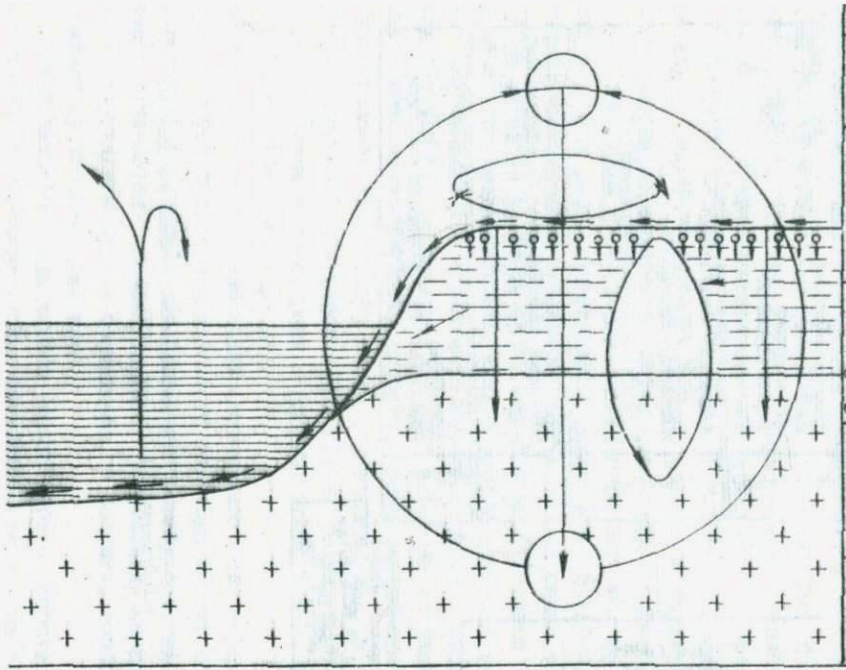
8. Некоторые аспекты геохимического изучения атмосферно-климатических факторов

В литологическом и палеогеографическом изучении земной коры, этапов развития и эволюции ландшафтов все большее значение приобретает климатостратиграфическая реконструкция палеогеографического развития земной коры. В основу кладутся стратиграфическое строение осадочных отложений,состав фаций и формаций, эволюционные признаки организмов и другие показатели, связанные с ритмическим изменением условий процессов осадкообразования. В качестве надежных показателей палеоклиматических условий выветривания, минералообразования, образования геохимических фаций в настоящее время широко используются элювиальные коры выветривания, месторождения каолинов и бокситов, латериты, угленосные отложения, калийные и каменные соли, карбонатные породы, ледниковые комплексы. Одним из важных методов геохронологического, стратиграфического и геохимического изучения является определение палеотемператур древних отложений по изотопному составу карбонатных скелетов и раковин морских животных. Пригодными для палеотермометрических определений являются брахиоподы, моллюски, большинство фораминифер, накапливающих изотопы кислорода в равновесии с водой.

Особого внимания заслуживают изучение климатостратиграфических и климатофациальных ритмов, характерных для четвертичной толщи Белоруссии, отличающейся большим разнообразием ледниковых,межледниковых и перигляциальных отложений, выяснение специфики геоэкологических условий, отражающихся в чередовании различных флористических и фаунистических комплексов. Изучение этих вопросов может внести много нового в стратиграфические схемы подразделений четвертичной толщи.

Глубокое изучение современных климатических условий белорусского региона, гидротермического и энергетического режима выветривания, почвообразования, биологической продуктивности организмов позволит более детально выявить миграцию химических элементов в ландшафтах, характер и динамику многих геохимических процессов (гидролиза, минералообразования и др.),зависящих от гидротермических условий местности.

Необходимо систематически изучать тенденции и динамику загрязнения атмосферы вредными соединениями промышленных и бытовых отходов,особенно серы, азота, органических продуктов, фосфатов, свинца, ртути и др.Очень важна организация долгосрочных наблюдений за формами проявления различных химических загрязнителей (непосредственное, быстрое, косвенное,через природную среду) в ландшафтах и биосфере.



Основные формы гидрогенеза	
Поверхностного типа (плоскостн)	Ливневые выпадения осадков и эрозия Речной сток и эрозия Склоновый сток и эрозия Водно-ледниковый сток и эрозия
Карстового типа	Инфильтрация поверхностных вод, растворение и выщелачивание Движение воды по трещинам – растворение и выщелачивание Колебание уровня, базиса эрозии – образование глубокого карста (пещер, шахт)
Глубинного типа (гидрохимического развития)	Обусловленные разной водопроницаемостью пород, гидрохимической зональностью подземных вод, гидравлическими особенностями, тектоническим развитием территории, процессами метаморфизации
Морского типа (донного)	Перемещение и аккумуляция материалов волнами То же течениями, выходами источников в зонах разломов и океанических хребтов Осаждение из перенасыщенных растворов (галогенез) Растворение и перераспределение легкоподвижных соединений вследствие изменения термодинамических условий Процесс гальмиролиза

Рис.39. Вода в земной коре и основные формы гидрогенеза (К.И.Лукашев, В.К.Лукашев, 1972):

1 — планетарный круговорот воды; 2 — внутриземной круговорот воды; 3 — круговорот воды над океаном; 4 — круговорот воды над сушей; 5 — поверхностный сток и гидрогенез; 6 — почвенный сток и гидрогенез; 7 — подземный сток и гидрогенез в осадочной толще; 8 — подземный сток и гидрогенез в кристаллических породах; 9 — донный сток и гидрогенез

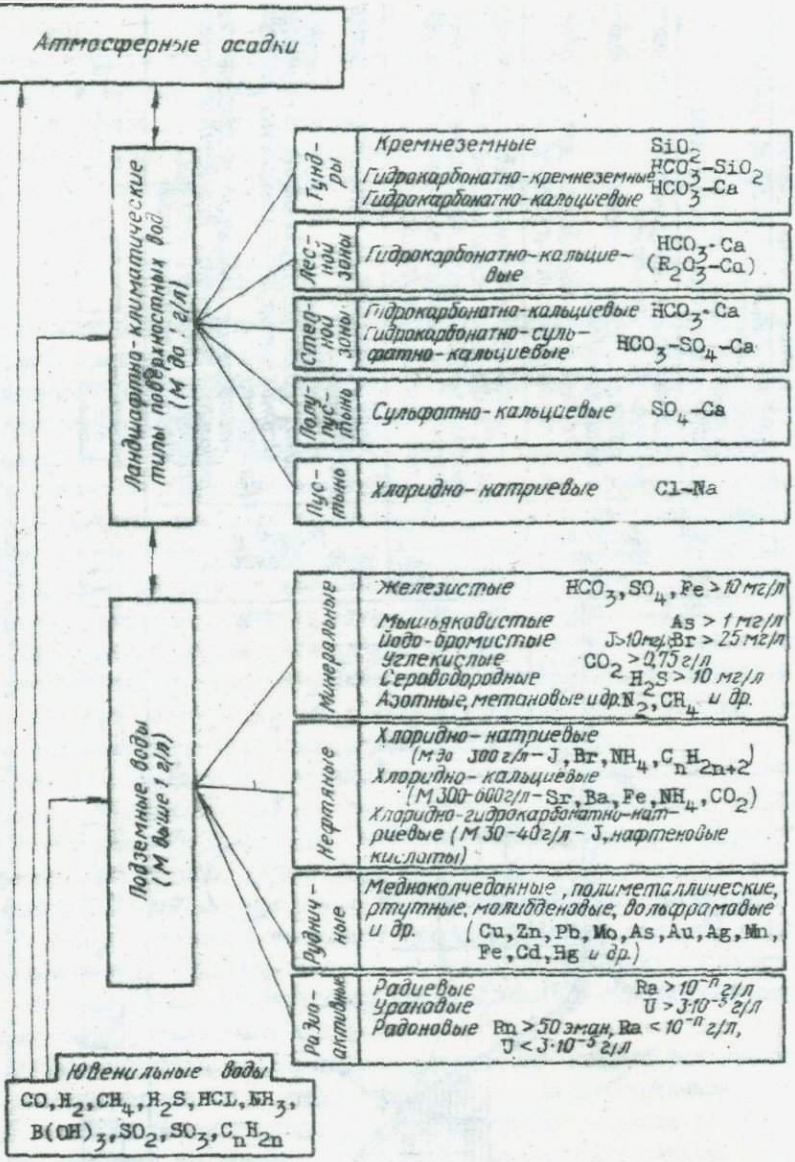


Рис.40. Важнейшие геохимические типы природных вод ландшафтной оболочки (К.И.Лукашев, В.К.Лукашев, 1972)

Глава У. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛАНДШАФТАХ

I. Геохимическое значение воды в ландшафтах

Все природные процессы так или иначе связаны с водой, ее круговоротом в земной коре, ее разрушительной и созидательной деятельностью. Вода является самым важным составляющим всего живого в биосфере. В организме человека, например, она составляет 65%, рыб – 80%, водорослей – 99%. Большое количество воды содержится в атмосфере. Для нее характерны жидкое, газообразное, твердое состояния, высокая удельная теплоемкость и теплопроводность (что является очень важным в накоплении и отдаче тепловой энергии), предельно высокая диэлектрическая проницаемость (у воды она выше, чем у любого другого вещества). Молекула воды обладает небольшим дипольным моментом и слабо ионизована. В воде в разной степени растворимы все вещества, в ней содержится большинство химических элементов таблицы Д.И. Менделеева. Все это определяет самые разнообразные физические и геохимические особенности и свойства природной воды, ее биологическое значение. Этим объясняется тот факт, что изучению природных вод уделяется очень большое внимание. Опубликованы многочисленные работы по гидросфере Океана и морей, рек и озер, ледников, подземных вод. Установлены основные закономерности их движения в земной коре, формирования химического состава, геохимической деятельности и другие особенности и свойства (рис.39).

Круговорот воды в природе играет исключительно большую роль в историко-геологических процессах земной коры, развитии осадочной оболочки и биосферы. Им определяется планетная и региональная циркуляция воды в атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере, с которой связаны перенос растворенного и взвешенного вещества, эрозия, размыв, накопление осадков, характер геологических, геохимических и биологических процессов.

В.И.Вернадский одним из первых обратил внимание на геохимическое значение перехода воды, содержащейся в минералах и горных породах, из одного физического состояния в другое. Исключительно важно то, что существует подвижное равновесие между природными водами, твердыми телами, газами и живым веществом. Взаимодействие этих факторов обусловливает химические свойства природных вод, количество и состав газов, концентрацию водородных ионов и другие их особенности. Многие вещества вступают с водой в реакции, образуя основания, кислоты, гидраты, кристаллогидраты и т.п. С ними связано формирование химического состава природных вод, в которых присутствуют, вероятно, все элементы таблицы Менделеева (обнаружено пока более 60 из них) — часть в форме элементарных и сложных ионов, часть в виде молекул простых и сложных веществ (рис.40).

В природной воде в небольших количествах содержится тяжелая вода, в молекулу которой вместо обыкновенного водорода входит его изотоп — "тяжелый водород" (дейтерий). По биогеохимическому действию тяжелая вода существенно отличается от обыкновенной. В небольших концентрациях она стимулирует жизнедеятельность организмов, в больших, наоборот, замедляет ее и оказывает губительное действие.

Пресная питьевая вода должна удовлетворять определенным гигиеническим требованиям: органолептическим (мутность, запах, цвет), химическим и бак-

териальным; нежелательно, чтобы общая минерализация воды превышала 1000 мг/л. Минерализация природной воды обусловливается, как известно, составом химических элементов и их соединений и, в первую очередь, присутствием кальция, магния, калия, натрия, железа и др. Содержание растворенных солей кальция и магния определяет жесткость воды. При этом различаются жесткости: кальциевая и магниевая (обусловленные присутствием солей этих элементов), карбонатная (вызванная двууглекислыми и углекислыми солями Ca и Mg) и некарбонатная (Ca и Mg -соли сильных кислот), устранимая и постоянная (после кипения воды в течение I часа).

Влияние содержания кальция в воде и жесткости на здоровье человека (развитие рахита, камней почек, сохранность зубов) изучается со второй половины XIX в. В последние годы много внимания уделяется магнию: предполагается, что его поступление в организм в значительной степени определяет природный иммунитет. Научные центры Англии, США, Японии и Швеции регистрируют высокий уровень сердечных заболеваний (артериосклероза) в регионах с "мягкой" водой.

В воде содержатся многие микроэлементы, которые оказывают воздействие на наш организм (йод, фтор, селен, медь, цинк, кобальт, мышьяк, свинец и др.). В частности, при концентрации фтора выше I,5 мг/л в питьевой воде развивается флюороз (поражается эмаль зубов и костная система). Нормальное содержание свинца в воде не должно превышать 0,I, а мышьяка —0,05 мг/л. Обращает на себя внимание также содержание нитратного азота в водах (особенно в количествах, превышающих 30 мг/л), поскольку он является причиной ряда тяжких заболеваний у грудных детей. В открытых водоемах и подземных водах, не охваченных хозяйственной деятельностью человека, нитратного азота, как правило, содержится около 0,I мг/л. Он — конечный продукт окисления органических веществ.

2. Гидрогеохимические процессы и продукты речного стока

Для общей характеристики гидрохимического режима рек БССР большой интерес представляют материалы летних обследований I962—I963 гг., опубликованные Я.А.Андриановой с соавторами (I965). Изучались воды семи больших рек Белоруссии с целью выявления источников их загрязнения. Определялось содержание гидрокарбонатных ионов кальция и магния в период летней межени, их распределение от верховьев к устью, а также влияние городов на гидрохимические компоненты (табл.I8). Из таблицы видно, что Днепр и Сож характеризуются наибольшим средним, Западная Двина и Березина — наименьшим содержанием гидрокарбонатных ионов; Припять имеет наибольшее и Западная Двина наименьшее среднее содержание кальция; Березина и Днепр — наибольшее и Припять — наименьшее содержание ионов магния. Величина приведенных данных в значительной мере зависит от точности определений и от конкретных сочетаний разных факторов, определяющих сток (Лукашев, Вадковская, I973).

Отношение кальция к магнию для большинства рек (Андрианова и др., I965) находилось в обычных пределах (от 3 до 5), однако в Припяти оно достигало 9, т.е. в воде этой реки ионы кальция сильно преобладают над ионами магния. На основании публикаций других авторов (Булавко, I965; К.И.Лукашев и др., I959—I973) можно считать, что три основных фактора определяют состав химического стока поверхностных вод Белоруссии: неоднократно пере-

Таблица I8

Содержание гидрокарбонатов кальция и магния в реках Белоруссии в период летней межени I963 г., мг/л

Река	Гидрокарбонатные ионы			Кальций			Магний		
	минимальное содержание	среднее содержание	максимальное содержание	минимальное содержание	среднее содержание	максимальное содержание	минимальное содержание	среднее содержание	максимальное содержание
Днепр	I82,8	22I,7	274,3	45,I0	53,09	66,I0	7,29	I2,33	I7,02
Березина	I67,8	I87,3	225,6	40,I0	45,48	56,I0	8,5I	I3,02	I4,60
Сож	I82,9	22I,7	27I,2	44,I0	54,75	64,I0	3,65	I0,4	I5,80
Припять	I92,2	209,5	23I,7	52,I0	62,58	66,I0	3,65	6,I9	I4,59
Неман	I76,6	2I8,3	237,6	38,I0	5I,55	58,I0	8,5I	I0,94	I5,20
Зап. Двина	I37,2	I75,2	207,2	37,I0	40,47	43,I0	7,30	I0,23	I5,20
Вилия	I95,2	2I3,2	243,8	46,I0	48,10	50,I0	I0,94	I3,30	I5,20

мытые четвертичные отложения, бедные подвижным минеральным веществом; заторфованные и заболоченные пространства, богатые подвижным органическим веществом гумусовой природы, и карбонатные отложения (меловые известняки, доломиты, мергели), выходящие на дневную поверхность в долинах рек. Влияние антропогенового фактора пока невелико и обнаруживается главным образом вблизи городов и на малых водосборах в условиях недостаточного увлажнения (Булавко, 1965).

В химическом составе речных вод наблюдаются сезонные различия, обусловленные изменениями соотношения грунтовых и почвенно-поверхностных вод в питании рек. В период половодья и длительных паводков в речной сети преобладают воды почвенно-поверхностного происхождения, в то время как в период хорошо выраженной летней межени и особенно в глубокую зимнюю межень в реках доминируют воды грунтового происхождения.

Гидрохимические особенности наиболее четко проявляются в водах местного стока, т.е. стока, сформировавшегося на поверхности сравнительно однородного в физико-географическом отношении пространства. Согласно М.Т.Булавко (1965), наименьшей минерализацией отличаются воды, связанные с началом снеготаяния (5—35 мг/л). В составе анионов преобладают SO_4^{2-} (до 0,32 мг/л) и реже HCO_3^- (до 0,28 мг/л); в составе катионов — Ca^{2+} (до 0,34 мг/л), ионы магния присутствуют в малых количествах (до 0,07 мг/л), содержание Cl^- и NO_3^- не превышает соответственно 0,10 и 0,08 мг/л. Величины pH изменяются от 5,20 до 6,90. По данным того же автора, микроручейковые воды чаще характеризуются минерализацией 25—60 мг/л с колебаниями от 10 до 120 мг/л. В них содержание HCO_3^- изменяется от 19 до 42%, Ca^{2+} — от 25 до 40%, количество магния составляет 3-20%, SO_4 — 20—27, Cl^- — 20—25, $Na^+ + K^+$ — до 20-34%.

Минерализация речных вод наибольших значений достигает в конце зимней межени. Воды с минерализацией меньше 200 мг/л занимают небольшие участки на севере и юге. На большей части территории в период межени распространены воды с минерализацией 200-400 мг/л, в их химическом составе повсеместно преобладают ионы HCO_3 и Ca. Относительное содержание HCO_3 изменяется от 37 до 49%, на заболоченных пространствах Припяти уменьшаясь до 28%. Количество Ca^{2+} изменяется в пределах 26—46%, Mg^{2+} — 4-23%. Содержание SO_4^{2-} не превышает 5%, Cl^- - 3%.

Региональные влияния на формирование химического стока рек определенным образом характеризует сопоставление данных о составе такого стока в отдельных бассейнах. На основании сопоставления (табл.19-20) вод Березины и Сожа (Вадковская, 1971; Лукашев, Вадковская, 1973) установлено, что воды Сожа и его притоков характеризуются более высоким содержанием ионов (HCO_3^-, Ca^{2+} и Mg^{2+}), чем воды Березины. Это объясняется широким распространением лессовых и лессовидных отложений, которые ими дренируются. Высокое содержание кальция в водах Сожа определяет их более высокие минерализацию и среднегодовой солевой сток. Воды Березины отличаются меньшим содержанием минеральных компонентов и большим количеством органических веществ. Существенное влияние на их химический состав оказывают обширные заболоченные массивы. Поступающие в Березину болотные воды снижают минерализацию воды и обогащают ее органическим веществом. Из притоков Березины выделяется река Ола, на состав воды которой влияют массивы лессовых пород. В

Таблица I9

Химический состав воды бассейна Березины (лето I970 г.)

Место отбора пробы	Катионы	мг/л	мг/экв	Анионы	мг/л	мг/экв
р.Березина (г.п.Паричи)	Ca^{2+}	39,8I	I,98	HCO_3^-	I75,68	2,88
	Mg^{2+}	II,67	0,96	SO_4^{2-}	I6,46	0,34
	$Na^+ + K^+$	I7,24	0,75	Cl^-	I6,83	0,47
			Сумма ионов 277,69 мг/л			
р.Березина (д.Судовица)	Ca^{2+}	39,8I	I,98	HCO_3^-	I69,58	2,78
	Mg^{2+}	I0,58	0,87	SO_4^{2-}	I3,60	0,28
	$Na^+ + K^+$	I4,5	0,63	Cl^-	I4,77	0,42
			Сумма ионов 262,84 мг/л			
оз.Глушец (пойма Березины)	Ca^{2+}	28,0I	I,39	HCO_3^-	I23,2	2,02
	Mg^{2+}	7,54	0,62	SO_4^{2-}	4,94	0,I0
	$Na^+ + K^+$	6,43	0,28	Cl^-	6,I5	0,I7
			Сумма ионов I76,36 мг/л			

Таблица 20

Химический состав вод бассейна Сожа (лето I970г.)

Место отбора пробы	Катионы	мг/л	мг/экв	Анионы	мг/л	мг/экв
р.Сож (г.Кричев)	Ca^{2+}	49,57	2,47	HCO_3^-	I98,86	3,26
	Mg^{2+}	I2,64	I,04	Cl^-	3,70	0,I0
	$Na^+ + K^+$	I,I5	0,05	SO_4^{2-}	9,88	0,20
			Сумма ионов 275,8 мг/л			
р.Сож (д.Студенец)	Ca^{2+}	4I,28	2,06	HCO_3^-	I45,I8	2,38
	Mg^{2+}	6,32	0,52	Cl^-	3,28	0,09
	$Na^+ + K^+$	I,6I	0,07	SO_4^{2-}	9,05	0,I8
			Сумма ионов 206,72 мг/л			
р.Беседь (выше Гомеля)	Ca^{2+}	42,02	2,09	HCO_3^-	I5I,28	2,48
	Mg^{2+}	7,05	0,58	Cl^-	3,28	0,09
	$K^+ + Na^+$	I,I5	0,05	SO_4^{2-}	6,99	0,I5
			Сумма ионов 2II,77 мг/л			
р.Сож (устье)	Ca^{2+}	40,I7	2,00	HCO_3^-	I37,66	2,26
	Mg^{2+}	5,59	0,46	Cl^-	2,46	0,07
	$K^+ + Na^+$	I,38	0,06	SO_4^{2-}	9,46	0,I9
			Сумма ионов I96,92 мг/л			

целом воды бассейна Березины отличаются более низким содержанием HCO_3, Ca и Mg и относительно повышенным количеством щелочных металлов.

В табл. 21 приведены сведения о содержании микроэлементов в водах главных рек Белоруссии. Высокие концентрации тяжелых металлов присущи рекам, в водосборных бассейнах которых широко распространены болотные массивы. Особенно это характерно для бассейна Припяти, в водах которой установлены максимальные содержания Mn, Cu, Al, Ti, Pb. В качестве общей закономерности распространения микроэлементов в речных водах можно отметить, что из восьми микроэлементов, изученных в составе речных вод (Mn, Cu, Al, Ti, Mo, Ni, Pb, Co), наиболее часто обнаруживаются медь (100% анализированных проб), марганец (80–100%), алюминий (70–96%), свинец (76–100%). Менее распространены титан (29–87%), никель (19–84%), весьма редко встречается кобальт. Резкие различия в распространении по бассейнам наблюдаются у молибдена – от 44% в бассейне Припяти до 100% в бассейнах Немана и Днепра (Геохимические провинции покровных пород, 1969).

Результаты наших исследований (1958, 1959, 1960) гидрогеохимического состава вод рек, ручьев и озерных водоемов БССР (Лукашев, Маркова, 1958) свидетельствуют, что в них содержатся также незначительные количества и других микроэлементов (табл. 22). Так, содержание брома в речных водах колеблется от $1{,}2 \cdot 10^{-6}$ до $5{,}8 \cdot 10^{-6}$. Количество его, близкое к верхнему пределу колебаний, найдено в Западной Двине и в ручье Мощна — левом притоке р. Черницы. Содержание йода колеблется в более широких пределах — от $1{,}1 \cdot 10^{-7}$ до $3{,}8 \cdot 10^{-1}$. Для большинства вод характерно отношение $Br:J > 1$, что указывает на преобладание брома над йодом. Это характерно для рек Сервичи, Крама и др. Еще более широко изменяется концентрация стронция (от $6{,}8 \cdot 10^{-5}$ до $1{,}6 \cdot 10^{-3}$%), фосфора (от $7 \cdot 10^{-7}$ до $1{,}4 \cdot 10^{-5}$%) и меньше титана (от $8 \cdot 10^{-6}$ до $1{,}3 \cdot 10^{-5}$%). Содержание бора изменяется незначительно — от $1{,}5 \cdot 10^{-4}$ до $2{,}9 \cdot 10^{-4}$.

В общем в исследованных речных и почвенно-грунтовых водах указанные элементы присутствуют в ультраколичествах. Содержание их широко изменяется, особенно в почвенно-грунтовых водах и озерных водоемах. В частности, в озерах содержание брома на порядок ниже, чем в реках. В то же время повышенные количества брома и йода наблюдаются в водах, связанных с торфяниками.

Ц. А. Каган и Е. А. Гельфер (1956) отмечают, что в водах открытых водоемов Белоруссии количество фтора колеблется от 0 до 0,15, а в большей части грунтовых вод четвертичных горизонтов — от 0,05 до 0,08 мг/л. Наименьшее количество брома отмечено в бассейне Припяти, фтора — в водах, водовмещающие породы которых промыты и выщелочены.

3. Гидрогеохимические провинции речного стока

Формирование гидрогеохимических провинций связано с литогеохимическими особенностями территории, характером поверхностного и грунтового стока, отражающего особенности рельефа, и влиянием органического вещества в связи с заболачиванием низинных и водораздельных пространств (рис. 41). Роль литогенного фактора наиболее интенсивно проявляется в районах, приуроченных к моренным и лессовым отложениям, и ослабевает в районах распространения песчаных и песчано-глинистых пород. Роль биогенного фактора возраста-

Таблица 21

Содержание микроэлементов в речных водах Белоруссии, %

Микроэлемент	Неман	Западная Двина	Днепр	Припять
Mn	$0{,}9\cdot10^{-7}$–$38{,}8\cdot10^{-7}$	$0{,}2\cdot10^{-7}$–$22{,}4\cdot10^{-7}$	$0{,}2\cdot10^{-7}$–$12{,}8\cdot10^{-7}$	$1{,}9\cdot10^{-7}$–$89{,}7\cdot10^{-7}$
Cu	$6{,}4\cdot10^{-7}$–$71{,}7\cdot10^{-7}$	$10{,}5\cdot10^{-7}$–$57{,}2\cdot10^{-7}$	$0{,}5\cdot10^{-7}$–$25\cdot10^{-7}$	$1{,}9\cdot10^{-7}$–$64{,}3\cdot10^{-7}$
Al	$2{,}3\cdot10^{-7}$–$80{,}8\cdot10^{-7}$	$8{,}2\cdot10^{-7}$–$61{,}4\cdot10^{-7}$	$3{,}6\cdot10^{-7}$–$83\cdot10^{-7}$	$9{,}1\cdot10^{-7}$–$96{,}9\cdot10^{-7}$
Ti	$1\cdot10^{-8}$–$1{,}5\cdot10^{-7}$	$1\cdot10^{-8}$–$1{,}5\cdot10^{-7}$	$1\cdot10^{-8}$–$6\cdot10^{-8}$	$5\cdot10^{-8}$–$2{,}3\cdot10^{-7}$
Mo	$1\cdot10^{-8}$–$1\cdot10^{-7}$	$2\cdot10^{-8}$–$1{,}2\cdot10^{-7}$	$1\cdot10^{-8}$–$2{,}7\cdot10^{-7}$	$5\cdot10^{-8}$–$1{,}1\cdot10^{-7}$
Ni	$1\cdot10^{-8}$–$2{,}2\cdot10^{-7}$	$3\cdot10^{-8}$–$1{,}8\cdot10^{-7}$	$2\cdot10^{-8}$–$1{,}2\cdot10^{-7}$	$1\cdot10^{-8}$–$5{,}5\cdot10^{-7}$
Pb	$5\cdot10^{-8}$–$3{,}3\cdot10^{-7}$	$5\cdot10^{-8}$–$1{,}1\cdot10^{-7}$	$13\cdot10^{-8}$–$11{,}2\cdot10^{-7}$	$23\cdot10^{-8}$–$13{,}3\cdot10^{-7}$

Таблица 22

Содержание некоторых микроэлементов в речных и почвенно-грунтовых водах, %

Микроэлемент	Реки и ручьи	Почвенно-грунтовые воды
Бром	$1{,}2\cdot10^{-6}$ – $5{,}8\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-7}$ – $1{,}1\cdot10^{-5}$
Йод	$1{,}1\cdot10^{-7}$ – $3{,}8\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{-8}$ – $3\cdot10^{-6}$
Стронций	$6{,}8\cdot10^{-5}$ – $1{,}6\cdot10^{-3}$	$1{,}4\cdot10^{-4}$ – $1{,}7\cdot10^{-3}$
Бор	$1{,}5\cdot10^{-4}$ – $2{,}9\cdot10^{-4}$	$2{,}5\cdot10^{-4}$ – $1{,}7\cdot10^{-3}$
Фосфор	$7\cdot10^{-7}$ – $1{,}4\cdot10^{-5}$	–

от по мере ослабления действия литогенного фактора и наилучшим образом проявляется на территориях с высокой заболоченностью.

На основании приведенного выше материала различаются следующие гидрогеохимические типы провинций речного стока (табл.23): гидролитобиогенный (гидрогеохимический состав вод формируется главным образом под влиянием литогенного фактора при существенном участии биогенного), гидролитогенно-карбонатный (главную роль играют литогеохимические факторы), гидробиолитогенный (преобладает биогенный фактор при существенном участии литогенного) и гидробиогенный (действие биогенного фактора является основным).

Основную часть рек территории БССР можно отнести к гидролитобиогенной провинции. Сумма ионов основных минеральных компонентов вод здесь составляет 250—350 мг/л.

Более специфическую гидрогеохимическую провинцию гидролитокарбонатного

образования можно выделить в районах широкого распространения лессовых пород и карбонатизированных моренных суглинков и глин. Здесь воды содержат максимальные количества Ca (58,7—74,5мг/л) и HCO_3 (268,4—414,8 мг/л), сумма ионов составляет 350—500 мг/л. К этой провинции относятся районы поверхностных вод, состав которых формируется за счет размыва девонских отложений (Днепр в районе Орши, Западная Двина в районе Витебска) и раз-

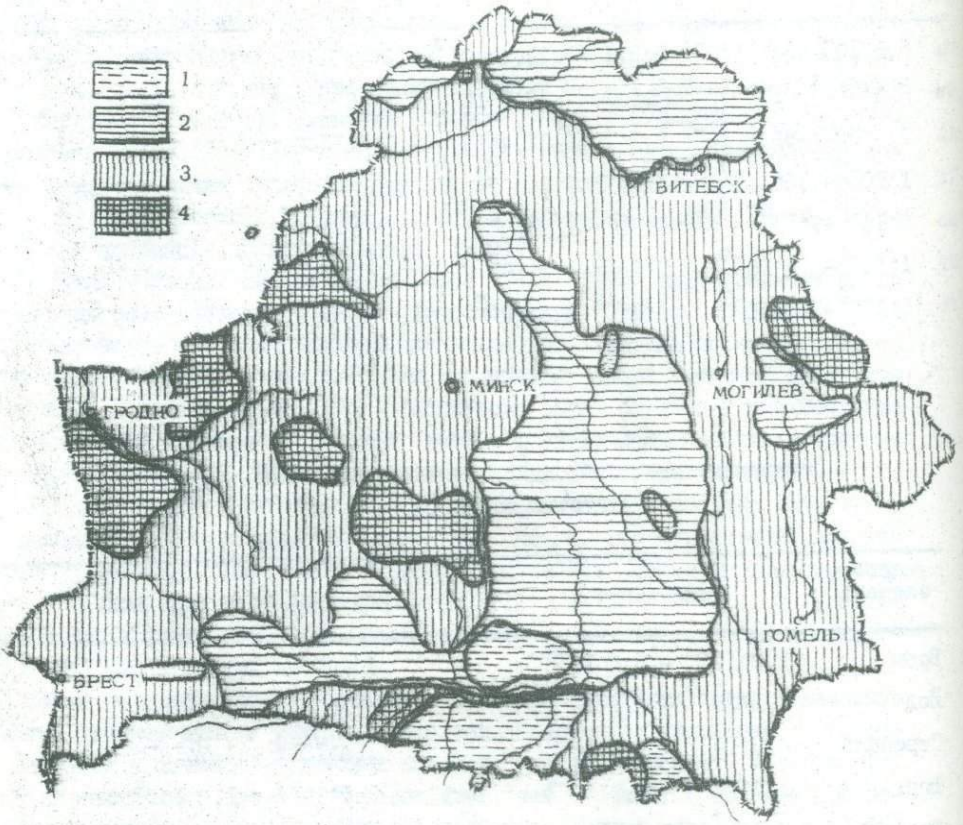


Рис.41. Картосхема гидрогеохимических провинций поверхностных вод БССР (К.И.Лукашев и др., 1969):

1 — с преобладанием биогенного (торфяно-болотного) фактора формирования (сумма ионов 50-150 мг/л); 2 — с биолитогенным фактором формирования (150—250 мг/л); 3 — с литобиогенным фактором формирования (250—350 мг/л); 4 — с преобладанием литогенного (карбонатного) фактора формирования (сумма ионов 350—500 мг/л)

грузки карбонатных грунтовых вод за счет дренирования меловых пород (низовья Горыни и Ствиги).

С левобережьем Западной Двины, бассейнами Березины и Припяти связана провинция гидробиолитогенного фактора формирования (сумма ионов в водах 150—250 мг/л). По сравнению с двумя вышеуказанными провинциями здесь общая минерализация вод и содержание макрокомпонентов уменьшаются. В то

Таблица 23

Пределы содержаний химических элементов по выделенным гидрогеохимическим провинциям

Гидрогеохимическая провинция	Сумма ионов, мг/л	HCO_3, мг/л	Ca, мг/л	Fe мг/л	Цветность в градусах бихромат-кобальт. шкалы
С преобладанием биогенного фактора формирования	50-150	1,2-97,6	5,68-27,86	2,08-9,74	180-300
С преобладанием биолитного фактора формирования	150-250	122,0-244,0	23,16-41,8	1,45-4,0	30-250
С преобладанием литобиогенного фактора формирования	250-350	131,8-247,05	41,16-55,91	0,5-2,0	30-50
С преобладанием литогенного фактора формирования	350-500	268,4-414,8	58,72-74,55	-	25-80

Гидрогеохимическая провинция	pH	Микроэлемент, γ/л			
		Mn	Cu	Al	Ni
С преобладанием биогенного фактора формирования	6,4-7,1	23,9-100,0	7,0-16,3	45,9-100,0	5,6-9,4
С преобладанием биолитного фактора формирования	7,1-7,8	0,2-49,2	5,6-57,2	0,1-100,0	0,3-10,0
С преобладанием литобиогенного фактора формирования	7,4-8,3	0,4-24,9	2,1-71,7	5,1-100,0	0,7-4,7
С преобладанием литогенного фактора формирования	7,5-8,51	0,4-7,3	1,3-23,1	2,7-88,0	0,6-0,9

же время влияние биогенного фактора проявляется интенсивнее, сказываясь на увеличении органического вещества в водах (цветность с 30° до 250°) и возрастании подвижности микроэлементов за счет их органо-минеральных соединений.

В южной части республики широко распространены болотные воды, связанные с торфяно-болотными массивами (район оз. Червоное, Нижний Бобрик, Уборть, Ствига, низовье Словечны). Они объединяются в гидробиогенную провинцию. В водах минимальное содержание растворенных минеральных веществ (сумма ионов 50-150 мг/л), максимальные концентрации марганца, алюминия, никеля и других микроэлементов. Специфика этой провинции состоит в том, что действие литогенного фактора проявляется в весьма малой степени, а первостепенное значение приобретает биогенный фактор. Несмотря на минимальное содержание микроэлементов в окружающих породах, их концентрация в водах оказывается максимальной в связи с решающим влиянием органического вещества на миграционную способность железа и его спутников.

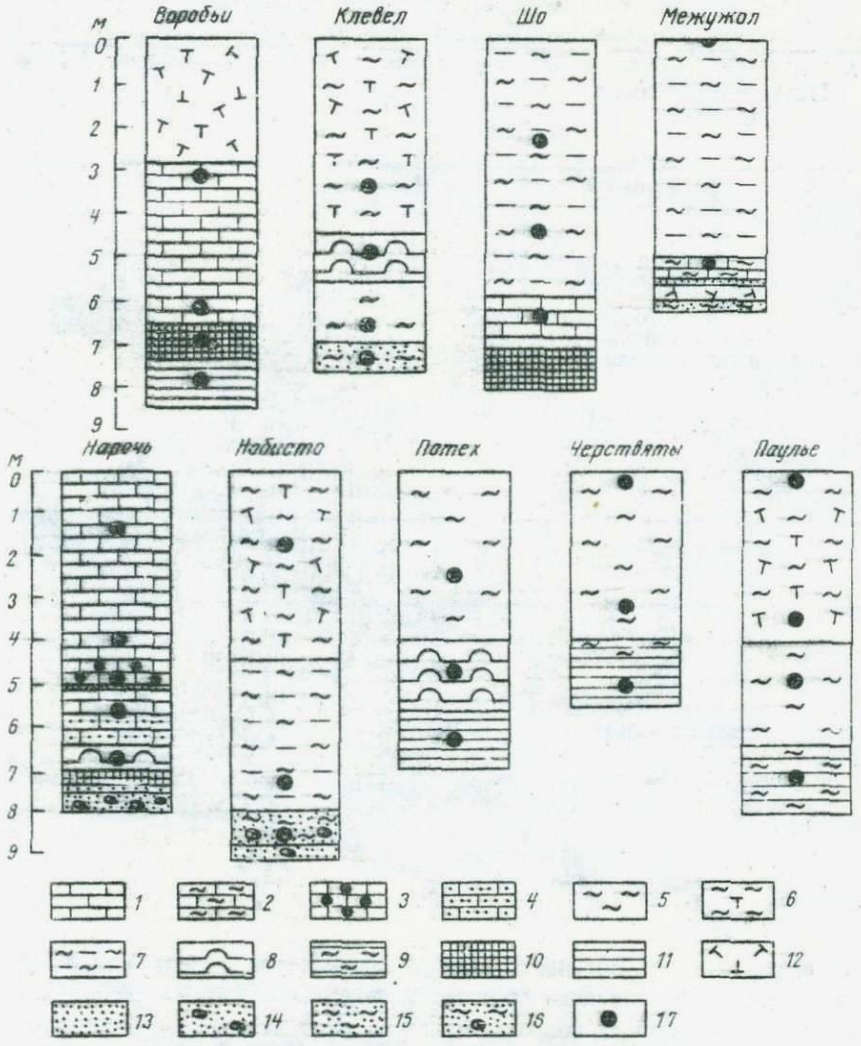


Рис.42. Строение и состав отложений озер северной Белоруссии (Якушко, 1971):

1 — озерный известняк; 2—8 — сапропель (2 — карбонатный, 3 — карбонатный с ракушками, 4 — опесчаненный карбонатный, 5 — кремнеземистый, 6 — грубодетритовый, 7 — тонкодетритовый, 8 — смешанный (содержит примерно одинаковое количество SiO_2 и CaO в зольном остатке); 9 — глинистый ил; 10 — карбонатная глина; 11 — силикатная (бескарбонатная) глина; 12 — торф; 13 — песок; 14 — песок с валунами; 15 — песок илистый; 16 — песок илистый с валунами; 17 — место отбора пробы на спорово-пыльцевой анализ

Продуктами аккумуляции речного стока являются разнообразные типы современного и древнего аллювия, различающегося строением и составом в зависимости от развития русл рек и долин, климатических колебаний и других факторов. Эти вопросы детально характеризуются в ряде работ. Особенно крупный вклад в геохимическое изучение аллювия Белоруссии внесен В.А.Кузнецовым (1973).

4. Гидрогеохимические процессы и продукты озерного стока и аккумуляции

Строение и состав отложений озер северной Белоруссии, по О.Ф.Якушко (1971), *иллюстрируются рис. 42 и схематической классификацией озерных* отложений современных водоемов Белорусского Поозерья (рис.43).

Наиболее полно закономерности геохимического поведения элементов в системе водная масса—осадок изучены для кальция. Условия поведения этого элемента в озерном бассейне седиментации определяются состоянием карбонатной системы водной массы и характеризуются двумя основными показателями: величинами CO_2 агрессивной и отношением $S/S_t°$, выражающим степень насыщенности воды карбонатом кальция. Проведенные исследования и расчеты показателей карбонатной системы позволили оценить разновидности условий современного химического карбонатонакопления для озерных водоемов республики и определить их место в ряду седиментационной результативности по кальцию. Крайние положения в этом ряду занимают, с одной стороны, озера, в которых условия выпадения углекальциевой соли из водной массы повсеместно и постоянно отсутствуют, а с другой — озера, где реализуется возможность современного химического карбонатообразования и накопления обогащенных $CaCO_3$ осадков.

В водоемах первого типа величина $S/S_t°$ повсеместно меньше I (0,0002—0,001), а количество CO_2 агрессивной достигает 44,8 мг/л (оз. Бездонка) даже в летний период. В озерах-карбонатонакопителях создаются оптимальные условия для химической садки монокарбоната. Агрессивная CO_2 здесь отсутствует, а отношение $S/S_t°$ продолжительную часть года (весь теплый период) остается больше I (озера Нарочанской группы).

Промежуточное положение занимают озерные бассейны, в которых возможность накопления кальция ограничена кратковременными (в годичном и многолетнем циклах) *положительными условиями садки и низким уровнем поступления* карбонатного материала в водоем. При этом оказывается, что в современных условиях основным фактором геохимического поведения элемента внутри озерного бассейна является биогенный в виде жизнедеятельности живого и влияния отмершего органического вещества на газовый режим и возможность хемогенного накопления кальция, а также других осадкообразующих элементов.

В наших публикациях (К.И.Лукашев и др., 1973) детально разработаны вопросы карбонатно-кальциевых равновесий как системы наиболее динамических природных процессов, изменчивость которых определяется биохимическими и физико-химическими свойствами взаимосвязанных газовых, растворенных и твердофазных компонентов. По нашим представлениям, они являются важнейшей *динамической и физико-химической характеристикой озерных процессов* литогенеза, сопровождаемого миграцией в растворах химических элементов, их участием в минералообразовании.

Система карбонатных равновесий включает: равновесие углекислого газа в атмосфере и в водном растворе, равновесие свободной CO_2 с ее гидратированными формами в воде и равновесие растворимой и твердой (нерастворимой) фаз углекальциевой соли.

Наиболее подвижным компонентом равновесий является свободная двуокись углерода. Колебания ее годичных концентраций в различных водоемах достигают от десятых долей до 50 мг/л. При этом закономерное распределение CO_2 по глубинам отражает специфику каждого типа бассейна — интенсивность жизнедеятельности живого и скорость минерализации отмершего органического ве-

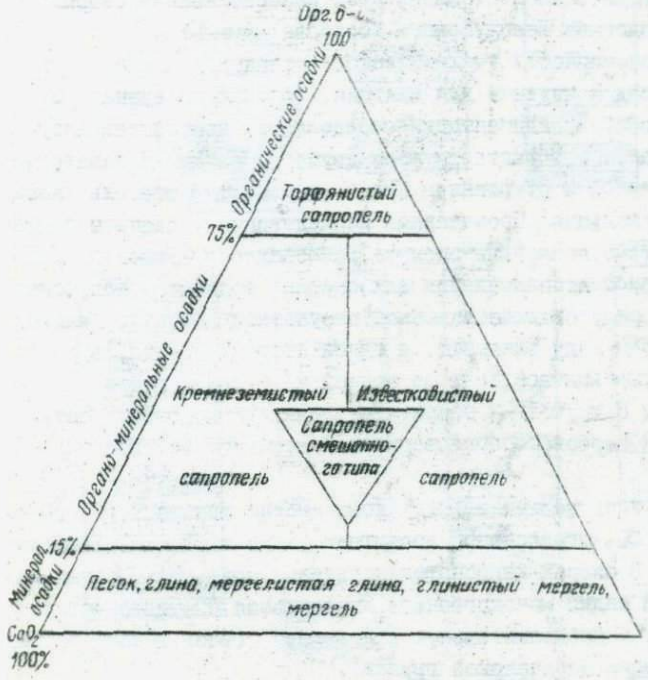


Рис.43. Схема классификации озерных отложений современных водоемов Белорусского Поозерья (Хомич, 1969)

щества, характер газообмена с атмосферой, температурный режим и др. Двуокись углерода служит основной причиной образования или отсутствия состояния пересыщения. Сезонные температурные изменения, вариации количества и состава солевых компонентов вод оказываются менее существенными. Расчеты показали, например, что температурные колебания в пределах 10° ($15–25^{\circ}$) — интервал, характерный для верхних слоев всех озер — приводят к изменению растворимости CO_2, величина которой определяется концентрацией самой двуокиси углерода. Так, при атмосферном CO_2 рост температуры даже на 20° снижает растворимость CO_2 лишь на десятые доли мг/л.

Таким же образом изменения растворимости карбоната кальция с ростом температуры подчиняются преимущественно динамике CO_2. С ростом температур и снижением P_{CO_2} возрастают значения констант диссоциации угольной кислоты: первой в 1,77, второй — в 2,35 раза (от 0 до 30°); концентрация карбонатных ионов увеличивается быстрее, чем бикарбонатов: происходит пересыщение раствора по $CaCO_3$.

Таблица 34

Условия современного карбонатообразования в озерных бассейнах Белоруссии (в годичном цикле)

Условия карбонатообразования	Характер процесса	Расположение карбонатной зоны	Глубина зоны, м	CO_2, мг/л: свободная	CO_2, мг/л: агрессивная	Степень насыщения
Равновесные (на примере оз. Лодцы, Нищо, Глубиза и др.)	Карбонатообразование	Весь объем водной массы (лето), за исключением отдельных впадин	0,5–4,0	1,76–5,63	–	1,77–5,79
	Растворение карбоната	Весь объем водной массы (зима)	1,0–1,5	16,72–33,44	0,66–12,98	0,99–0,43
Отрицательные (на примере оз. Бездонное)	Карбонатообразование	Отсутствует				
	Растворение карбоната	Весь объем водной массы (лето, зима)	1,0–12,5	8,04–48,9	7,92–44,88	0,80–0,85
	Карбонатонакопление					
Положительные (на примере оз. Мядель, Нарочь, Белое)	Карбонатообразование	Верхние слои водной массы, участки литорали и сублиторального склона (лето)	0,5–5,0	0,89–3,48	–	1,11–8,58
	Растворение карбоната	Весь объем водной массы, за исключением зоны карбонатообразования (зима)	5,0–23,0	8,74–10,34	0,55–5,28	0,98–0,86
	Карбонатонакопление	Прибрежные участки литорали и сублиторального склона (лето, зима)	1,0–8,0	0,39–1,85	–	1,88–8,58

Следует также отметить, что диапазон минерализации вод озер Белоруссии составляет 25–480 мг/л. Для большинства водоемов характерны величины порядка 220–400 мг/л; 90% мг-экв. составляют гидрокарбонатные соли Ca и Mg. При снижении минерализации возрастает относительная роль некарбонатных солей (25% мг-экв), которые, как известно, повышают растворимость карбонатов.

Современное состояние озер характеризуется преимущественным накоплением органического вещества. Различная интенсивность геохимического действия живой органической массы, растворимых и нерастворимых органических соединений в воде и донных отложениях определяют в конечном итоге динамику физико-химической среды, возможность образования, выпадения и накопления

карбонатно-кальциевых компонентов. В годичном и многолетнем циклах миграции вещества выделены 3 типа условий современного озерного карбонатообразования (табл.24). Для большинства озерных бассейнов гумидной зоны характерны равновесные условия. Карбонатно-кальциевая система таких озер имеет неустойчивое состояние. В летний теплый период происходит образование карбоната (пересыщение); в зимний, холодный -- растворение, сопровождающееся ростом концентраций CO_2 до агрессивных значений, падением pH, увеличением содержания бикарбоната кальция в водах. Процессы осадконакопления сопровождаются здесь миграцией карбоната Са из воды в осадок и обратно, не достигая ни полного выпадения, ни растворения. Среднее содержание $CaCO_3$ в отложениях колеблется в пределах 20%.

Стабильное смещение карбонатной системы в сторону растворения (отрицательные условия) характерно для озер болотных ландшафтов. Избыток органических кислот в водах поддерживает здесь постоянно высокие концентрации водородных ионов. Карбонат кальция в осадках практически отсутствует, а минерализация воды обычно не превышает 25--50 мг/л. Влияние органической массы торфяно-болотных ландшафтов на карбонатно-кальциевую систему имеет двойное действие: во-первых, постепенное заболачивание водосборов и зарастание озер приводит к ограничению поступления минерального вещества; во-вторых, изменяются физико-химические условия озерной среды. Оба фактора смещают равновесие в сторону растворения карбонатного вещества.

Положительные условия накопления карбонатных отложений должны характеризоваться стабильным пересыщением водной массы. Степень насыщения вод у них постоянно больше I, всегда отсутствует агрессивная углекислота, содержание органического вещества не превышает 2-3 мг/л. Такие условия, как показали исследования (К.И.Лукашев и др., 1971), создаются в озерах со сложным строением котловин, широкими многоплесовыми литоралями с объемом, превышающим объем воды в отдельных глубоких впадинах. Зона карбонатонакопления занимает мелководные участки, охватывая кольцом более глубокую центральную пелагиаль, где озерные мергели и известковистые сапропели постепенно сменяются низкокарбонатными отложениями органо-силикатного состава.

Неоднородность состава карбонатных осадков позволяет говорить о полигенной природе карбонатного накопления -- результата совместного проявления процессов химической, механической и биологической дифференциации минерального и органического вещества. В истории развития озер эти процессы по-разному участвовали в осадконакоплении. В бореальный и атлантический периоды голоцена преобладало хемогенное карбонатонакопление. Климатические условия того времени обеспечивали физико-химическое осаждение углекальциевой соли, о чем свидетельствует почти повсеместное обнаружение в разрезах озерных отложений слоев с высоким содержанием карбоната. На запад от Белоруссии, в озерах Прибалтики, Польши, карбонатонакопление остается преобладающим процессом современного осадконакопления. Одной из причин этого следует, по-видимому, считать высокую карбонатность ледниковых отложений, среди которых расположены котловины современных озер.

Наличие на территории республики различных озерных бассейнов, образованных деятельностью последнего поозерского ледника, разнообразие литологических типов водосборных площадей, контрастность рельефа, гидрогеологических и почвенно-климатических особенностей определяют сочетание внешних и

внутренних геохимических параметров озерного литогенеза Белоруссии. Это отражается на скорости осадконакопления и составе озерных отложений. Распространены минеральные терригенные пески и глины, органо-минеральные силикатные и карбонатные разновидности, высококарбонатные озерные мергели и мергелистые глины и лишенные карбонатного вещества органические сапропели и торфосапропели (табл. 25).

Таблица 25

Карбонатность современных озерных отложений водоемов Белоруссии (средние данные, % на абс. сухое вещество)

Тип осадка	Зольность	$CaCO_3$	C	Число анализов
Минеральные:				
озерный песок	98,46	6,63	I,04	20
озерная глина	89,57	I3,70	-	5
мергелистая глина	94,79	3I,9I	I,74	6
озерный мергель	92,75	54,27	3,73	4
озерная известь	9I,6I	8I,79	-	8
Органо-минеральные:				
глинистый ил	84,24	9,73	6,4I	26
кремнеземистый сапропель	64,55	I2,66	I5,89	64
Органические:				
грубодетритный и торфянистый сапропель	I8,46	Не обн.	34,00	8

Изучение геохимического поведения железа в системе водная масса -- осадок показало, что при низкой общей результативности процессов железонакопления, характерной для современных озерных водоемов Белоруссии, не исчезает специфика его поведения, обусловленная различными сочетаниями условий поступлений и лимнологической обстановки бассейнов седиментации. При этом действие биогенного фактора определяет результативность концентрации железа. Углекислый газ, продуцируемый при превращениях органического вещества, представляет собой не только регулирующий компонент состояния карбонатной системы и поведения ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-, CO_3^{2-} в водах, но и концентрации водородных ионов, определяя характер среды водной массы и миграционную способность элементов. Влияние биогенного фактора на газовый режим (CO_2, O_2) и непосредственное взаимодействие водорастворимого органического вещества с железом обусловливают скорость окисления и восстановления железа и конечную результативность его накопления в осадках. В геохимическом поведении кремния, представленного в отложениях озерного генезиса в форме SiO_2, роль внутренних лимнолого-геохимических условий седиментационного бассейна проявляется, по-видимому, главным образом через гидродинамический режим озера и его влияние на механическую седиментацию кремнийсодержащего вещества.

Анализ геохимического поведения названных элементов, оценка возможнос-

тей их поступления, доведения до осадка и стабилизации в последнем дают в конечном счете представление о характере озерного накопления. Это в свою очередь позволяет дифференцировать современные озерные бассейны седиментации на геохимической основе и выделить провинции озерных отложений по преобладающему виду накопления. В числе установленных для водоемов Белоруссии видов озерного накопления первое место принадлежит органическому накоплению. Абсолютное большинство озерных бассейнов седиментации рассматриваемого региона представляет собой продуценты органического вещества. Именно в этом в первую очередь проявляется общая тенденция осадкообразовательного процесса, обусловленная особенностями природной обстановки региона.

Учитывая роль органической составляющей в отложениях озерного генезиса, а также отмеченное выше влияние живого и отмершего органического вещества на весь процесс осадконакопления в современных озерах Белоруссии, территорию республики можно отнести к обширной лимнолого-геохимической области озер-органонакопителей. Внутри названной области можно также выделить отдельные лимнолого-геохимические провинции с учетом положения, которое занимают различные виды озерного накопления в ряду седиментационной результативности. В водоемах преобладающего органо-гумусового накопления формируются преимущественно торфянистые сапропели, а в водоемах преобладающего органо-силикатного накопления — кремнеземистые сапропели, наиболее характерные для Белорусского Поозерья. Значительно меньшим распространением пользуются провинции органо-силикатно-карбонатного накопления; формирующиеся в водоемах известковистые сапропели и сапропели смешанного типа распространены на юго-западе Белорусского Поозерья.

Таким образом, воды белорусских озер в отличие от речных характеризуются пониженным (в 10 раз) содержанием брома, количество которого в этих водах колеблется от $3,4 \cdot 10^{-7}$ до $6 \cdot 10^{-7}$%. Исключение составляет озеро Материнское, включившееся в торфомассив Дукора (Минская область), в воде которого содержание брома и йода повышено по сравнению с водами озер, не связанных с торфяниками. Близкие к ним количества брома ($3,2 \cdot 10^{-6}$%) и йода ($2,1 \cdot 10^{-7}$%) найдены в воде карьера этого массива. Относительно повышенное содержание их обнаружено в исследованном торфе: $6,8 \cdot 10^{-4}$% брома и $7 \cdot 10^{-7}$% йода. По-видимому, в благоприятных природных условиях торф оказывает некоторое воздействие на повышение концентрации этих элементов.

5. Гидрогеохимические процессы и продукты болотообразования

Как отмечалось выше, в Белоруссии болота и заболоченные территории занимают весьма видное место в ландшафтах. Среди них в зависимости от положения в рельефе, характера минерального питания и других природных условий различают верховые (олиготрофные), низинные (эвтотрофные) и переходные (мезотрофные) типы болотных процессов торфообразования.

Верховые болота развиваются на более приподнятых элементах рельефа (на водоразделах, террасах рек); поверхность их обычно выпуклая. Главный их торфообразователь — сфагнум — развивается преимущественно на субстратах, бедных основаниями, и питается водой, бедной минеральными солями. Поэтому торфы верховых болот имеют небольшую зольность (от 1,5 до 5%), состоящую преимущественно из двуокиси кремния. Кроме того, в них содержится

0,8–1,5% азота, 0,1—0,2% серы. В тех случаях, когда в составе торфообразователей верхового торфа имеются кустарники, они богаты битумами — до 4% восков, 4—5 парафинов, до 10% смол. Воски верхового торфа по составу ближе к монтан-воску землистых углей, температура их плавления 71—75°. Малоразложившиеся верховые торфы содержат много углеводов. Полагают, что средний прирост живого сфагнума составляет 25 мм в год; накопление же абсолютно сухой массы сфагнума на площади в 1 га дает 2—2,5 т.

Главные торфообразователи низинных болот, развивающихся преимущественно в котловинах—осоки, камыши, тростники, мхи и т.д. Низинные болота питаются грунтовыми водами, часто содержащими разнообразные минеральные соли, поэтому торфы их отличаются гораздо большей зольностью (5—20, иногда 50%). В них содержится 2—3,8% азота, 0,3—0,5, реже до 1% серы; в золе преобладают окислы кальция и магния. Встречаются вивианиты — разности низинного торфа, богатые фосфором. Нарастание торфа в низинных котловинах приводит к их выравниванию. Поверхность образующихся здесь торфяников ровная, плоская, иногда слегка вогнутая.

Переходные (или мезотрофные) болота — промежуточный тип между верховыми и низинными — характеризуются умеренным минеральным питанием и смешанным древесным, древесно-осоковым, древесно-сфагновым, осоково-сфагновым и другим переходным составом торфов. Зольность переходных торфов колеблется в пределах 3—8%, содержание азота — 1—2,6%.

Лигнин, воски и природные производные фенатренового ряда — наиболее устойчивая часть торфообразователей. Интенсивнее разрушаются белки растений и целлюлоза. Азотные вещества в торфе представлены смесью легкогидролизуемых соединений и вовсе негидролизуемых азотных веществ. В малоразложившихся торфах и мхах содержатся фенолы, с которыми связана высокая стойкость углеводов и антисептические свойства мхов и отдельных видов торфов. Зольность особенно высока у низинных торфов: они богаты также азотом, кальцием и фосфором, характерна меньшая кислотность. В верховом торфе азота почти в два раза меньше, чем в низинном, кальция и фосфора меньше в несколько раз, кислотность торфов почти в два раза больше.

Выяснено, что степень разложения торфа возрастает в пределах каждого его вида в зависимости от роста содержания золы; увеличение содержания целлюлозы приводит к увеличению степени разложения. Вместе с тем наличие в растениях фенолов (в мхах, сосне и др.) тормозит разложение их органического вещества. Типы болот и торфяников изменяются не только в пространстве, но и во времени. Нередко можно наблюдать, как толщи торфа сохраняют следы последовательной смены одного типа другим: низинные сменяются верховыми или переходными и наоборот.

Воды верховых торфяных болот характеризуются низкими концентрациями солей, органическое вещество в них разлагается медленно. Воды низинных болот содержат значительно большее количество растворимых солей и распад органического вещества протекает интенсивнее.

В верховых болотах pH обычно ниже 6, в редких случаях ниже 3. Низинные болота имеют pH от 7 до 8, и это, вероятно, является верхним пределом торфообразования.

Верхний предел колебаний Eh +700 мв достигается только при дренировании торфяных болот, нижний лежит в области отрицательных потенциалов (Ба-

ас Беккинг, Каплан и Мур, 1963).

Торф обычно содержит мало калия и фосфора, азот образуется в результате микробиологического разрушения хлорофила. При распаде органического вещества возрастает содержание углерода и уменьшается количество кислорода. В то же время химические элементы концентрируются в форме железных, фосфатных, марганцевых и других отложений.

Болотные процессы оказывают большое влияние на минеральные компоненты выветривания. Алюмосиликатный материал, осаждаемый на поверхности болота, существенно перерабатывается вплоть до полного распада кристаллических структур на простые окислы (К.И.Лукашев и др., 1971). Болотные воды существенно определяют состав речного стока, повышают концентрацию в них органического вещества и миграцию железа, фосфора, микроэлементов (Ni , Co и др.). Об этом свидетельствует состав болотных вод Белоруссии.

Низинные болота, занимающие в Белоруссии наиболее погруженные депрессионные участки рельефа, являются местом смешения атмосферных, грунтовых, паводковых и склоновых вод. В результате формируются своеобразные гидрохимические типы торфяных вод, на которые в свою очередь влияет постоянный контакт с массой оторфованных растительных остатков. Степень метаморфизации вод зависит от скорости фильтрации и степени открытости или закрытости системы. Преобладают воды гидрокарбонатно-кальциевого класса с минерализацией, зависящей от местных ландшафтно-геохимических и геолого-гидрогеологических особенностей.

Наименее минерализованы воды верховых и переходных торфяников (5,0-40,0 мг/л), которые характеризуются преобладанием среди анионных компонентов хлора, высоким содержанием растворимых органических веществ (о чем можно судить по величине цветности и окисляемости) и низким значением pH. В водном балансе торфяников этого типа решающее значение имеют атмосферные осадки.

Воды низинных торфяников более минерализованы. Часто их минерализация достигает минерализации грунтовых вод и даже превосходит ее. Химический состав вод различается прежде всего содержанием сульфатного иона и железа. Как правило, ион SO_4^{2-} в водах из свежих выработок на низинных торфяниках отсутствует или обнаруживается в количествах, в 5-10 раз меньших по сравнению с грунтовыми водами минерального обрамления. Для торфяных вод Белоруссии весьма характерно повышенное содержание растворенного железа. Абсолютные количества и относительная роль его в гидрохимическом балансе зависят от степени заторфованности территории. В водах полесских торфяников железо является одним из основных компонентов несмотря на пониженную в целом величину общей минерализации. В данном случае сказывается влияние длительного контакта обогащенных органическим веществом кислых торфяных вод с минеральными породами ложа, вызванное затрудненным стоком избыточной влаги с огромной территории.

Иногда отмечается параллелизм в оподзоливании почв и интенсивности железистого минералообразования в примыкающих понижениях. Железо в таких случаях, по-видимому, поступает с почвенными водами, уровень которых во влажные сезоны может подниматься до самой поверхности. О растворении привнесенного на торфяник илистого материала и перераспределении химических компонентов может свидетельствовать уменьшение величины зольного остатка

в средних горизонтах торфяных залежей по сравнению с верхними, хотя, например, для пойменных торфяников трудно предполагать значительное уменьшение привноса механической взвеси в прошлом. Заметное разрушение минералов и вынос ряда компонентов под влиянием различных органических веществ кислотной природы доказаны лабораторными экспериментами. Комплексообразующая способность гумусовых кислот с железом хорошо известна, причем содержание последнего на 1 г углерода гуминовой или фульвокислоты в растворе при pH 6–7 может достигать нескольких сотен миллиграммов (Ковалев, Генералова, 1966). Поскольку хелатное (внутрикомплексное) железо, по существу, не фиксируется при обычном гидрохимическом анализе, истинное его содержание в торфяных водах будет выше приведенных ранее значений. Органогенно связанное железо составляет 28,2—100% от валового (табл. 26) и достаточно хорошо коррелируется с величиной бихроматной окисляемости. В речных водах, имеющих постоянный контакт с атмосферным воздухом, окислительные процессы приводят к некоторому снижению растворимых органо-минеральных форм и увеличению коллоидно-дисперсных гидроокисей. Среди растворенных в водах полесских рек органических веществ свыше 90% составляют фульвокислоты (Каган, Гельфер, 1956).

Особый интерес представляет изучение зависимости гидрохимических свойств болотных вод от грунтовых. Грунтовые воды (в колодцах, криницах, родниках) очень редко содержат железо в определяемых количествах. Лишь в некоторых источниках — на склонах балок и береговых уступах озерных котловин — концентрация достигает 3—4 мг/л, а в низинных торфяниках она повышается местами до 25—30 мг/л.

Эти факты заставляют весьма осторожно оценивать грунтовые воды минеральных суходолов в качестве основного поставщика железа в торфяниках. Не отрицая грунтового подтока как фактора гидродинамического напора, обусловливающего движение воды в торфянике, нам кажется, что более перспективным для выяснения источника железа было бы изучение преобразования илистого материала, привносимого на торфяник склоновыми и паводковыми потоками под влиянием живого и отмершего органического вещества.

Из сказанного видно, что изучение геохимических процессов болотообразования, их минеральных и органических продуктов представляет не только научный, но и большой практический интерес.

6. Гидрогеохимические процессы и продукты подземных вод

По изучению подземных вод Белоруссии опубликовано большое количество работ (Козлов 1952, 1974; Богомолов, Козлов, 1960; Богомолов и др., 1962, 1971; Лаврова, Лукашев, Киселев, 1964; Лукашев, Маркова, 1958 и др.). С деятельностью подземных вод связаны разнообразные процессы гидрогенеза — гидролиз, растворение, выщелачивание, гидратация, дегидратация, диагенез и эпигенез, формирование химического состава пресных и минерализованных вод. Пресные подземные воды, образующие зону активного водообмена, приурочены к верхним частям разреза осадочной толщи, высоко приподнятым участкам Белорусского массива и верхней трещиноватой зоне кристаллических пород фундамента. Эти воды в зависимости от геологического строения заключены в различных по возрасту отложениях.

Таблица 26

Соотношение ионного и комплексно связанного с органическим веществом железа в торфяных водах *

Место отбора пробы	Окисляемость по $K_2Cr_2O_7$, мг O_2/л	Содержание железа, мг/л: до разрушения органического вещества	Содержание железа, мг/л: после разрушения органического вещества	Железо, связанное с органическим веществом, мг/л	% $Fe_{орг.}$ от $Fe_{вал.}$
Мелиоративная канава	55,7	0,468	0,742	0,274	36,9
Торфяная выемка	32,0	сл.	0,058	0,058	I00,00
Мелиоративная канава	I27,4	0,468	I,092	0,624	57,3
Остаточная протока на низинном торфянике	63,7	0,624	0,780	0,I56	20,0
Река	II,I	0,234	0,242	0,008	3,3
Мелиоративная канава	90	6,22	9,25	3,03	32,8
Шурф на низинном торфянике	I05,0	0,224	0,3I2	0,088	28,2

*Разрушение органического вещества производилось прибавлением H_2O_2 с последующим кипячением до полного обесцвечивания.

Формирование подземных вод зоны активного водообмена определяется климатическими условиями, особенностями геологического строения верхней части разреза осадочного покрова. Широкое распространение песчаных, хорошо водопроницаемых отложений и относительно большое количество атмосферных осадков (600–650 мм) создают благоприятные условия для образования в отложениях осадочного покрова больших запасов пресных подземных вод.

Годовая величина инфильтрации на территории БССР варьируется в широких пределах. На участках, где на поверхности залегают моренные или лессовидные суглинки, она не превышает 0,7–I0% от годовой суммы осадков, в центральных районах Белоруссии составляет 24—30%, а на юге республики, в пределах пойм и надпойменных террас Припяти и ее притоков, сложенных песчаными, хорошо водопроницаемыми отложениями, достигает 27–55% (Богомолов, Козлов, I969).

Основными областями питания водоносных комплексов зоны пресных вод являются склоны Белорусского массива, Латвийской, Полесской и Жлобинской седловин, а также конечноморенные холмы и гряды в пределах водораздельных пространств, размывы (окна) в морене и выходы водовмещающих пород на поверхность. Разгрузка подземных вод этой зоны происходит в долинах рек территории БССР и за ее пределами.

На территории БССР, как и на других участках Русской платформы, наблюдается вертикальная гидрогеохимическая зональность, заключающаяся в уве-

лением минерализации и изменении состава вод. В зависимости от гидрогеологических условий отдельных структурных элементов территории Белоруссии выделяются (сверху вниз) три гидрохимические зоны распространения пресных и минерализованных вод различного химического состава — верхняя, средняя и нижняя (Лукашев, Киселев, 1964). Верхняя зона содержит пресные воды с минерализацией до 1 г/л, химический состав которых зависит от климатических условий, состава пород и т.д., отличается пестротой; воды часто гидрокарбонатно-кальциевые. Средняя зона содержит воды с минерализацией до 35 г/л обычно хлоридного, сульфатного, гидрокарбонатного составов с кальцием, натрием и магнием. Воды и рассолы нижней зоны с минерализацией до 438 (Припятский прогиб) и даже до 643 г/л обычно хлоридно-натриевые, отчасти хлоридно-кальциево-натриевые и реже хлоридно-магниевые, хлоридно-кальциевые, хлоридно-натриево-магниевые и хлоридно-натриево-аммониевые. В больших количествах содержатся бром, йод, бор, стронций и другие микроэлементы (Козлов, 1974). Богатые аммонием (до 22,8 г/л) воды, относящиеся к нижней гидрохимической зоне, встречены, по данным К.И.Лукашева, А.Л.Луховицкой и А.А.Замяткиной (1963), в Припятском прогибе на глубинах около 2500 м. Полнота развития гидрохимических зон может быть различна: вместо трех зон могут быть представлены две или даже одна.

Газовый состав вод, зонально изменяющийся с глубиной, связан с их солевым составом. Характер зональности зависит от конкретных геологических и гидрогеологических условий. С глубиной воды, содержащие кислородно-азотные газы, сменяются водами с углекисло-азотными и азотными газами; иногда воды содержат метаново-азотные, азотно-метановые и метановые газы.

Учитывая газовый фактор, можно выделить три вертикальные гидрогеохимические зоны природных вод. Верхняя заключает в себе воды с газами окислительной обстановки, содержит азот, кислород, углекислоту, характеризует воды поверхностных водоемов и неглубоких подземных вод. Средняя зона содержит воды с газами восстановительной обстановки, включающие при отсутствии кислорода метан, сероводород, углекислоту и др. В эту зону, в частности, попадают воды нефтяных и газовых месторождений — сероводородные хлоридно-натриевые воды (рассолы) Ельского района Белоруссии (Припятский прогиб). Нижняя зона включает воды с газами метаморфической обстановки, содержащие преимущественно углекислоту. К ним относятся газирующие углекислотой воды молодой магматической обстановки.

Большим разнообразием характеризуется состав минерализованных вод Белоруссии. И.Ф.Козлов (1974) выделяет среди них: сульфатные кальциевые, магниево-кальциевые и натриево-магниево-кальциевые; сульфатно-магниево-кальциевые, сульфатно-хлоридные натриевые, кальциево-натриевые и магниево-кальциево-натриевые, хлоридные натриевые и натриево-кальциевые с минерализацией от 2 до 320 г/л и более; сульфидные сероводородные воды хлоридного натриевого и натриево-кальциевого составов с минерализацией более 320 г/л; бромные и бром-йодные воды хлоридного натриевого и натриево-кальциевого составов с минерализацией до 360 г/л и более; радоновые слабо минерализованные воды гидрокарбонатного натриевого состава с минерализацией до 1 г/л и другие типы.

Минерализованные воды территории БССР широко используются как природные лечебные растворы в курортном и внекурортном лечении. Рассолы высокой

минерализации могут служить сырьем для промышленной добычи таких ценных химических элементов, как бром, йод, стронций и др.

В заключение отметим, что К.И.Лукашев и П.А.Киселев (1964) на основе анализа геологического и гидрогеологического материала, характеризующего подземные воды Белоруссии и других регионов Советского Союза, выделяют несколько типов гидрогеохимических провинций.

Гидрогеохимические провинции, обусловленные естественно-исторической зональностью, сменой ландшафтно-климатических, географических условий. Для почв, растительности и процессов выветривания эта зональность в конце XIXв. установлена В.В.Докучаевым (1949). Особенности зональности грунтовых вод рассматривали П.В.Отоцкий, В.С.Ильин, Ф.П.Саваренский, О.К.Ланге, Г.А. Максимович, И.В.Гармонов и др.

Гидрогеохимические провинции, обусловленные гидродинамикой подземных вод. В артезианских бассейнах по признакам водообмена И.К.Игнатович (1944) выделил три гидродинамические зоны. Верхняя зона — активного водообмена — проявляется в грунтовых и связанных с ними неглубоко залегающих напорных водах, находится под влиянием местной гидрографической сети и действия климатических факторов; в средней зоне — затрудненного водообмена — влияние этих факторов ослабленно или затухает; нижняя зона — замедленного водообмена и застойных гидрогеохимических процессов — характерна для глубинных частей земной коры.

Гидрогеохимические провинции, обусловленные изменением химического состава подземных вод с глубиной и в горизонтальных направлениях в краевых частях артезианских бассейнов. В артезианских бассейнах в общем случае могут получить развитие три вертикальные гидрохимические зоны:

1) верхняя — зона пресных вод с минерализацией до 1 г/л — с химическим составом вод, зависящим от климатических условий, состава пород и т.д.; в области избыточного увлажнения характерны пресные гидрокарбонатно-кальциевые воды, в области недостаточного увлажнения — воды пестрого химического состава с различной минерализацией хлоридно-карбонатного и хлоридно-сульфатного составов;

2) средняя зона вод с минерализацией 1-10 г/л и преобладанием сульфатов и хлоридов;

3) нижняя — зона с минерализацией вод от 10 до 438 г/л (например, в Припятском прогибе); содержит в основном хлоридно-натриевые воды, присутствуют также хлоридно-кальциево-натриевые, хлоридно-магниевые, хлоридно-кальциевые, хлоридно-натриево-магниевые, хлоридно-натриево-кальциевые и хлоридно-натриево-аммонийные.

В артезианских бассейнах зоны представлены по-разному. Иногда вплоть до фундамента присутствует лишь одна верхняя зона пресных вод (Белорусско-Литовский массив), в других случаях — две или три зоны. Хотя гидрохимические зоны связаны с гидродинамикой подземных вод, они не совпадают с гидродинамическими зонами. Наблюдаются и другие типы гидрохимической зональности — например, уменьшение минерализации с глубиной, в частности, в предгорных краевых частях бассейнов — "обращенная вертикальная зональность" (Каменский, 1954), уменьшение или увеличение минерализации в средней части разреза и другие сложные типы гидрохимической зональности.

Большую роль в образовании гидрогеохимических зон играет газовый состав вод, изменяющийся с солевым составом. С глубиной кислородно-азотные газы переходят в углекисло-азотные и азотные; местами появляются метаново-азотные, азотно-метановые и метановые газы.

Гидрохимические провинции, обусловленные изменением газового состава природных вод с глубиной. Согласно А.М.Овчинникову, выделяются три вертикальные геохимические зоны, различающиеся по содержанию газов.

Региональные геохимические провинции, связанные тектоническим строением территорий, составом пород, геологической историей регионов. К ним относятся геохимические провинции платформенных и складочных областей и их переходов.

7. Некоторые вопросы изучения гидросферы Белоруссии в связи с техногенезом

Раньше Белоруссию принято было относить к избыточно-увлажненной территории. Сейчас это мнение существенно изменяется. Мелиоративные работы, расширяющиеся урбанизация, гидротехническое строительство, потребление воды на бытовые нужды населения и в промышленном производстве вызывают крупные нарушения в естественном гидрологическом режиме биосферы и ландшафтов. В реки и озера стекают продукты промышленных и бытовых отходов, содержащие различные химические и биоорганические соединения. В связи с этим существенно изменяется баланс и круговорот природных вод в ландшафтах, их роль в процессах выветривания, переноса рыхлых продуктов и осадконакопления.

В ряде регионов понижается уровень грунтовых вод и уменьшаются запасы пресных вод. В перспективе будет значительно увеличено потребление и использование природных вод в республике в связи с развитием производительных сил и ростом населения, развитием курортно-санаторной сети. Это выдвигает ряд научных и технических проблем в области изучения гидросферы Белоруссии и осуществления мероприятий по рациональному использованию и охране природных вод. В числе важнейших из них следует назвать: 1) изучение поверхностного и подземного стока, факторов и условий формирования режима и баланса вод в зоне активного водообмена; 2) изучение бассейнов артезианских вод, глубины их залегания, гидрогеологического состава и запасов; 3) изучение минерализованных вод; степени их минерализации, газового состава, геохимических типов, температурных условий и других гидрогеохимических характеристик, которыми определяются бальнеологические и другие особенности минерализованных вод; 4) изучение процессов техногенного загрязнения вод в различных ландшафтах и регионах размещения добывающей, нефтеперерабатывающей, химической промышленности; 5) геохимическое картирование и районирование территории по содержанию в поверхностных и грунтовых водах макро- и микроэлементов (Fe, Ca, Mg, P, S, Si, Al, Mn и др.), определяющих использование их для бытовых и производственных целей; 6) геохимическое картирование и районирование территории по условиям и параметрам геохимической среды отдельных экосистем (окислительной, нейтральной, восстановительной с пороговыми значениями pH, Eh и др.).

В числе важнейших геохимических проблем в области изучения питьевых вод можно указать: изучение влияния концентраций кальция, магния и других

элементов на гидрокарбонатные особенности пресных вод; изучение динамики изменения их окислительно-восстановительных свойств, величины pH и других параметров в связи с загрязнением биосферы продуктами техногенеза; изучение продуктов стока, связанных с поверхностными водами их динамики, качественных и количественных особенностей в разных ландшафтных условиях и др.

Важным источником сохранения и увеличения ресурсов пресных вод может служить рациональное использование поверхностных речных и озерных вод — создание очистительных сооружений, регулировка стока поверхностных вод, строительство водохранилищ, более широкое повторное использование промышленных вод. Осуществление этих мероприятий тем более важно в связи с дальнейшим расширением отраслей промышленности, которые не только потребляют воду в большом количестве, но и основательно загрязняют ее.

Глава VI. ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛАНДШАФТАХ

I. Почва — наиболее активная сфера геохимических процессов

Так определил геохимическую роль почвы В.И.Вернадский. И действительно, из всех компонентов ландшафтов с точки зрения геохимических процессов почва занимает особое положение. Она представляет собой ту область биосферы, где непосредственно сосредоточено живое вещество планеты со всеми присущими ему чертами развития и биогеохимической деятельности. Здесь непрерывно аккумулируется и трансформируется солнечная энергия, происходит образование биомассы организмов, накопление органического вещества и существенное его изменение. Здесь радикально изменяется минеральный состав горных пород и преобразуется в новое состояние — дисперсное, коллоидное, более подвижное в твердом, жидком и газообразном видах.

Вместе с растительным и животным миром почва образует сложные экологические системы — биогеоценозы. С биогеохимическими процессами живого вещества почв связаны разнообразные геохимические функции биосферы (окислительные, восстановительные, концентрационные, метаболизма), образование газов, миграция химических элементов и их участие в абиотических и биотических процессах в ландшафтах.

Почва — это геосфера гумусообразования и образования различных органических кислот, высокодисперсных органоминеральных и металлорганических соединений — основы биологической активности и продуктивности почвенного покрова.

Почва действует как "биогенный сепаратор" в избирательном поглощении, концентрации и рассеянии химических элементов в трофической цепи питания организмов. Можно говорить о специфическом почвенно-ландшафтном цикле биогенной миграции вещества. В числе основных факторов и форм указанной миграции мы выделили следующие (Лукашев, Вадковская, 1973):

1) фотогеохимические процессы использования живыми организмами космической энергии; биологическое развитие живого вещества — размножение, большое видовое многообразие; биомасса растений, образовавшаяся в единицу времени в результате фотосинтеза, известная под названием первичной продуктивности (наиболее важной особенностью биосферы является ее биологическая продуктивность);

2) специфическая биогеохимическая деятельность различных сообществ организмов в почве: автотрофных продуцентов (самопитающихся); гетеротрофных

потребителей (животных, поедающих другие организмы); микроконсументов (бактерий, грибов и др., разлагающих сложные составные компоненты мертвой природы) — вместе взятые, они составляют замкнутый энергетический почвенно-ландшафтный цикл;

3) в результате почвенно-ландшафтного цикла биогенной миграции и аккумуляции органического вещества формируется гумусовая оболочка биосферы, образуются торфяные отложения болот и сапропелевые органические илы континентальных озер; отсюда поступает большое количество органического вещества в осадочную оболочку суши и океаническую гидросферу;

4) специфика биогенной миграции в почвенно-ландшафтном круговороте вещества ярко отражается в зональных особенностях ландшафтов и почв биосферы, образовании почвенно-биогеохимических провинций, геоморфологической контрастности геохимических ландшафтов и др.

Почвенно-ландшафтный цикл миграции и круговорота химических элементов по праву можно назвать собственно биологическим, поскольку главную роль в нем играют организмы и их многообразная геохимическая деятельность.

Главными геохимическими реакциями миграции вещества здесь являются извлечение из воды, воздуха и горных пород химических элементов, необходимых для роста и развития живого вещества; высвобождение химических элементов из органического вещества в результате его разложения и минерализации; синтез различных органических и органо-минеральных соединений в ходе роста и развития организмов; рассеяние и концентрация отдельных химических элементов в результате разложения и минерализации органических веществ; круговорот элементов между почвой, атмосферой, гидросферой и глубинными зонами земной коры в результате палеогеографического развития земной коры и палеобиосферы.

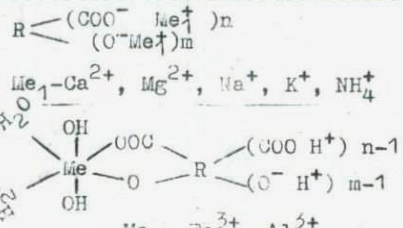
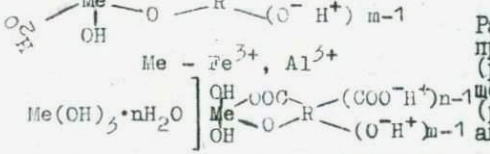
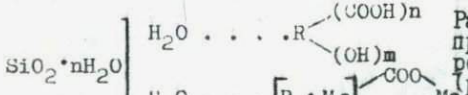
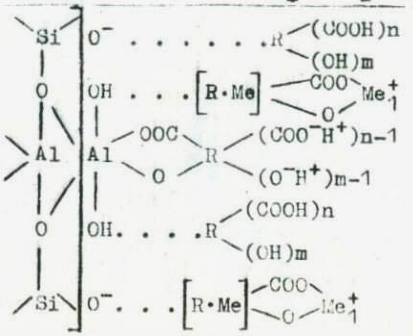
Почвенно-геохимические формации и фации развиваются в соответствии с эволюцией ландшафтов. При этом почвы проходят ряд стадий, каждая из которых характеризуется определенным типом биологического и геохимического круговорота элементов, в результате чего складывается баланс минерального, хемогенного и биогенного вещества. Важнейшими биогеохимическими представителями процессов почвообразования и биогенной миграции являются органические комплексы в виде гумусовых образований: гумины, гуминовые кислоты, фульвокислоты, коллоидно-гумусовые комплексы с глинистыми минералами, кремнеземом, железом и др. Основные типы органо-минеральных производных, образующих массу органо-минеральных коллоидов почв, представлены в табл. 27.

Наиболее очевидный результат биогеохимической деятельности организмов в почвообразовательном процессе — создание гумуса, или перегноя. В состав гумуса входят остатки разложившихся, но частично сохранивших свою структуру растительных и животных тканей, бактериальные тела, продукты разложения органических веществ, углеводов, аминокислот, восков и другие специфические гумусовые вещества, являющиеся высокомолекулярными полимерными соединениями.

Наиболее важными компонентами состава гумуса являются гуминовые и фульвокислоты, гумин и ульмин. Они связаны между собой рядом переходных соединений, и некоторые из них (например, гематомелановая кислота) рассматриваются как гуминовые, способные растворяться в спирте, а гумины и ульми-

Таблица 27

Основные компоненты органо-минеральных коллоидов в почве (по Л.Н.Александровой, 1974)

Тип органо-минеральных производных	Главнейшие представители	Вероятная форма связи	Схема строения	Устойчивость	Форма нахождения в почве
Гетерополярные соли	Свободные гуматы и фульваты Ca, Mg, Na, K, NH_4.	Ионная (гетерополярная)		Легко меняют состав катионов за счет обменных реакций	Ассоциаты и микроагрегаты в порах, пленки на поверхности коллоидных и более грубых частиц почвы
Комплексно-гетерополярные соли	Алюмо- и железогумусовые кислоты и их соли с катионами сильных оснований	Координационная		Разрушаются при кислой (pH < 4,5) и щелочной (pH > 10) реакциях	
Сорбционные комплексы	Алюмо- и железогумусовые комплексы	Хемосорбционная		Разрушаются при кислой реакции (pH < 3)	Свободные коллоидные частицы, микроагрегаты в порах, пленки на поверхности грубых твердых частиц почвы
То же	Кремнегумусовые комплексы	Адгезионная		?	
То же	Глиногумусовые комплексы монтмориллонита, гидрослюд, каолинита и других алюмосиликатов	Хемосорбционная (-) адгезионная (...)		Разрушаются при длительном воздействии растворов с кислой и щелочной реакциями	

ен — как гумусовые кислоты, тесно связанные с минеральной частью почвы и потерявшие способность к растворению (рис. 44).

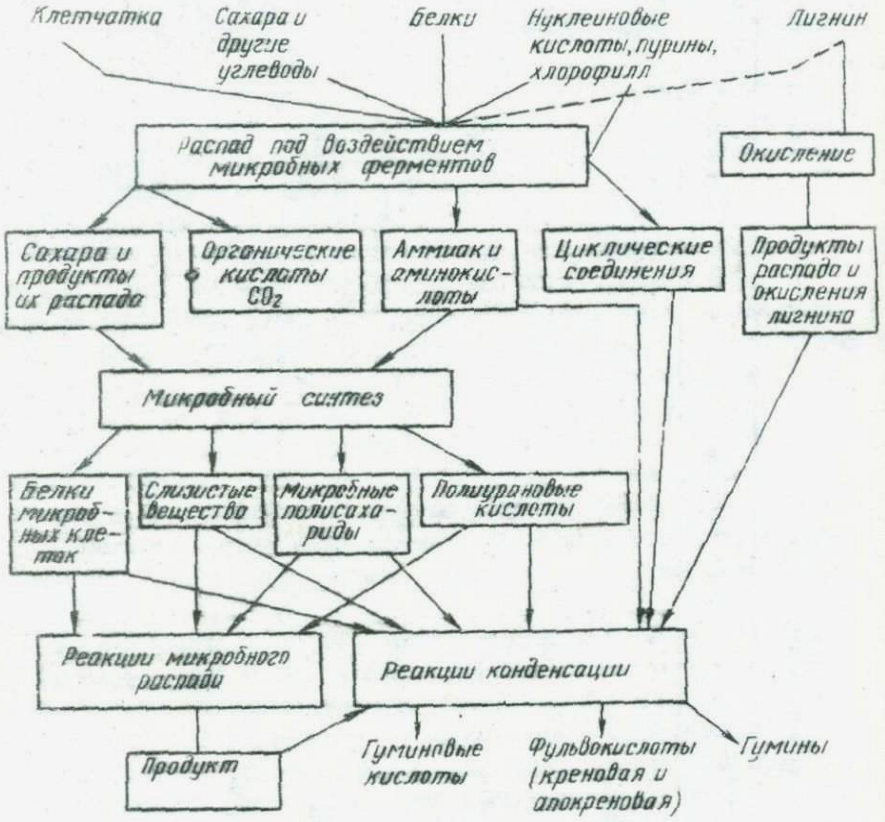


Рис.44. Схема распада органических соединений в почвах и синтез перегнойных кислот

Гуминовые и фульвокислоты представляют собой весьма сложные высокомолекулярные соединения, в составе которых видное место занимает ряд функциональных групп: карбоксильная, фенольная и спиртовая, метаксильная, карбонильная, хиноидная и другие в разном синтетическом взаимоотношении. Фульвокислоты не только содействуют миграции и выносу полуторных окислов в почвах, но и непосредственно разлагают минералы почв, вызывая образование различных соединений. Преобладание фульвокислот над гуминовыми характерно для подзолистых и красноземных почв.

Многие гумусовые вещества легко мигрируют в кислой среде, образуя коллоидный раствор, но значительно менее подвижны в нейтральных и слабощелоч-

ных растворах. Вместе с гумусовым веществом под их влиянием мигрируют многие элементы, в частности железо, алюминий, редкие элементы и др. В этом заключается огромная геохимическая роль гумусовых веществ.

В почвах мы выделяем следующие главные процессы рассеяния и аккумуляции элементов: биогенные (в гумусовом слое), элювиально-иллювиальные, гидрогенные (капиллярные) и атмогенные. Каждый из них отражает определенную специфику миграции элементов и их распределение в почвенном профиле (К.И.Лукашев, 1963).

Генетические типы почв, их многообразные разновидности отражают геохимические процессы почвообразования, миграцию и распределение в них химических элементов.

Как отмечалось выше, по природным условиям почвообразования Белоруссия относится к таежно-лесной ландшафтной зоне теплоумеренного климата. В зоне гипергенеза здесь энергично протекают геохимические и биогеохимические процессы преобразования минерального и органического вещества. В гипергенной миграции активно участвуют механические и химические продукты разрушения пород и органического детрита, денудации и эрозии — кремний, алюминий, железо, кальций, магний, калий, натрий, определяющие в разных сочетаниях геохимические фации резистатов, оксидатов, карбонатов, акаустобиолитов и др., а также остаточные и подвижные компоненты почв.

Материнскими субстратами почвообразования являются различные глинистые и песчанистые породы, отложенные главным образом ледниками, талыми и речными водами. Широкое распространение низинных форм рельефа и в ряде случаев затрудненные условия для дренажа и стока поверхностных вод создали благоприятную среду для развития болот и заболоченных пространств.

На территории республики развились дерновый, дерново-подзолистый и болотный процессы почвообразования со многими разновидностями почв. Почвенная карта основных генетических типов и разновидностей почв республики, по А.Г.Медведеву (1969), приведена на рис. 14.

2. Генетические особенности почв, формирующихся на различном литологическом субстрате

При сопоставлении почв, образующихся на разных генетических и литологических типах покровных пород (моренных, флювиогляциальных, аллювиальных, лессовых и эоловых отложениях), установлена различная взаимосвязь между почвообразующими породами и генетическими особенностями почв (Лукашев, Петухова, 1969, 1970, 1973).

Для почв, развитых на эоловых отложениях, характерен профиль со слабо выраженными генетическими горизонтами. По отношению к подстилающей породе отмечено незначительное повышение в почвенном профиле фракций 0,5—0,25 и

0,25—0,I мм ($К_{эа}$ = I,I5—I,23)* и в гумусовом горизонте фракции <0,00Iмм ($К_{эа}$=I,I7). Фракции 0,I—0,075 и 0,075—0,0I мм незначительно понижены в профиле ($К_{эа}$=0,72—0.85). Очевидно, несмотря на слабо выраженный процесс почвообразования, слаборазвитые почвы на эоловых отложениях характеризуются определенным соотношением гранулометрических фракций, обусловленных в основном процессами выветривания (физического и в меньшей степени химического), чем и отличаются от подстилающей породы.

В песчаных почвах, развитых на флювиогляциальных отложениях, морфологически и по гранулометрическому составу выделяются генетические горизонты. Элювиально-аккумулятивные коэффициенты указывают на обедненность почвенного профиля по сравнению с почвообразующей породой частицами крупнее 0,1 мм. Особенно низки $К_{эа}$ частиц крупнее I,0 мм (0,26—0,43). Фракции 0,25—0,I и 0,I—0,075 мм имеют коэффициенты, близкие к I, т.е. в данном случае эти фракции претерпевают наименьшие изменения в профиле почв и находятся в количествах, близких к содержаниям почвообразующих пород. Начиная с фракции 0,075—0,0I мм и мельче отмечается их концентрация в почвах. Наибольшие накопления выявлены для частиц 0,0I — 0,005 мм ($К_{эа}$= I,90—2,38).

Распределение илистых фракций, имеющих очень близкие величины $К_{эа}$ в горизонте $А_I$ и В (2,03—2,05) и значительно пониженные в подзолистом горизонте $А_2$, наиболее ярко подчеркивает роль подзолообразовательного процесса в перераспределении частиц по профилю почвы. Отсюда следует, что в данном случае наблюдаются процессы физического выветривания (дробления крупных частиц первичных материалов). Эти процессы наиболее энергично протекают в верхних горизонтах почвы, где амплитуда температурных колебаний наиболее высока. В результате в профиле начинают концентрироваться более тонкие фракции. Вместе с тем определенную роль начинают играть процессы подзолообразования и происходит некоторая миграция тонких частиц (мельче 0,00I мм) по профилю почвы с выносом их из подзолистого горизонта и концентрацией в иллювиальном.

Профиль почв, развитых на моренных отложениях, гранулометрическим составом значительно отличается от песчаных. Для него характерно четкое разделение на генетические горизонты. В верхних горизонтах отмечается концентрация частиц I,0—0,5, 0.5—0,25 и 0,25—0,I мм ($К_{эа}$=1,42—I,83). Количество частиц 0,075—0,0I мм и мельче почти не изменяется по профилю и практически равно таковому в породе. Характерен интенсивный вынос из почв наиболее тонких фракций 0,005—0,00I и мельче 0,00I мм.

Очевидно, в процессе почвообразования разрушаются минеральные коллоиды и близкие по размеру частицы. Вследствие этого более крупные фракции от-

---

* Элювиально-аккумулятивные коэффициенты рассчитывались Н.Н.Петуховой для всех типов почв по отдельным генетическим горизонтам и в целом в системе почва—порода. При $К_{эа}$ =0,9—I,I содержание элементов в почвах и породах принималось близким друг другу. При $К_{эа}$ = I,I элементы концентрируются в почвах, а при $К_{эа}$ = 0,9 — в породах.

носительно накапливаются, и гранулометрический состав горизонтов A_1 . A_2 (гумусового и подзолистого) становится более легким (песчанистым). В то же время в иллювиальном горизонте содержание илистых частиц, особенно коллоидных, увеличивается, а следовательно, и гранулометрический состав этого горизонта становится более тяжелым.

Почвы, развитые на лессовых отложениях, характеризуются довольно однородным гранулометрическим составом. Морфологически профиль этой разности почв очень трудно разделить на генетические горизонты, однако при рассмотрении гранулометрического состава различия становятся более четкими. Наиболее высокая концентрация на лессах отмечается для фракций 1,0—0,5 и 0,5—0,25 мм. Постепенно с уменьшением размерности фракций уменьшается и их концентрация в почве. Так, для частиц 0,075—0,01 и 0,01—0,05 мм отмечается обедненность профиля по сравнению с почвообразующей породой в 2 раза, а для фракций 0,005—0,001 мм и мельче 0,001мм — в 5 раз ($K_{эа}$ частиц мельче 0,001 мм равняется 0,19—0,13). Характерно уменьшение $K_{эа}$ мелких фракций от гумусового горизонта к иллювиальному. Можно заключить, что в процессе почвообразования значительно разрушаются и выносятся из почвенного профиля минеральные коллоиды и близкие к ним частицы.

Рассмотренные выше разности дерново-подзолистых почв существенно различаются литогеохимическими особенностями и определенным образом отражают как литологию пород, так и специфику почвообразовательного процесса.

Почвообразовательный процесс влияет на литологию почв в двух направлениях. Для песчанистых разностей содержание мелких фракций ($<0,01$ мм) выше в почвенном профиле, особенно в гумусовом горизонте, чем в породе. В этом случае почвообразование увеличило дисперсность минеральной массы и степень ее раздробленности. Очевидно, здесь преобладают процессы физического, в меньшей степени химического выветривания. В почвах супесчаных и суглинистых на лессовых и моренных отложениях содержание тонких фракций в профиле в 2—5 раз ниже, чем в породе, т.е. процессы подзолообразования вызвали значительное уменьшение дисперсности минеральной части почвы и способствовали выносу коллоидных частиц на большую глубину.

Изучение минералогического состава отдельных генетических типов почв показывает, что в целом почвенная масса характеризуется большим разнообразием соединений химических элементов первичного унаследованного и вторичного генезиса. В них заметно представлены кварц, полевые шпаты, слюда, циркон, турмалин, рутил, ильменит, лейкоксен, эпидот, гранаты, роговая обманка, термолит, актинолит, дистен, силлиманит, ставролит, андалузит, гиперстен, пироксены. Вторичные глинистые минералы представлены гидрослюдами, каолинитом, монтмориллонитом, хлоритами, вермикулитами, аллофанами, а также смешанослойными минералами (гидрослюда—монтмориллонит, гидрослюда—вермикулит и др.). Из вторичных карбонатных минералов характерны кальцит, сидерит, доломит; из аморфных соединений — SiO_2 и R_2O_3.

Каждый генетический тип почв характеризуется теми или иными ассоциациями минералов, обусловленными главным образом литологией покровных пород и процессами почвообразования в частности, процессами эрозии, суффозии, оглеения, разрушения и синтеза минералов. Специфика почвообразования, выражающаяся в миграции и аккумуляции механических частиц по профилю, тес-

нейшим образом связана с геохимическими особенностями миграции, накопления и рассеивания химических элементов в почвах.

3. Остаточно-аккумулятивные и подвижные геохимические продукты почвообразования

Основной геохимической характеристикой почвообразовательных процессов является состав остаточно-аккумулятивных и подвижных (в растворах) продуктов выветривания и почвообразования, характерных для генетических типов почв и их разновидностей. Такие характеристики мы получаем прежде всего в результате валового анализа почв и изучения распределения породообразующих химических элементов в профилях почв.

В табл. 28 приведен средний химический состав основных макроэлементов в наиболее распространенных почвах БССР. Наибольшее содержание кремнезема характерно для дерново-подзолистых разностей почв, наименьшее — для торфяно-болотных. Основным носителем SiO_2 в исследованных почвах является кварц. В небольших количествах кремнезем содержится в полевых шпатах (главным образом калиево-натриевых), плагиоклазах, мусковите, биотите, глинистых минералах. В почвах, имеющих однородное строение, распределение по разрезу довольно равномерное, с незначительными колебаниями по профилю. В почвах, развитых на двучленных породах, колебания SiO_2 отмечаются довольно отчетливо и зависят от их механического состава.

Вычисленные элювиально-аккумулятивные коэффициенты ($K_{эа}$) для всех разностей почв по генетическим горизонтам и в целом в системе почва—порода показывают, что SiO_2 в них является относительно неподвижным ($K_{эа}$ = 0,93 — 1,12). Характеризуясь сравнительно равномерным распределением в профилях с однородным строением почв, наблюдается постепенное увеличение его содержания в почвах республики с севера на юг (рис. 45). В целом для почв БССР средние концентрации SiO_2 несколько выше, чем средних содержаний в почвах, приводимых А.П.Виноградовым (1957).

Содержание Al_2O_3 в почвах республики колеблется от 0,71 до 9,62% (среднее 6,81%). Больше всего глинозема содержится в дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках (9,62%), меньше — в торфяно-болотных (0,71% на золу). Характерно его неравномерное распределение по генетическим горизонтам. Вычисляемые для него $K_{эа}$ для разных почв показывают изменения в пределах от 0,23 до 2,88. Основное влияние на перераспределение Al_2O_3 по профилю оказывает механический состав. Частично содержание глинозема связано, очевидно, с незначительной миграцией алюминия в виде органо-минеральных соединений. Основными носителями его в почвах являются калиево-натриевые полевые шпаты, мусковит и биотит в песчано-алевритовых фракциях, а во фракциях < 0,001 мм — гидрослюды типа иллита.

Средние количества Al_2O_3 в почвах БССР значительно колеблются с севера на юг, причем, как правило, более резко отличаются почвы на севере, а центральная и южная части имеют близкие значения, особенно для почв более тяжелого механического состава (рис. 46).

Важным окислом, постоянно содержащимся в почвах республики, является Fe_2O_3, средние величины которого колеблются в пределах 0,83–2,97% (среднее 1,71%). Отмечается неравномерное распределение окиси железа по профилю. Для всех типов почв характерно несколько повышенное ее содержание в

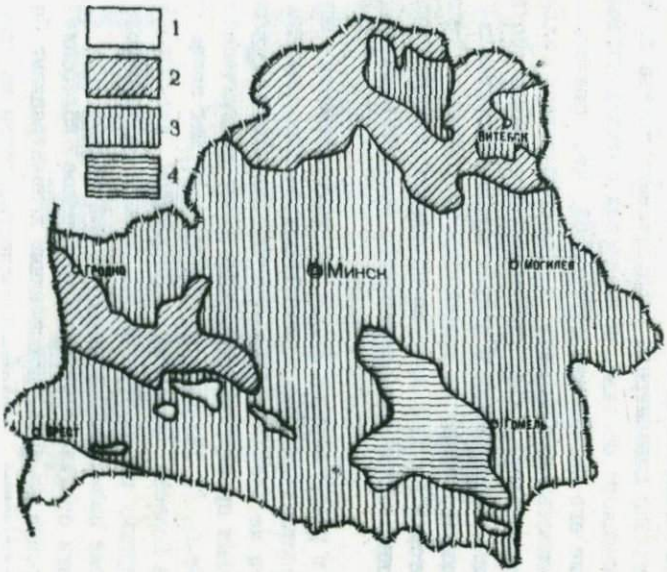


Рис.45. Картосхема распределения SiO_2 в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):

1 — меньше 70%; 2 — 70—80; 3 — 80—90; 4 — больше 90%

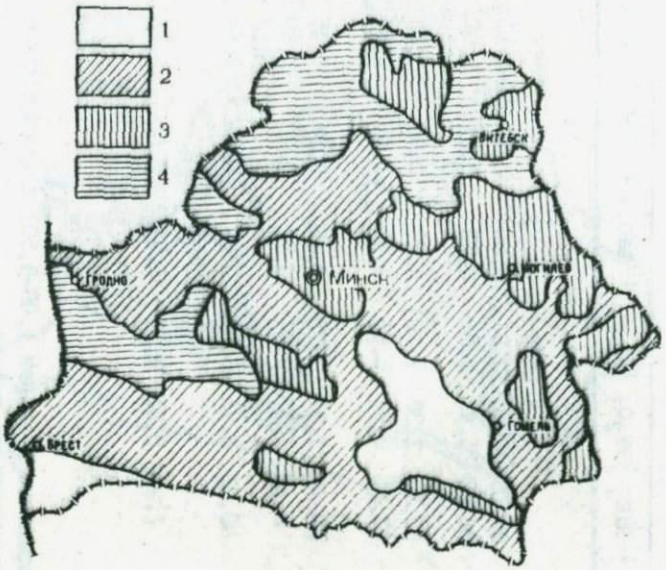


Рис.46. Картосхема распределения Al_2O_3 в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):

1 — меньше 4,0%; 2 — 4,0—6,0; 3 — 6,0—8,0; 4 — больше 8,0%

Таблица 28

Средний химический состав почв Белорусской ССР,
% на абс. сухое вещество

Тип почвы и его разновидности	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
Дерново-подзолистая:							
песчаная	95,05	0,83	3,24	0,30	0,17	0,41	1,13
супесчаная	86,75	1,49	6,08	0,63	0,51	0,67	1,68
палевая (на лессах)	82,18	2,38	7,76	0,83	0,80	0,88	2,22
суглинистая	71,32	2,97	9,62	2,48	1,48	0,84	2,13
Аллювиально-луговая	88,36	1,37	3,33	0,45	0,39	0,45	0,92
Торфяно-болотная	2,41	1,37	0,71	3,71	0,40	0,09	0,08
Среднее в почвах БССР	86,26	1,71	6,81	0,94	0,66	0,64	1,65
Среднее в почвах БССР	1,22	0,31	0,51	0,49	0,62	0,75	0,31
Среднее в почвах, по А.П.Виноградову (1962)							

гумусовом ($K_{эа}$ в горизонте A_1 равен 1,08–5,50) и иллювиальном горизонтах в виде скопления бурых окислов железа.

Отмечается относительно равномерное распределение железа по профилю в почвах легкого механического состава. В некоторых случаях наблюдается незначительное повышение его содержания с глубиной, что связано с хорошей фильтрационной способностью данных почв и выносом железа иллювиальными процессами ($K_{эа}$ в горизонтах A_2 и B_1 песчаных почв равен соответственно 0,46 и 0,94). Основная масса железа в почвах концентрируется в глинистой части, состоящей преимущественно из гидрослюды типа иллита. Некоторое количество его содержится в составе калиево-натриевых полевых шпатов и минералов тяжелой фракции: ильменита, магнетита, роговой обманки, гранатов, биотита и т.д.

Общей тенденцией в распределении Fe_2O_3 для всех разностей почв, за исключением торфяно-болотных, является уменьшение ее концентрации с севера на юг (рис. 47). В то же время торфяно-болотные разности почв северной и центральной ландшафтных провинций Белоруссии имеют практически одинаковые средние содержания Fe_2O_3 (1,38—1,36). В отличие от них почвы этого же генетического типа в Полесье значительно обогащены железом (3,21%). Это объясняется более широким распространением здесь торфяно-болотных почв для которых характерны повышенные содержания железа.

В почвах республики отмечается довольно широкое колебание содержаний окиси кальция (от следов до 40%). Повышенными концентрациями CaO характеризуются дерново-карбонатные, дерново-подзолистые почвы на лессах и моренных суглинках и торфяно-болотные почвы. Наиболее обеднены CaO дерново-подзолистые разности на древних песках (рис. 48).

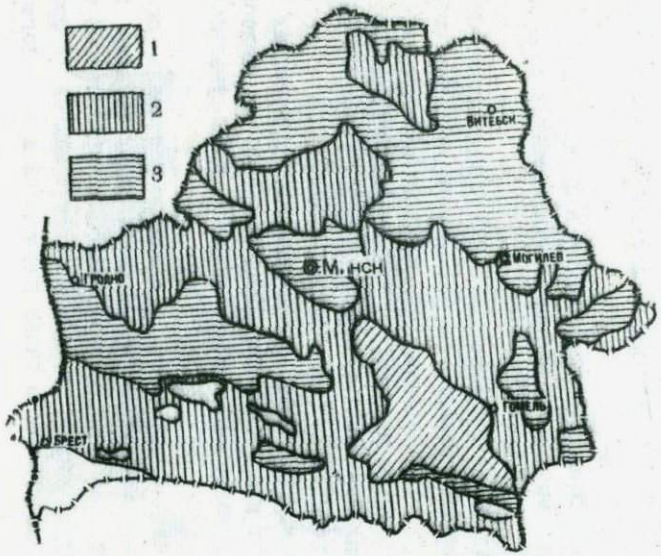


Рис. 47. Картосхема распределения Fe_2O_3 в почвах БССР (*Лукашев, Петухова, 1970*):

1 — 0,1—1,0%; 2 — 1,0—2,0; 3 — больше 2,0%

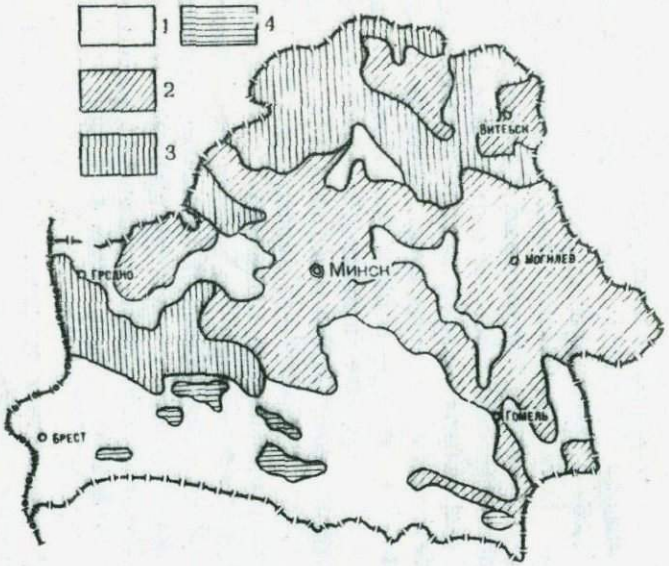


Рис. 48. Картосхема распределения CaO в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):

1 — меньше 0,5%; 2 — 0,5—2,0; 3 — 2,0—4,0; 4 — больше 4,0%

В почвах легкого механического состава происходит интенсивное промывание профиля атмосферными осадками, углекислые соли вымываются в более глубокие слои, частично накапливаются в иллювиальном горизонте или выносятся из почвенной толщи. На моренных и лессовых породах максимальные концентрации окиси кальция обычно характерны для иллювиальных горизонтов. Элювиально-аккумулятивные коэффициенты CaO в почвах обычно значительно меньше I для горизонтов A_1 и A_2 (0,36—0,88) и также для горизонта B (0,70—I,49).

Кальций в исследованных почвах республики связан с содержащимися в покровных породах кальцитом, доломитом, плагиоклазами, глинистыми минералами. Для дерново-подзолистых песчаных разностей почв характерно постепенное уменьшение концентраций кальция с севера на юг. Дерново-подзолистые супесчаные, суглинистые и торфяно-болотные почвы содержат его больше в центральной части республики и меньше — в южной, на Полесье. В целом же средние концентрации CaO в почвах ниже приведенных А.П.Виноградовым.

Наиболее высокие концентрации окиси магния выявлены в дерново-подзолистых суглинистых почвах (I,48%), наименьшие — в песчаных (0,I7%). В остальных типах почв содержание MgO очень близкое и невысокое (0,38—0,40%).

Характерно неоднородное распределение MgO по профилю почв. Обычно отмечаются несколько пониженные его концентрации в гумусовом горизонте и относительно повышенные в иллювиальном (по сравнению с содержанием окиси магния в почвообразующей породе). Вычисленные элювиально-аккумулятивные коэффициенты MgO в почвах горизонтов A_1 и A_2 меньше I (0,I8-0,7I), в горизонте близки к I (0,70—I,08).

Магний в основном связан с биотитом и глинистыми минералами. Для всех типов почв отмечается уменьшение содержания MgO с севера на юг (рис. 49). Среднее количество MgO в почвах Белоруссии несколько ниже его кларка в почвах, по А.П.Виноградову.

Содержания калия в почвах Белоруссии колеблются в пределах 0,07—2,22% (среднее I,65%). Эти величины ниже тех, которые приводятся для почв А.П.Виноградовым.

Для всех разностей почв характерен вынос K_2O из верхних горизонтов в более глубокие. И если в почвах, развитых на моренных и лессовых породах, происходит аккумуляция K_2O в иллювиальном горизонте, то в песчаных разностях калий выносится на большую глубину. $K_{эа}$ окиси калия для этих почв обычно колеблется в пределах 0,45-I,2I. Характерно уменьшение K_2O во всех типах почв с севера на юг республики (рис. 50).

Натрий в почвах Белоруссии содержится в весьма малых количествах (0,09-0,88%). Распределение его по профилю часто аналогично K_2O. $K_{эа}$ колеблется в пределах 0,92—I,30. Содержание Na_2O для всех типов почв уменьшается с севера на юг (рис.5I).

Основная масса калия и натрия содержится в калиево-натриевых полевых шпатах, плагиоклазах, слюдах, некоторых минералах тяжелых фракций как в качестве основных элементов, так и в виде изоморфных примесей. В более мелких фракциях эти элементы входят в состав полевых шпатов (фракции 0,0I—0,00I мм), глинистых минералов, а также содержатся в виде поглощенных катионов.

Обобщая данные о закономерностях содержания и поведения основных химических элементов в почвах и сопоставляя их со средними данными для пород,

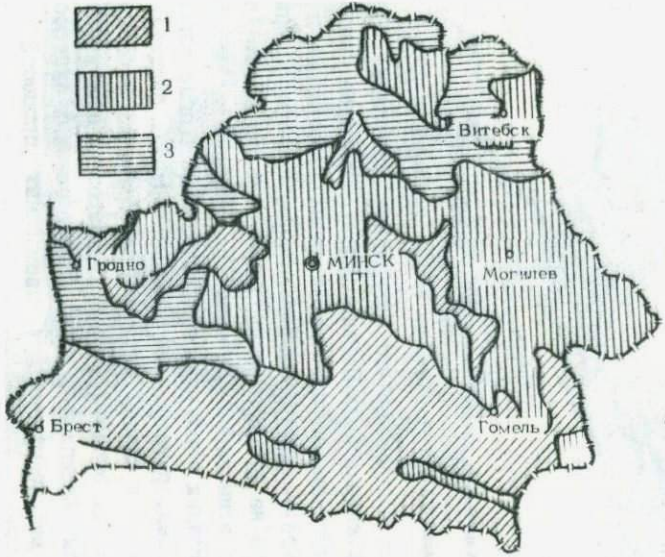


Рис.49. Картосхема распределения MgO в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):

1 — меньше 0,5%; 2 — 0,5—1,0; 3 — больше 1,0%

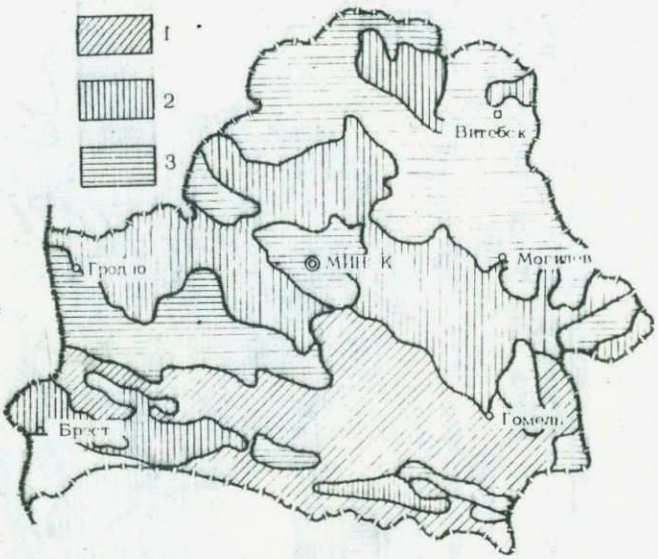


Рис.50. Картосхема распределения K_2O в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):

1 — меньше 1,0%; 2 — 1,0—2,0; 3 — больше 2,0%

можно отметить, что для территории Белорусской ССР характерно 3 типа геохимической связи элементов в системе почва—порода:

I SiO_2 — почва = порода;

II Al_2O_3, Fe_2O_3 — почва > = < порода;

III CaO, MgO, K_2O, Na_2O — почва ≤ порода.

Миграция и концентрация микроэлементов в почвах. В почвах Белоруссии изучались наиболее распространенные микроэлементы: титан, марганец, медь, никель, кобальт, ванадий, хром, свинец и др. (табл.29), содержание которых колеблется в широких пределах.

Титан встречается во всех типах почв республики, концентрация его ко-

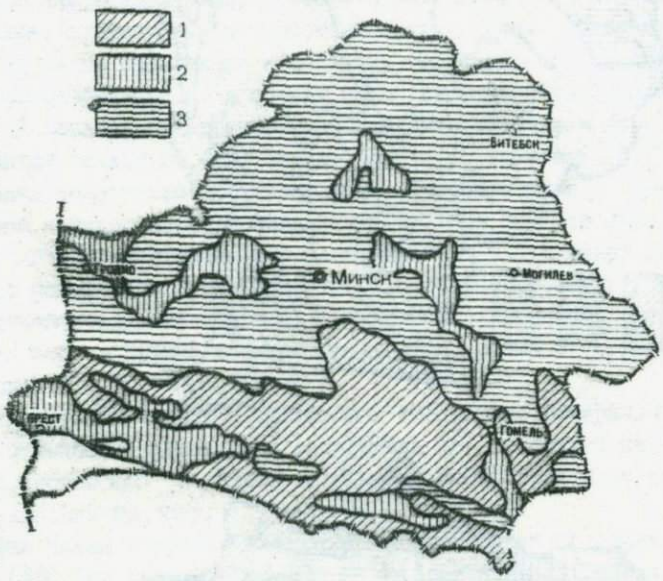


Рис.51. Картосхема распределения Na_2O в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):
1 — *меньше* 0,3%; 2 — 0,3—0,8; 3 — *больше* 0,8%

леблется от 0,01 до 0,25 %. Среднее его содержание составляет 0,145% — более чем в 3 раза ниже кларка по А.П.Виноградову. Наиболее высокое содержание титана характерно для дерново-подзолистых лессовидных и суглинистых почв, наиболее низкое — для торфяно-болотных. В целом содержание титана повышается с севера на юг республики. Дерново-подзолистые почвы на лессах несколько богаче этим элементом в центре республики (рис.52).

В невыветрелых обломочных породах титан содержится в акцессорных минералах (ильменит, лейкоксен, рутил, сфен, анатаз, брукит, биотит), в песчано-алевритовых фракциях — в качестве изоморфных примесей в биотите, глинисто-железистых агрегатах, отчасти в полевых шпатах в виде включений рутила в кварце; в глинистых фракциях — в виде тонкорассеянных акцессорных минералов, микрожелваков вторичных окислов, изоморфных примесей к биотиту и глинистым минералам. Наибольшее содержание титана наблюдается в глинистой фракции (0,005—0,001 мм).

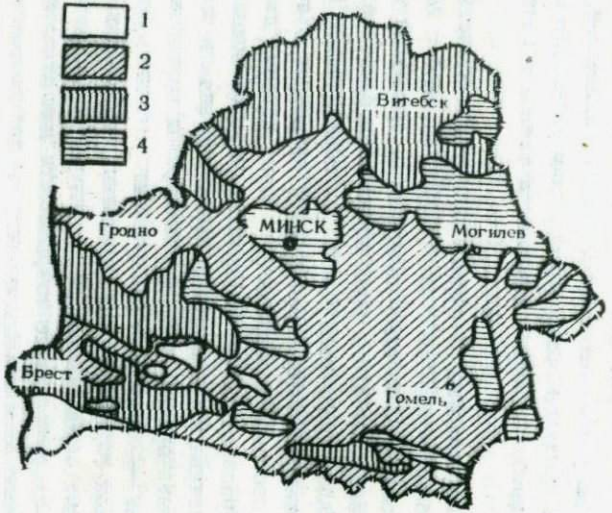


Рис.52. Картосхема распределения Ti в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):
1 — меньше $50 \cdot 10^{-3}$%; 2 — 50—150·10^{-3}; 3 — 150—250·10^{-3}; 4 — больше $250 \cdot 10^{-3}$%

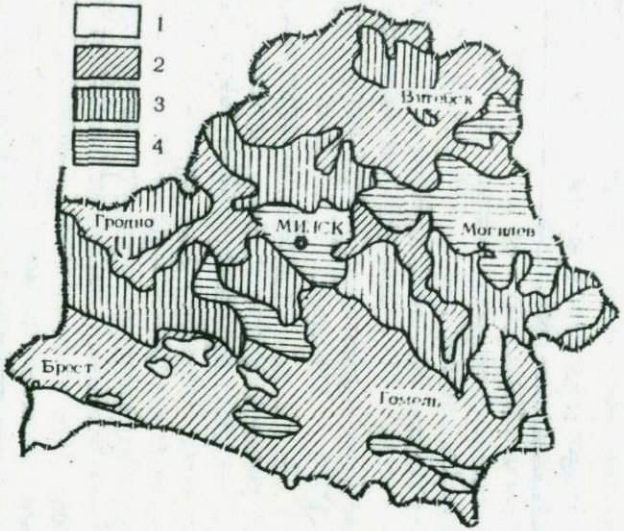


Рис.53. Картосхема распределения Mn в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):
1 — меньше $10 \cdot 10^{-3}$%; 2 — 10—20·10^{-3}; 3 — 20—40·10^{-3}; 4 — больше $40 \cdot 10^{-3}$%

Таблица 29

Содержание микроэлементов в почвах Белорусской ССР, % на сухое вещество ($n \cdot 10^{-3}$ %)

Почва	Ti	Mn	Ba	V	Cr	Ni	Cu	Zr
Дерново-подзолистая:								
песчаная	90	23	18	1,5	1,8	0,75	0,54	9
супесчаная	110	25	26	3,0	2,5	1,4	0,68	17
суглинистая	140	30	24	3,4	5,0	1,5	1,2	13
на лессах (палевая)	195	37	96	5,7	8,4	1,7	1,07	-
Аллювиально-луговая	110	24	24	1,8	2,8	1,0	0,0	16
Торфяно-болотная	11	3,5	8,4	0,45	0,79	0,5	0,45	3,2
Среднее в почвах БССР	145	26,8	41,1	3,44	3,60	1,2	1,0	17
Среднее в почвах БССР	0,32	0,32	0,82	0,34	0,18	0,43	0,60	0,57
Среднее в почвах, по А.П.Виноградову								

В гипергенно-осадочном цикле миграции титан принадлежит к слабоподвижным элементам. В процессе выветривания он мигрирует и накапливается главным образом механическим путем в форме минералов россыпей. Из первичных минералов титана возникают вторичные аморфные минералы (лейкоксен, ксантитан) и другие промежуточные продукты разрушения ильменита. Титан также адсорбируется глинистым веществом. Формы подвижности титана в почвах пока предположительны.

Одним из распространенных элементов в почвах Белоруссии является марганец. Содержания его колеблются от $5 \cdot 10^{-4}$ до $7 \cdot 10^{-2}$%, среднее $26 \cdot 10^{-3}$%. В моренных суглинках и лессовидных породах наблюдаются наиболее высокие содержания марганца. Распределение его в этих почвах колеблется в небольших интервалах как по отдельным разрезам, так и по генетическим горизонтам. Наиболее высокие содержания отмечены в моренных суглинках и лессовидных породах, наименьшее и постоянное выявлено по всему профилю для песчаных разностей почв. Такое распределение объясняется хорошей водопроницаемостью почв, которая обеспечивает равномерный вынос марганца в более глубокие горизонты. В результате окисления возможен переход марганца из раствора в нерастворимые формы — манганит и пиролюзит. В таких формах он накапливается в иллювиальном горизонте в виде плотных и порошкообразных примазок, затеков и точечных образований.

Вычисленные элювиально-аккумулятивные коэффициенты для отдельных типов почв показывают, что наиболее высокие $K_{эа}$ характерны для торфяно-болотных и аллювиально-луговых почв (соответственно 1,81 и 1,71). Для дерново-подзолистых почв, развитых на моренных отложениях, величина $K_{эа}$ в среднем составляет 1,30, а для песчаных почв на древнеаллювиальных и дюнных пес -

ках — 0,95—0,32. Различна величина $K_{эа}$ и по генетическим горизонтам почв. В дерново-подзолистых почвах, развитых на моренных, торфяно-болотных и аллювиально-луговых суглинках, наиболее высокие $K_{эа}$ характерны для верхних горизонтов; с глубиной величина уменьшается. В почвах на песчаных отложениях наблюдается обратная зависимость.

При изучении распределения марганца по гранулометрическим фракциям отмечено, что минимальные концентрации его характерны для частиц > 0,25—0,1 мм (колеблется от 0,01 до 0,80%). Максимальные количества приходятся на фракцию > 0,01 мм. В целом содержание марганца постепенно уменьшается с севера на юг для всех типов почв республики, за исключением суглинистых разностей дерново-подзолистых почв, для которых отмечаются более повышенные концентрации на юге (рис.53).

Примерно на целый порядок колеблется содержание меди в почвах Белоруссии (от $4,0 \cdot 10^{-4}$ до $3,0 \cdot 10^{-3}$%, среднее $1,0 \cdot 10^{-3}$%). Это приблизительно в 3 раза ниже кларка меди в почвах.

Дерново-подзолистые разности почв на моренных суглинках, супесях и лессах содержат более высокие количества меди. Распределение ее по разрезу относительно равномерное, хотя в некоторых случаях наблюдаются накопления в иллювиальном горизонте. $K_{эа}$ колеблется в пределах 0,58—0,93. Наиболее низкие элювиально-аккумулятивные коэффициенты характерны для гумусовых и элювиальных горизонтов супесчаных и лессовых почв (0,58—0,70). В суглинистых почвах величины $K_{эа}$ чаще всего по всему профилю близки к 1 (0,93—0,95). Дерново-подзолистые почвы на флювиогляциальных, эоловых и аллювиальных породах бедны медью, причем наибольшее количество ее приходится также на нижние горизонты. $K_{эа}$ колеблется обычно в пределах 0,8—1,2.

Медь фиксируется во всех фракциях почв. Максимальные значения характерны для фракции > 0,01 мм. Больше меди во фракциях из горизонтов В и C_I, несколько меньше — в гумусовом горизонте.

Наличие меди в почвах БССР, по-видимому, зависит от присутствия в них терригенных минералов, в которых благодаря близости ионных радиусов медь может замещать железо, а также сорбироваться глинистыми минералами, гидроокислами железа, алюминия и кремния. Для всех типов почв отмечается постепенное увеличение содержания меди с севера на юг (рис.54).

Концентрация никеля в почвах Белоруссии колеблется в пределах $7,1 \cdot 10^{-5}$—$2,3 \cdot 10^{-3}$%. Торфяно-болотные почвы отличаются резко пониженной концентрацией этого элемента. Среднее содержание никеля в почвах республики в 2,5 раза ниже кларка.

Из почвообразующих пород наиболее богаты никелем лессовидные и моренные суглинки (среднее содержание $3,0 \cdot 10^{-3}$%). Дерново-подзолистые почвы, развитые на этих породах, обычно содержат наибольшие количества никеля. Песчаные разности почв бедны этим элементом. Распределяется никель по генетическим горизонтам неравномерно, максимальные величины его, как правило, отмечаются преимущественно в почвообразующей породе. В кислых дерново-подзолистых почвах никель выносится из верхней части профиля, частично его концентрация наблюдается в иллювиальном горизонте. В этих почвах никель содержится почти исключительно в тонких фракциях (< 0,01 мм).

В песчано-алевритовых фракциях характерно почти полное отсутствие никеля, за исключением тех пород, где в составе почв присутствуют глинистые

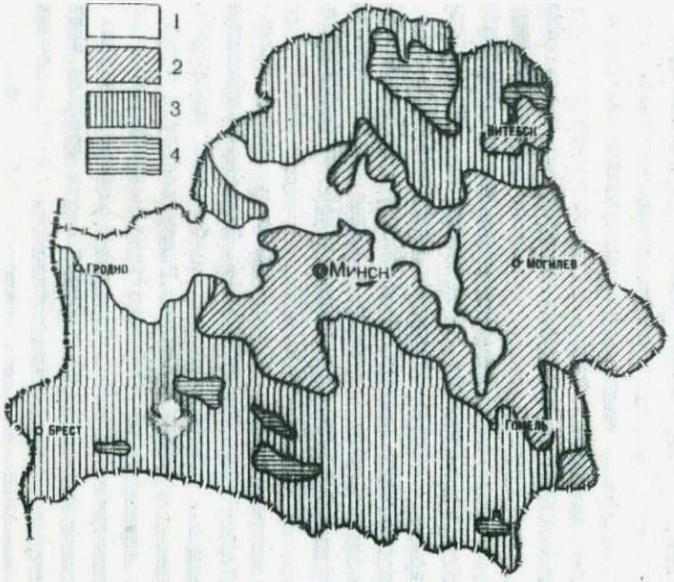


Рис.54. Картосхема распределения Cu в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):
1 — меньше $0,5 \cdot 10^{-3}$%; 2 — $0,5–1,0 \cdot 10^{-3}$; 3 — $1,0–1,5 \cdot 10^{-3}$; 4 — больше $1,5 \cdot 10^{-3}$%

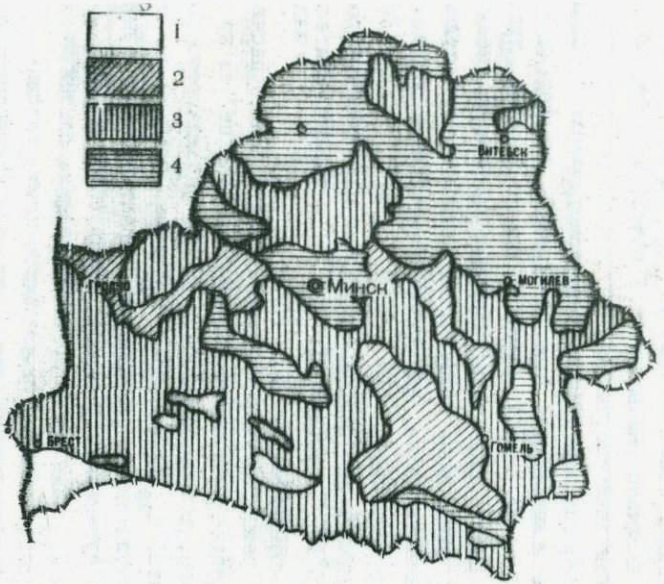


Рис.55. Картосхема распределения Ni в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):
1 — меньше $0,5 \cdot 10^{-3}$%; 2 — $0,5–1,0 \cdot 10^{-3}$; 3 — $1,0–1,5 \cdot 10^{-3}$; 4 — $1,5–2,0 \cdot 10^{-3}$%

минералы. Здесь содержание этого элемента повышается. Вероятнее всего никель присутствует в виде катионов, сорбированных глинистыми минералами и гидроокислами железа. Отмечается общая тенденция к уменьшению содержания никеля с севера на юг (рис.55). В почвах Белоруссии кобальт фиксируется довольно редко и в невысоких концентрациях. В целом его среднее содержание составляет, по-видимому, меньше $30 \cdot 10^{-4}$%, что значительно ниже кларка этого элемента в почвах по А.П.Виноградову. В дерново-подзолистых почвах на лессовидных и моренных суглинках зафиксированы наибольшие его количества. В распределении по разрезу кобальт чаще всего повторяет распределение железа: максимуму железа отвечает максимум кобальта. Для подзолистых почв отмечается также некоторое обогащение им иллювиального слоя, особенно при образовании в почвах ортштейнового горизонта.

В почвах кобальт, как и никель, содержится почти исключительно в алевритовых и глинистых фракциях (<0,01мм). Большей частью он входит как изоморфная примесь в окислы железа.

В широких пределах колебаний ($1,0 \cdot 10^{-3}$—$7,0 \cdot 10^{-3}$%, среднее $3,4 \cdot 10^{-3}$%) обнаружено в почвах содержание ванадия (рис.56). Супесчаные и суглинистые почвы, развитые на лессовидных суглинках, наиболее богаты этим элементом; песчаные разности на флювиогляциальных и эоловых песках обнаруживают наименьшее его содержание. Распределение ванадия в почвах довольно равномерное. Отмечается относительно малая аккумуляция его в гумусовом горизонте песчаных почв. $K_{эа}$ для этих почв равен 0,88—1,25 с максимальными значениями в горизонте A_1.

Для супесчаных и суглинистых почв $K_{эа}$ чаще всего > 1 и колеблется в пределах 1,05—1,75. Наиболее высокие элювиально-аккумулятивные коэффициенты отмечены для горизонта В (1,27—1,75), несколько меньше они для гумусового и подзолистого горизонтов (1,05—1,50). Крупные частицы (0,25—0,1; 0,1—0,075 мм) песчаных почв, как правило, не содержат ванадия. Во всех типах почв количество его увеличивается по мере роста дисперсности материала (максимум во фракции <0,001 мм).

Ванадий в поверхностных условиях может образовывать металлорганические соединения, накапливаться в глинах, входить в качестве рассеянного элемента в решетки терригенных минералов вместе с хромом и железом. По-видимому, в почвах он концентрируется во всех указанных формах, но в основном связан с глинистыми минералами. Распределение ванадия по площади республики показано на рис.56.

Содержание хрома в почвах Белоруссии колеблется в пределах 1,0—$9,0 \cdot 10^{-3}$% (среднее $3,60 \cdot 10^{-3}$%), что приблизительно в 5 раз ниже кларка. Дерново-подзолистые (особенно песчаные и торфяно-болотные) почвы на моренных отложениях содержат его больше, чем другие.

По генетическим горизонтам хром распределяется в основном равномерно. В гумусовом горизонте отмечается незначительное повышение его содержания в песчаных почвах. $K_{эа}$ хрома в этих почвах колеблется в пределах 0,80—1,25 с наиболее высокими значениями для горизонта A_1. $K_{эа}$ в почвах, развитых на моренных и лессовых аккумуляциях, чаще всего > 1 и колеблется в пределах 0,95—1,71. В супесчаных разностях почв наиболее высокие $K_{эа}$ хрома выявлены для гумусового горизонта (1,4); в суглинистых почвах он по

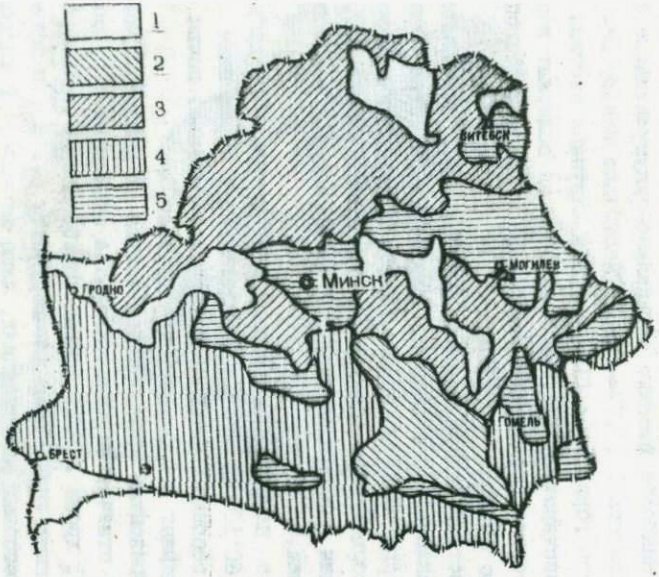


Рис.56. Картосхема распределения V в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):
1 — меньше $1{,}0\ 10^{-3}$%; 2 — $1{,}0–2{,}0\cdot10^{-3}$; 3 — $2{,}0–4{,}0\cdot10^{-3}$; 4 — $4{,}0–6{,}0\cdot10^{-3}$; 5 — больше $6{,}0\cdot10^{-3}$%

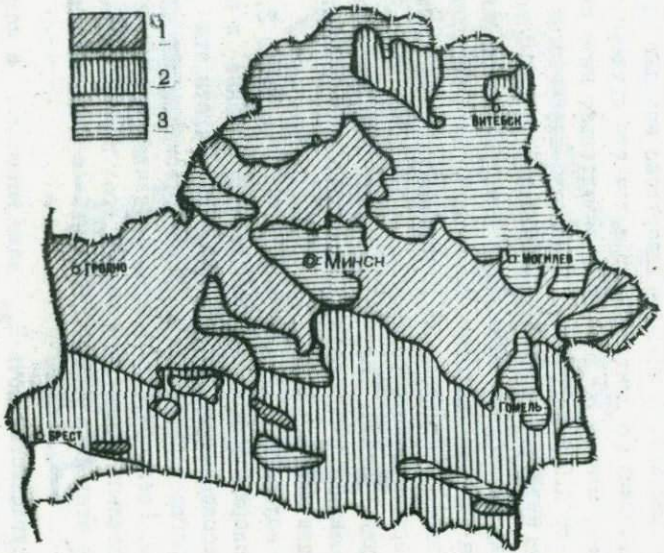


Рис.57. Картосхема распределения Cr в почвах БССР (Лукашев, Петухова, 1970):
1 — $1{,}0–2{,}0\cdot10^{-3}$ %; 2 — $2{,}0–4{,}0\cdot10^{-3}$; 3 — больше $4{,}0\cdot10^{-3}$%

всему профилю равен 0,35, т.е. здесь характерно относительно равномерное распределение хрома по генетическим горизонтам.

В почвах, развитых на лессовых породах, максимальные количества этого элемента приходятся на иллювиальные горизонты ($К_{эл}$ = I,56—I,7I) и несколько меньшие — на гумусовый и подзолистый. Хром, подобно ванадию, концентрируется в более мелких фракциях с максимальными содержаниями во фракциях < 0,0I мм. Во фракциях 0,25—0,I и 0,I—0,075 мм он либо совсем не фиксируется, либо содержится в очень малых количествах (0,00I%). Выявлены наименьшие его концентрации в тех фракциях, где меньше ванадия.

В исследованных почвах хром, вероятнее всего, входит в состав органо-глинисто-железистых агрегатов (во фракции крупнее 0,0I мм) и в виде сорбированных катионов (глинистые фракции). Пространственное распределение элемента показано на рис. 57. Отмечается некоторая обедненность им центральной ландшафтной провинции республики.

Анализ относительных концентраций указанных микроэлементов в системе почва—порода позволил выделить геохимические ассоциации накопления и рассеяния их в почвах. Выявлено два типа геохимической корреляции микроэлементов в системе почва — порода:

I — марганец, ванадий, хром, свинец, почва $\geq$ порода

II — медь, никель, кобальт почва $\leq$ порода

Почвенно-геохимические провинции. Выше нами характеризовались литогеохимические провинции, характерные для покровных пород республики. С ними тесно связано формирование почвенно-геохимических провинций, отражающих распределение химических элементов в почвах. Выделяются 3 педогеохимические провинции (северная, центральная и южная) и 7 подпровинций (рис. 58, табл. 30). В основу деления положено различие составов макро- и микроэлементов в основных типах и разностях почв, характер миграции химических элементов в системе почвообразующая порода—почва и особенности пространственного распределения элементов в почвах.

Северная почвенно-геохимическая провинция занимает около 24,6% площади БССР. Ее южная граница проходит вблизи главного водораздела республики, отделяющего бассейны рек Черного и Балтийского морей. Географические координаты провинции 54°40' — 56°9' с.ш. и 26°22'—3I° в.д. В провинции преобладают дерново-подзолистые суглинистые почвы (42%). Значительно меньшую площадь занимают супесчаные (2I%), песчаные (25%) и болотные (7%) почвы. Дерново-подзолистые суглинистые почвы характеризуются малым содержанием гумуса в перегнойном горизонте (0,8—2,0%), pH солевой суспензии колеблется от 4,0 до 5,2.

Для этой провинции характерны наиболее низкие концентрации кремнезема (по отношению к кларкам элементов в почвах БССР) — 85,09% и самые высокие концентрации других макрокомпонентов. Из микроэлементов наиболее высокими концентрациями отличаются марганец, хром и никель.

Центральная почвенно-геохимическая провинция занимает 42,38% территории республики. Ее географические координаты 52°45'—54°40' с.ш., 23°30'—32°46' в.д. Внутри провинции выделяются три подпровинции: западная (гродненская), восточная и предполесская.

В западной подпровинции преобладают дерново-подзолистые суглинистые

почвы (64%), дерново-подзолистые супесчаные разности занимают небольшие площади, на долю торфяно-болотных почв приходится всего около 5%. На территории восточной подпровинции широко развиты дерново-подзолистые палевые почвы на пылеватых породах, лессах и лессовидных суглинках (82%), в предполесской — дерново-подзолистые супесчаные (40%), а также песчаные и болотные разности. Дерново-подзолистые (палевые) пылевато-суглинистые почвы являются преобладающими в центральной почвенно-геохимической провинции. Это лучшие почвы в БССР. В их перегнойном горизонте содержание гумуса составляет от 1,5—2 до 3—3,5%.

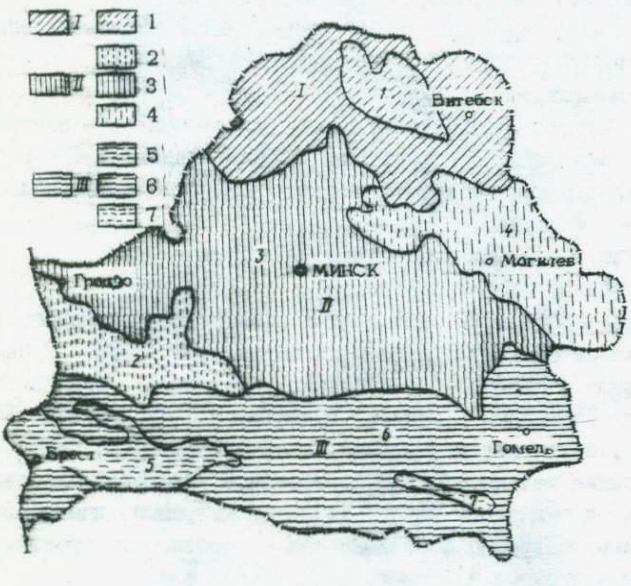


Рис.58. Картосхема геохимических провинций территории БССР (Лукашев, Потухова, 1970):

провинции: I — северная (Ti, Ni $\frac{Mn}{Cr, V, Cu}$), II — центральная (Ti $\frac{Mn, V}{Cr, Cu, Ni}$), III — южная ($\frac{Ti, Mn, Cr, V, Ni}{Cu}$);

подпровинции: 1 — Полоцкая (Ti $\frac{Mn}{Cr, V, Cu, Ni}$), 2 — Западная, или Гродненская (Cu $\frac{Ti, Mn, V}{Cr, Ni}$), 3 — Предполесская (Ni $\frac{Mn, V}{Ti, Cr, Cu}$), 4 — Восточная, или Оршано-Могилевская ($\frac{Ti, Mn, Cr, V, Ni}{Cu}$), 5 — Брестская (Mn $\frac{Ti, Cr, V}{Cu, Ni}$), 6 — Полесская (Cr, V $\frac{Mn, Ni}{Ti, Cu}$), 7 — Мозырская ($\frac{Ti, Mn, Cr, V, Ni}{Cu}$)

Для центральной провинции характерно как бы промежуточное содержание основных элементов, наиболее высокие содержания ванадия и самые низкие титана и хрома.

Южная (Полесская) провинция занимает южную, наиболее пониженную часть территории БССР с координатами 51°17'—52°45' с.ш., 23°30'—31°47' в.д. Общая площадь составляет 33,02% всей территории республики. Преобладают дерново-подзолистые песчаные (57%) и болотные почвы. Среди песчаных разностей островками встречаются почвы на древних отложениях. Дерново-подзо-

Таблица 30

Сред ее содержание химических элементов в почвах почвенно-геохимических провинций Белорусской ССР, макрокомпоненты - %, микроэлементы - n·10⁻³ %

Макрокомпоненты и микроэлементы	Провинции		
	северная	центральная	южная
SiO_2	85,09	88,03	90,48
Al_2O_3	8,91	6,69	4,83
Fe_2O_3	3,74	3,04	1,84
CaO	1,16	1,10	0,83
MnO	0,80	0,75	0,57
K_2O	1,97	1,83	1,64
Na_2O	0,76	0,75	0,42
Ti	143	126	140
Mn	44,0	29,0	19,0
V	2,73	3,24	2,17
Cr	3,6	2,9	2,6
Ni	1,7	1,2	1,0
Cu	0,9	0,8	1,2

листые суглинистые и супесчаные разности почв занимают всего около 9% территории. Выделяются три подпровинции: Брестское Полесье, Мозырское Полесье, пойма средней Припяти. Преобладающие дерново-подзолистые песчаные почвы формируются чаще в условиях близкого залегания почвенно-грунтовых вод, которые обеспечивают обильное и постоянное увлажнение нижней части профиля этих почв.

Для южной (Полесской) почвенно-геохимической провинции характерна высокая концентрация кремнезема и пониженное содержание остальных макро- и микроэлементов.

Таким образом, в почвах Белоруссии средние концентрации элементов, за исключением кремния, ниже их кларков по А.П.Виноградову. Самые высокие концентрации марганца, ванадия и хрома имеют почвы, развитые на лессовых породах; никеля и меди — на моренных отложениях; наименьшие — почвы на эоловых, флювиогляциальных и аллювиальных аккумуляциях. Выделено два типа геохимической корреляции микроэлементов в системе почва—порода.

В процессе механической дифференциации вещества с тонкодисперсным материалом почв накапливается марганец, ванадий, хром, никель и медь. Размеры аккумуляции сильно варьируют как в зависимости от типа и горизонта почв, так и от состава почвообразующих пород.

Из наиболее распространенных почвообразующих пород моренные суглинки и лессы содержат в больших количествах марганец, хром, ванадий, никель, медь, кобальт; флювиогляциальные и эоловые песчаные отложения бедны всеми микроэлементами.

Выявлено неоднородное пространственное распределение элементов в почвах республики. Наиболее высокие концентрации алюминия, железа, магния, калия, натрия, марганца, никеля, кобальта и ряда других элементов характерны для северной части республики, кремния и меди — для южной.

4. Техногенные факторы геохимических процессов в почвенном покрове

Особенно заметное влияние техногенных факторов на геохимические процессы в почвенном покрове Белоруссии проявляется в механической и химической эрозиях почв, химическом воздействии вносимых в почву минеральных удобрений и ядохимикатов, изменении физико-химических, геохимических и микробиологических свойств мелиорируемых земель.

Как отмечалось выше, в Белоруссии водной и ветровой эрозиям подвергается до 2 млн.га почвенного покрова. Им способствуют распаханность территории, изменение растительного покрова, всхолмленный рельеф, литологические особенности почвообразующих пород и другие факторы. На юге республики, где широко распространены песчаные отложения и осушенные торфяно-болотные массивы, проявляется ветровая эрозия; в центральной и северной частях республики, где преобладают суглинистые почвы, на моренных отложениях распространена в основном водная плоскостная и линейная эрозия.

Результаты исследований в Советском Союзе и за рубежом показывают, что водная и ветровая эрозии часто возникают на полях, где верхний слой почвы находится в распыленном состоянии, а поверхность лишена растительного покрова или пожнивных остатков. Установлено, что любые почвы легко подвергаются ветровой эрозии при достижении распыления их верхнего слоя около 50% структурных отдельностей крупнее 1 мм в диаметре. Для борьбы с эрозией почв необходимо прежде всего выделить территории с различной потенциальной опасностью проявления водной и ветровой эрозий; применять комплекс почвообрабатывающих и посевных машин; рационально организовать систему землепользования (посевы многолетних трав, повторные и совмещенные посевы, сидераты, занятые пары и др.); иметь данные о режиме выпадения осадков, поверхностном стоке и др. Эрозия почв не только резко снижает урожайность сельскохозяйственных культур, но и оказывает большое влияние на общее развитие ландшафтов. В результате водной и ветровой эрозий возрастает механический и химический сток, увеличивается мутность и минерализация поверхностных вод, заиляются водоемы, пойменные луга, русла, протоки, загрязняются ландшафты (особенно пойменные и донные отложения рек и озер) биогенными продуктами: биоцидами, нитратами, карбонатами, фосфатами, сульфатами. Вместе с ними мигрируют и токсические элементы техногенного генезиса — ртуть, свинец, кадмий, вызывающие отравления, заболевания и гибель организмов.

С каждым годом на поля республики поступает все больше минеральных удобрений, микроудобрений и ядохимикатов для борьбы с сорняками, болезнями растений и вредителями. Большая часть из них переходит в растворимые и подвижные формы, что стимулирует физико-химические и биогеохимические процессы в почвах, улучшает их агрохимические свойства (pH, обменные свойства и др.), часть удобрений сносится эрозией в водоемы и загрязняет их азотом и фосфором: уменьшается количество кислорода, ухудшаются биологические и геохимические условия для обитателей водоемов.

Многие ядохимикаты, применяемые для борьбы с вредителями, болезнями растений и сорняками, имеют высокую токсичность, способность аккумулироваться и увеличивать концентрацию в каждом звене пищевой цепи (от растений к

животным), что представляет угрозу для организмов высших трофических связей. Необходимо правильно дозировать вносимые ядохимикаты и использовать главным образом те из них, которые быстро метаболизируются в живых организмах и во внешней среде с образованием простейших продуктов, безвредных для животных и человека.

Применение ядохимикатов и оценка их влияния на человека и ландшафтные компоненты должны базироваться на глубоком знании физико-географических, геохимических и биологических особенностей отдельных регионов и экосистем биосферы.

Большой научный и практический интерес представляют данные, характеризующие физико-химические, геохимические и микробиологические изменения в результате мелиорации торфяно-болотных почв. Исследования в этих направлениях в последние годы проводятся в институтах торфа и геохимии и геофизики АН БССР, в Отделе микробиологии АН БССР, в Научно-исследовательском институте агрохимии и почвоведения Министерства сельского хозяйства БССР.

На основании полученных данных можно сделать следующие обобщения.

Изучение водного режима осушенных почв и влагообеспеченности растений показывает, что мелиорация заболоченных почв приводит к резкому изменению физико-химического режима почв. Усиливается аэрация, повышается активность микроорганизмов, преобразуется структура почвенного профиля. В результате минерализации резко изменяется состав органического вещества: количество гумуса сначала несколько повышается, затем в ходе разложения снижается; в нем увеличивается сумма гуминовых и фульвокислот, повышается содержание зольных компонентов и минерально-гумусовых комплексов. Заметно накапливаются кремний, алюминий, железо, кальций; изменяется количество и видовой состав организмов. Реакция почвы на осушение выражается в разрушении неустойчивого в условиях аэрации углеводного комплекса торфяных масс и синтезе более устойчивых гумусовых соединений. Изменения в составе и свойствах гуминовых кислот носят окислительно-гидролитический характер. В гуминовых кислотах, как правило, увеличивается содержание функциональных групп, углерода и оптическая плотность и уменьшается содержание гидролизуемых соединений, водорода и азота при одновременном накоплении негидролизуемого азота.

Минерализация органического вещества наиболее интенсивно протекает в аэробных условиях в нейтральной среде. Анаэробные условия и кислая среда оказывают тормозящее влияние на процессы минерализации. Осушительная мелиорация заболоченных почв с внесением в них удобрений часто приводит к изменению гидрохимического класса поверхностных вод. Повышается общая сумма сульфатных ионов, и гидрокарбонатно-кальциевый состав их изменяется в гидрокарбонатно-сульфатный. С увеличением степени разложения торфа значительно возрастает его обменная способность. В общем емкость поглощения повышается с уменьшением кислотности и увеличением содержания кальция. Поглотительные свойства торфяных почв понижаются в результате переосушки и минерализации органического вещества. В I г мелиорированных торфяно-болотных почв в результате смешения торфа с подстилающим песком численность микроорганизмов значительно меньшая, чем в почвах, не содержащих песок. В то же время обсемененность органики микроорганизмами в перемешанных торфяных

почвах выше, чем в немелиорированных. В них возрастает активность гидролитических ферментов протеазы и уреазы и дыхательного фермента дегидрогеназы; обратная зависимость наблюдается в отношении активности полифенолоксидазы и пероксидазы: активность первой снижается, а второй возрастает.

Изучение мелиорированных торфяно-болотных почв показывает, что в осушенных массивах Полесья часто складываются благоприятные условия для развития ветровой эрозии. Ветровая дефляция вызывает уменьшение содержания пылеватой и увеличение песчаной фракции; в пахотном горизонте возрастает содержание кремнезема и уменьшается окислов кальция, магния, калия и гумуса. Под воздействием ветровой эрозии происходит уменьшение мощности торфа, увеличение степени его разложения и зольности, уменьшается содержание общего азота и фосфора. В связи с этим очень важное значение приобретает рациональное использование мелиорированных почв, сохранение и повышение их потенциального плодородия. В решении этих вопросов большую роль играет рациональная система земледелия, способствующая сохранению и накоплению в почве гумусового вещества, созданию оптимальных физико-химических свойств среды, миграции и концентрации биогенных элементов, благоприятствующих нормальному развитию растений и их плодородию. Имеет значение также осуществление комплекса мероприятий по созданию прочной структуры почв, предохранению почвенной органики от быстрого химического и биологического окисления и минерализации.

5. Некоторые вопросы изучения генетических и геохимических процессов почвообразования

Требования в этой области определяются комплексом мероприятий, направленных на повышение плодородия земель и продуктивности растений, рациональное использование почв и ландшафтов. Как отмечалось выше, из года в год расширяются площади мелиорируемых земель, увеличивается внесение в почвы минеральных и торфяных удобрений, а также применение химических средств защиты растений от вредителей. В дальнейшем вопросы рационального использования почв, улучшения их физических, химических и биологических свойств с целью повышения потенциала плодородия выдвигаются в качестве важнейших в социалистическом природопользовании. Для этого необходимо глубокое изучение почвенного покрова во всех главных аспектах — ландшафтном, агрохимическом и геохимическом.

Требуется прежде всего бонитированная оценка почвенного покрова республики на основе ряда научных критериев, которые позволят классифицировать почвы по определенным признакам и разработать рекомендации для более целесообразного их использования. Программа бонитировочной оценки земель должна включать в первую очередь детальное картирование: генетических типов и видов почв, связанных с разными литогеохимическими фациями и формациями почвообразующих пород; генетических типов почв и их разновидностей, характерных для элювиальных и супераквальных геоморфологических форм геохимических ландшафтов; агрохимических подзон и регионов почвенного покрова с оценкой нуждаемости отдельных видов почв в минеральных удобрениях и микроудобрениях (азотных, фосфорных, калийных, борных, марганцевых и др.); недогеохимических провинций с более детальным выделением комплексов ландшафтов разной биологической продуктивности экосистем; фондов земель, тре-

будущих применения различных научно-технических мероприятий для их улучшения (мелиорации, окультивации, противоэрозионных и др.); фондов земель, которые можно использовать не для сельскохозяйственного назначения.

Геохимический раздел программы должен включать детальное картирование распространения макроэлементов в разных генетических типах почв и геохимических ландшафтах; установление в них пределов содержаний различных микроэлементов применительно к условиям водоразделов, террас, разных пойм и заболоченных территорий; изучение содержания химических элементов в поверхностных и почвенно-грунтовых водах, что важно для выводов об интенсивности миграции и характере распределения макро- и микроэлементов в ландшафте; проведение биогеохимического районирования, в основу которого должны быть положены количественные и качественные данные о балансе в почвах основных элементов питания (N, P, K и связанных с ними микроэлементов). Очень важно установить корреляционные связи между основными макро- и микроэлементами, их ассоциациями и парагенезисами в отдельных генетических типах и разновидностях почв. В связи с расширением фонда мелиорируемых почв большое практическое значение представляет физико-химическое, геохимическое и микробиологическое изучение характера процессов преобразования органического и минерального вещества, баланса в них химических элементов и т.д.

Большое внимание должно быть уделено почвенно-гидрологическим исследованиям и наблюдениям, изучению водного режима в целом, охватывающего крупные территории и многолетние периоды; изучению энергетического состояния почвенной влаги и ее потенциальной доступности для растений; разработке почвенно-гидрологических характеристик для количественной и качественной оценок различных состояний почвенной влаги; ее термодинамике в системе почва--растение--атмосфера и др.

Для глубокого понимания почвенно-геохимических процессов, особенно подвижности химических элементов в растворах, адсорбции, участия в обменных реакциях и т.п., исключительно важно изучение почвенных минералов, в частности, соотношений унаследованных (первичных) и новообразованных (вторичных) минералов, стадийных минеральных преобразований, распределение минералов в разных фракциях и в почвенном профиле, геохимических признаков новообразований и трансформаций минералов (каолинитизации, иллитизации, хлоритизации, силицитизации и др.) в зависимости от разных сочетаний ландшафтных условий почвообразования.

Глава УП. ФИТОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛАНДШАФТАХ

I. Растительные сообщества ландшафтов

Взаимоотношение растений со средой обитания изучает фитоэкология. Объектами ее изучения являются как отдельные растения, так и растительные сообщества — фитоценозы, которые отражают важнейшие особенности природных ландшафтов и экосистем, специфику геохимической среды и ее эволюцию в ходе развития растительного покрова.

Основные фитоэкологические исследования состоят в изучении комплекса и отдельных факторов, от которых зависит существование растительных видов и сообществ в определенных экосистемах, оптимальные экоусловия среды существования и развития растений, связи растительного покрова с определенными экологическими факторами (климатическими, эдафическими, геологическими, геохимическими и другими). Краткий исторический обзор экологических исследований, проводимых в Белоруссии в области растений, дан И.Н.Рахтеенко и Б.И.Якушевым. Согласно указанным авторам, исследования проводились в области экологии древесных растений, луговой и болотной растительности, естественно-исторического районирования растительного покрова, в изучении закономерностей развития растений в зависимости от экологических факторов среды, взаимодействий между различными видами и сообществами растений и т.д.

Крупный вклад в изучение растительного покрова Белоруссии внесли работы И.Д.Юркевича, Н.Д.Нестеровича, В.С.Гельтмана, А.Ф.Иванова, И.Н.Рахтеенко, Л.П.Смоляка и др.

Растительные сообщества белорусских ландшафтов отличаются большим разнообразием. В них сочетаются лесные, болотные и луговые ассоциации. Основное место в растительном покрове республики принадлежит лесам. По данным И.Д.Юркевича и др. (1965, 1968, 1974), они занимают 6,4 млн.га, что составляет 32,2% площади республики. Преимущественное распространение имеют сосновые леса (56,3%). Ельники (9,1%) уступают черноольшаникам (9,7%) и березнякам (15,7%). Меньшие площади занимают осинники (3,5%) и сероольшаники (0,5%). Среди широколиственных лесов основное место принадлежит дубравам (5,4%), реже встречаются грабовые и ясеневые фитоценозы (0,5%), небольшие участки заняты кленовниками и липняками. Всего в лесах и кустарниках БССР естественно произрастает 28 древесных и более 70 кустарниковых,

полукустарниковых и кустарничковых видов. Климатические условия, рельеф определяют зональность лесов. В направлении с севера на юг восточноевропейские леса южнотаежного типа постепенно сменяются формациями западноевропейского типа. Все большее распространение получают широколиственные леса.

Согласно геоботаническому районированию СССР (1947), на территории Белоруссии выделяются две геоботанические области: евразийская хвойнолесная (таежная) и европейская широколиственная. Леса северной половины БССР относятся к дубравно-кустарничковым темнохвойным, а леса южной половины (полесские) — к широколиственно-сосновым. Между этими двумя геоботаническими областями лежит подзона, где растительность представлена хвойными лесами восточноевропейского типа и широколиственными лесами западноевропейского типа. Леса этой подзоны могут быть охарактеризованы как грабово-дубово-темнохвойные.

Геоботаническая зональность проявляется не только в замещении сосновых лесов широколиственно-сосновыми, но и в изменении структуры этих фитоценозов. По геоботаническим подзонам качественные изменения претерпевают еловые леса, дубравы. Так, в северной Белоруссии дуб произрастает с елью, в центральной полосе — с елью и грабом, в южной — с грабом. Широколиственные березовые леса представлены фитоценозами с господством березы бородавчатой и березы пушистой. Для ландшафтов Белоруссии также характерны черноольховые и на севере — серольховые леса (Растительный покров Белоруссии, 1969).

Более 3,5 млн.га (17,4%) общей площади республики занимают луга. Основные массивы заливных лугов расположены в поймах крупных рек — Днепра, Припяти, Немана, Западной Двины. Поймы небольших рек, как правило, заболочены и заторфованы. Для них типичны осоковые, осоково-пушицевые и гипново-осоковые ассоциации.

В пойме Днепра и его притоков Березины, Сожа, Друти встречаются злаково-разнотравные и осоково-разнотравные луга, которые характеризуются бедностью видового состава разнотравья и почти полным отсутствием мохового покрова. Поймы Припяти (в верхнем течении) и ее притоков заторфованы и представляют собой гипново-разнотравно-злаково-осоковые болота. В пойме Немана широко представлены осушенные разнотравно-мелкозлаковые луга (полевица тонкая, душистый колосок, белоус) и низинные крупноосоковые болота. Внепойменные луга суходольные и низинные, суходольные в большинстве случаев малопродуктивны. В травяном покрове господствуют белоус, душистый колосок, полевица обыкновенная, нивяник и др.

Значительная территория Белоруссии (2,48 млн.га) занята болотами. В распределении их наблюдается определенная закономерность: в северной половине наряду с низинными широко распространены переходные и верховые болота, к югу количество верховых болот уменьшается и на самом юге БССР, в Полесье, преобладают низинные гипново-осоковые болота. Из общей площади болот 81,7% составляют низинные, 4,8 переходные и 13,5% верховые (Растительный покров Белоруссии, 1969).

Верховые болота обычно расположены на водоразделах. Характеризуются однообразием и бедным видовым составом растительности. Типичными являются

кустарничково-пушицево-сфагновые ассоциации. Древесный ярус обычно представлен низкорослой сосной (высота от 2 до 8 м), ивами; отсутствует береза пушистая.

Переходным болотам свойственны лесные и безлесные кустарничково-осоково-сфагновые ассоциации. Сосновый древостой достигает 12–15 м. Обычным компонентом сосны является береза пушистая, иногда ель.

Низинные болота северной части Белоруссии занимают понижения, места бывших озер, долины рек. Травяной покров состоит из осок с примесью болотного разнотравья, под которым развивается ярус гипновых мхов. На травяных низинных болотах в поймах рек преобладают крупноосоковые и злаково-осоковые ассоциации.

Для Полесья типичны как лесные чернольховые и пушистоберезовые, так и безлесные травяные низинные болота. Безлесные болота представлены злаково-крупноосоковыми и осоково-гипновыми ассоциациями.

Растительный покров Белоруссии претерпевает и будет претерпевать в дальнейшем крупные изменения в связи с хозяйственной деятельностью человека. Ежегодно проводится лесовосстановление и облесение отдельных территорий, повышается роль высокопродуктивных типов лесов, осуществляется реконструкция малоценных лесных площадей, расширяется интродукция ценных видов растений. Путем мелиорации улучшаются луговые угодья, изменяется соотношение естественных и культурных лугов и пастбищ.

2. Химические элементы в естественной растительности Белоруссии

Изучению макро- и микроэлементов в естественной растительности республики до последнего времени уделялось недостаточно внимания, и, соответственно, по этим вопросам опубликовано мало материала. Краткое изложение результатов изучения химических элементов в растениях Белоруссии, их миграции и баланса в системе почва—растение дано здесь по материалам исследований К.И.Лукашева и Н.Н.Петуховой (1970, 1973) и И.К.Вадковской (1971, 1973).

Табл. 31 характеризует средние содержания зольности различных видов растений республики. Согласно таблице, водные растения имеют самую высокую зольность: несколько ниже она у разнотравья, еще ниже — у кустарников и полукустарников, древесных пород. Из лиственных пород наибольшая зольность у листьев, наименьшая — у веток. Близки по содержанию золы кора и корни. Из хвойных наиболее высокую зольность имеют шишки, луб, хвоя и т.д.

Прослеживается определенная зависимость между минеральным составом почвы и зольностью растений. Хвоя сосны, произрастающей на почвах, развитых на моренных суглинках, имеет среднюю зольность 3,18, а на аллювиальных песках — 1,33%; ветки сосны соответственно — 2,76 и 1,62%; листья березы — 5,36 и 3,38%; ветки березы — 4,31 и 1,12% и т.д. Таким образом, чем богаче минеральный состав почв, тем выше процент зольности растений. Однако несмотря на большое различие в зольности растений, произрастающих на разных почвах, прямой зависимости между химическим составом почв и зольностью растений не выявлено.

Средний химический состав золы отдельных видов растений Белоруссии представлен в табл. 32. В растениях, произрастающих на элювиальных и транс-

Таблица 31

Средняя зольность различных видов растений Белорусской ССР

Вид	Количество образцов	Зольность, %
	Древесные	
Береза:		
листья	25	4,74
ветки	23	I,60
кора	I2	2,2I
корни	6	2,80
Сосна:		
хвоя	37	2,26
ветки	I3	I,4I
кора	I5	I,85
луб	4	4,72
корни	9	2,08
шишки	I	4,36
Ольха:		
листья	20	5,93
ветки	24	2,02
кора	20	3,28
корни	I	2,I5
Ива:		
листья	7	7,I6
ветки	6	2,58
кора	2	6,54
Ель:		
хвоя	8	3,05
ветки	I	I,49
корни	I	2,93
Дуб:		
листья	2	5,7I
ветки	I	3,75
	Кустарники	
Рябина:		
листья	I	7,03
Крушина:		
листья	I	3,39
Можжевельник	I4	4,90
Малина	I	5,23
	Полукустарнички	
Черничник	2	4,06
Голубика	2	2,I0
Багульник	2	2,I0
Папоротник	I	8,54
Вереск	2	4,04

Продолжение таблицы 31

Вид	Количество образцов	Зольность, %
	Мхи	
Сфагновый	7	4,35
Гипновый	3	8,48
	Разнотравье	
Разнотравье	5	I2,23
Пушица	5	3,24
Осоки	5	5,I6
	Водные растения	
Камыш	5	8,55
Тростник	8	8,68
Рогоз	2	II,63
Аир	3	7,62
Телорез	2	25,22
Лилия белая	I	I4,34
Кувшинка	3	I3,00
Хара	I	20,35
Ряска	I	I4,76

элювиальных ландшафтах, большой процент золы приходится на окись кальция (I2,80—46,85%). Концентрация остальных элементов значительно ниже и убывает в ряду $CaO—K_2O—MgO—P_2O_5—SiO_2—SO_3—Al_2O_3—Fe_2O_3—Na_2O—TiO_2$.

Несколько отличается состав минеральных компонентов у растений, характерных для супераквальных и аквальных ландшафтов. В них преобладает окись кремния (в среднем 33,42%), в порядке уменьшения идут: $SiO_2—CaO—MgO—SO_3—P_2O_5—Al_2O_3—Fe_2O_3—TiO_2$. Наибольшие колебания отмечаются в содержании CaO и SiO_2; максимальные количества этих окислов превосходят минимальные соответственно в 6–8 и 2I раз.

Различием химического состава характеризуются не только виды и семейства растений, но и их отдельные части. В листьях, например, преобладают такие элементы, как кремний, магний, в некоторых случаях сера. Ветки и кора древесных растений заметно накапливают кальций, железо, алюминий. А.Л.Ковалевский (I969) считает, что распределение элементов в различных органах растений не является стабильным. Большое влияние на него оказывает наличие или отсутствие у этих органов пределов поглощения химических элементов при высоких содержаниях их в почве. Часто при высоких содержаниях элементов в питающей среде изменяется характер распределения. А.Л.Ковалевский объясняет это тем, что у большинства элементов предел поглощения в молодых органах древесных растений ниже, чем у старых.

Вычислялся ряд наиболее характерных отношений пар элементов: CaO : P_2O_5; CaO : MgO; K_2O : Na_2O. Среднее отношение CaO : P_2O_5 изменяется в пределах 6,8–I2,2 и соответствует нормам минерального питания. По данным М.Ф.Томпа и др. (I948), среднее отношение CaO : MgO в кормовых травах обычно колеблется в пределах 2—6. Для всей естественной растительности

Таблица 32

Химический состав растений, % на золу

Растение	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	P_2O_5
Граб:											
листья	2,34	0,58	0,80	Не опр.	–	36,08	4,83	2,41	–	–	–
ветки	1,66	0,36	1,33	То же	–	40,15	Не опр.	3,30	–	–	–
Береза:											
листья	3,41	0,69	0,15	0,05	–	27,70	15,70	3,46	–	–	–
ветки	1,80	0,72	1,40	0,04	0,38	41,98	5,69	1,21	6,97	0,93	6,12
кора	2,62	0,97	1,41	0,18	0,93	46,85	4,36	1,07	6,46	1,51	4,54
Ольха:											
ветки	2,53	0,30	1,35	0,06	0,08	42,03	7,28	2,90	15,12	1,01	5,86
кора	3,71	0,74	1,56	0,06	0,45	45,34	3,08	2,03	7,47	1,44	3,70
Сосна:											
хвоя	3,44	0,37	1,04	Сл.	Не опр.	12,80	16,97	3,88	Не опр.	Не опр.	Не опр.
ветки	5,69	0,70	3,91	То же	То же	37,32	6,20	1,33	То же	То же	То же
Можжевельник	3,80	0,77	0,18	0,05	То же	23,07	7,44	4,36	То же	То же	То же
Разнотравье лугов	3,18	0,84	1,43	0,04	То же	14,55	5,67	7,43	То же	То же	7,31
Осоки	34,33	1,05	3,64	0,01	0,36	14,18	7,13	6,41	То же	То же	7,31
Пушица	32,52	1,92	0,51	0,19	Не опр.	8,70	7,06	Не опр.	То же	То же	4,84

Белоруссии это отношение составляет 0,7—17,8, для трав — 1,2—2,5. Отношение менее 1 характерно для хвои сосны, наиболее высокая величина отмечена для коры древесных растений (14,7—17,8).

Отношения K_2O: Na_2O у растений колеблется в пределах 4,2—7,5, что несколько выше нормы, необходимой для полноценного питания животных.

В табл. 33 приводятся средние содержания микроэлементов в растительности, произрастающей на разных генетических типах почв. Наибольшее количество микроэлементов содержат растения, произрастающие на песчаных дерново-подзолистых почвах, наименьшее — на торфяно-болотных. Надо полагать, что это связано с интенсивностью поглощения элементов растениями: на обедненных микроэлементами почвах растения обладают большей активностью поглощения. Об этом частично свидетельствуют коэффициенты биологического поглощения (КБП) элементов, приведенные в табл. 34.

В наибольших количествах растения поглощают марганец, медь и никель. Эти элементы можно назвать элементами высокой биологической активности. Хром, барий, титан относятся к элементам, биологически менее активным. Их КБП меньше 1. Из них в наименьших количествах поглощается титан (КБП=0,21), в несколько больших — барий (0,60) и хром (0,81).

Итак, на основе приведенных данных можно выделить три группы элементов, различающихся по КБП:

1) биологически сильноактивные элементы — Mn, Cu (КБП=5—35);

2) биологически среднеактивные элементы — Ni (КБП=1—5);

3) биологически слабоактивные элементы — V, Ba, Cu, Ti (КБП=0,1—1).

По-видимому, биологически активными можно считать также стронций и свинец, которые в растениях встречаются повсеместно, а в почвах — лишь в редких случаях.

Данные табл. 35 показывают, что марганец, барий, никель, медь и свинец присутствуют во всех растениях, титан, хром и стронций — очень часто. В ряде случаев фиксируются ванадий, цирконий, бериллий, кобальт. Процент встречаемости ванадия в растениях колеблется от 4,0 до 20,0. Содержание его обычно резко превышает $4{,}0 \cdot 10^{-3}$ %. Наиболее высокие концентрации характерны для дуба, ольхи, ели. Цирконий чаще встречается в ели (60,0%), сосне (30%) и березе (25,8%). Для березы отмечено и самое высокое его содержание — $1{,}84 \cdot 10^{-1}$ %. Процент встречаемости бериллия колеблется от 6,45 до 40,0. Из древесных пород он зафиксирован только в березе и ели ($0{,}1 \cdot 10^{-3}$ %). Встречаемость кобальта в растениях достигает 29%, чаще в древесных породах (березе, ольхе, ели).

В целом по убыванию значений концентрации элементы располагаются в ряду Mn—Ti—Cu—Sr—Ba—Pb—Ni—Cr—Zr—V—Co—Be.

При исследовании отдельных частей растений выявлено, что хвоя сосны концентрирует Mn, кора — Ti, Ba, Cr, шишки — Pb, Cu, Ni, листья ольхи — Mn, ветки — Cu, Ba, Sr, Ni, кора — Pb; листья березы — Mn, Ni, ветки — Cu, Pb, Sr, кора — Ba, корни — Ti, Cr.

Встречающиеся отклонения, по-видимому, вызваны биологическими особенностями растений, влиянием химического состава почв и почвообразующих пород, перераспределением элементов в ходе вегетации и в зависимости от возраста. Так, листья дуба и березы на дерново-подзолистых песчаных почвах содержат близкие количества марганца (1,5%) и меди (0,03—0,4%). Содержа-

Таблица 33

Среднее содержание микроэлементов в естественной растительности, произрастающей на различных типах почв Белорусской ССР, n · 10^{-3} % на золу

Почва	Ti	Mn	Ba	Cr	Ni	Cu	Sr	Pb
Дерново-подзолистая:								
песчаная	32,0	340,0	17,0	2,5	6,0	I9,0	I3,0	7,9
супесчаная	20,0	I50,0	I7,0	2,0	4,2	I7,0	I6,0	I0,I
суглинистая	22,0	I50,0	I4,0	I,5	I,6	9,0	24,0	4,0
Аллювиально-луговая	I0,2	60,0	I5,5	I,2	3,2	I4,0	8,9	7,9
Торфяно-болотная	I0,0	70,0	I2,0	I,0	0,9	I5,0	7,2	I3,0

Таблица 34

КБП растений, произрастающих на различных типах почв Белорусской ССР

Почва	Ti	Mn	Ba	Cr	Ni	Cu
Дерново-подзолистая:						
песчаная	0,36	34,0	0,94	I,38	3,0	35,I
супесчаная	0,I8	6,25	6,65	0,80	3,0	25,0
суглинистая	0,I5	5,0	0,58	0,30	I,0	6,4
Аллювиально-луговая	0,09	5,76	0,65	0,43	3,2	23,32
Торфяно-болотная	0,I9	4,54	0,32	0,28	0,4	7,5

Таблица 35

Среднее содержание микроэлементов в естественной растительности Белорусской ССР, n · 10^{-3} % на золу

Растение	Ti	Mn	Ba	Cr	Ni	Cu	Sr	Pb
Сосна	30	I80	I2,5	3,0	7,0	20,2	7,9	I2,0
Береза	I7	3I0	I6,0	I,5	3,0	I3,0	I7,0	8,2
Дуб	22	320	20,0	I,8	4,2	20,0	9,0	5,2
Ель	50	250	20,0	I,5	3,2	30,0	22,0	I,5
Ольха	42	I30	I9,0	I,2	2,8	I7,0	I7,0	9,0
Ива	I2	90	I3,0	I,0	I,7	I0,0	I3,0	5,2
Орешник	II	I52	30,0	I,8	2,6	II,4	28,0	8,6
Вереск	–	400	I0,0	6,3	I,0	27,0	I2,0	I0,0
Разнотравье	56,5	54	I0,0	2,0	2,5	I6,7	I3,0	8,0
Камыш	3,5	I08	I0,5	2,0	2,2	I0,0	–	II,0
Осоки	3,0	55	3,0	–	2,0	I6,0	–	I0,0
Среднее	24	I80	I4,0	2,2	3,0	I7,0	I5,0	6,8

ние марганца и меди преобладает в листьях и несколько меньшее — в ветках.

Геохимическая связь растение — почва. Минеральный состав растений не всегда отражает содержание химических элементов в почве. Большую роль здесь играет избирательная способность растений к аккумуляции элементов, условия среды произрастания. Поэтому большой интерес представляют данные, характеризующие геохимическую связь между растениями и почвой. Такие данные получены К.И.Лукашевым и Н.Н.Петуховой (1973) для некоторых микроэлементов. Они позволяют судить об интенсивности поглощения последних живыми организмами. В формулах элементы, стоящие перед дробью, имеют содержания, близкие или равные в системе почва—растение, в числителе — концентрируемые растениями, в знаменателе — преобладающие в почвах.

Установлено, что растения, произрастающие на песчаных почвах, характеризуются близкими содержаниями хрома и бария в системе почва— растение, концентрируют медь, марганец, никель, обеднены титаном.

Для растений, развитых на супесчаных почвах, характерна обедненность хромом, барием, титаном. Имя накапливаются марганец, медь, никель. Похожую формулу имеют растения, произрастающие на суглинистых почвах. В данном случае содержания никеля в система почва—растение близки.

На основании приведенных данных выделено 4 типа биогеохимической связи микроэлементов в системе почва—растение:

медь, марганец	—	почва $<$ растение;
никель	—	почва $\leqslant$ растение;
хром, барий	—	почва $\geqslant$ растение;
титан, ванадий	—	почва $>$ растение.

Таким образом, химический состав растений Белоруссии свидетельствует о том, что содержание в них макро- и микроэлементов колеблется в широких пределах. Это объясняется их физиологическими особенностями, избирательной способностью отдельных видов растений накапливать определенные элементы, экологическими условиями среды развития фитоценозов и другими факторами, которые еще совсем мало изучены.

В числе важных особенностей взаимоотношений между растительностью и почвой следует отметить изменения кислотности почвы под влиянием различных видов растений. Исследования, проведенные в Белоруссии Н.Д.Нестеровичем, А.Ф.Ивановым, Л.В.Кравченко, А.М.Русаковичем и др. (Влияние почвенных условий на рост древесных растений, 1964), показывают, что древесные растения и кустарники по-разному влияют на изменение кислотности (pH) почв. Одни значительно изменяют ее только в верхних (в пределах 20 см), другие в более глубоких горизонтах.

Наибольшее снижение pH почвы (подкисление) связано с произрастанием ели, лиственницы, сосны, дуба, часто смешанного с кленом. Береза бумажная, граб обыкновенный, вяз гладкий, ель канадская, орех маньчжурский, ольха бородатая, ольха черная снижают pH почвы на 0,5–1,0 единицы (особенно ольха и граб). Аморфа кустарниковая, береза бородавчатая, дуб черешчатый, ель колючая, обыкновенная и сибирская, клен полевой и остролистий, лиственница сибирская, пихта одноцветная и сибирская, осина, ясень пенсильванский и другие растения увеличивают кислотность почвы на глубину до 60 см, особенно под елями (0,58—1,98), пихтой сибирской (0,97—1,46), лиственницей сибирской (0,47—1,20), ясенем пенсильванским (0,38—0,80 ед.

pH). К древесным породам, увеличивающим кислотность почв главным образом в верхнем горизонте, относятся лиственница даурская, пихта бальзамическая, сосна Муррея, сосна кедровая сибирская, сосна черная и др.

На изменение кислотности почв влияют продукты разложения опада, корневые выделения, состав почвообразующих пород, минералогические процессы, гидрологические условия и другие факторы.

В связи с этим геохимическое изучение ризосферы (процессов взаимодействий между корневой системой и почвой) представляет большой научный и практический интерес. Для выращивания высокопродуктивных сельскохозяйственных и лесных культур необходимо знание не только биологических и физиологических свойств растений, но и их жизнедеятельности в зависимости от геохимических процессов миграции химических элементов в почвах. Как уже установлено, корневая система не только обеспечивает растения водой и минеральной пищей, но и участвует в синтезе органических соединений, способствует улучшению физических свойств почв -- влияет на рост надземных органов растений, положительно или отрицательно сказывается на их продуктивности. В процессе роста и развития растения выделяют в почву и внешнюю среду разнообразные органические и минеральные вещества, в том числе физиологически активные, которые играют важную роль в создании геохимической среды экосистем, положительно или отрицательно влияют на развитие биоценозов. К сожалению, исследования в этой области пока очень малочисленны.

3. Роль фитоценозов в абиотическом и биотическом круговоротах химических элементов в ландшафтах

Основные элементы абиотического происхождения (углерод, кислород, водород, азот, фосфор, сера) и биогенные катионы (калий, кальций, магний, железо, марганец, бор, медь, цинк, молибден и др.), участвующие в биогеохимическом круговороте в ландшафтах, связаны с растительностью.

В ходе исторического развития Земли между растениями и средой установились определенные биогеохимические отношения, выражающиеся с одной стороны в адаптации растений к среде, с другой -- в эволюции геохимической среды в связи с развитием биогеоценозов. Сообщества организмов определенным образом изменяют и регулируют свое окружение, свою среду, а искусственное изменение окружающей среды в свою очередь изменяет организмы. Работы В.З.Ковальского (1960, 1973) показывают, что геохимические факторы среды, особенно их экстремальные проявления, могут вызывать генетические изменения структуры популяций и приводить к образованию новых форм организмов с новыми адаптивными свойствами. Известны многие растения, концентрирующие химические элементы в повышенных количествах, -- Li, B, F, Al, Si, P, Mg, S, Cl, K, Ca, V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Ba, As, Br, J и др. Согласно данным В.А.Ковды (1971), в растениях по сравнению с литосферой H содержится больше на 9,8%, O -- на 22,8%, N -- в 30 раз, C -- в 180 раз; Zn - меньше на 17%, B, J, K, S -- в 2--3 раза, Ca, Mn, Mg, Cr, Rb, Cu, As, Mo, Cd, Hg -- в 10--90 раз, Se, Co, V, Ba, Li, Zr, Pb, Ni, Fe, Na, Al, Si -- в 100--650 раз, F, Ti -- в несколько тысяч раз, Ra -- в 100000 раз.

В эволюции флоры и фауны, а также геохимической среды экосистем значительную роль играют повышенные или пониженные содержания химических элементов в растительных организмах и почвах. На их основе выделяются и биогеохимические провинции.

Ценные сведения о биологическом круговороте химических элементов в цепи растение—почва содержатся в работах многих авторов (Ковда, 1956; Тюрин, 1949; Парфенова, 1941, 1949; Ремезов, 1954; Ремезов, Смирнов и Быкова, 1949 и др.).

Приведем некоторые сведения из имеющихся работ о потреблении и возвращении в почву химических элементов отдельными видами древесных пород. В золе хвои содержание кремнезема достигает 30—40%, в листве — 20, часто 5—6%; CaO составляет 40—60%. В лиственных породах (береза, дуб, граб, клен, липа) CaO содержится до 50% и выше, SiO_2 — 10—15%. Алюминий аккумулируется главным образом в корнях. Например, в золе корней ели, дуба, липы содержится до 15—20% Al_2O_3, а в листьях и хвое — всего 2—3%.

По данным Н.П.Ремезова, К.М.Смирновой и Л.Н.Быковой (1949), основные насаждения в возрасте 14—95 лет ежегодно берут из почвы 50—280 кг/га зольных веществ, возвращают около 49—95 и удерживают 3—119 кг/га. Насаждения ели в этом возрасте ежегодно потребляют 78—308 кг/га минеральных веществ, возвращают 13—106 и задерживают в тканях 40—213 кг/га. Круговорот минеральных веществ усиливается в дубовых лесах: насаждения дуба ежегодно поглощают их 312—760 кг/га, возвращают 260—345 и задерживают около 50—400 кг/га. Хвойные ежегодно дают в опаде около 8—20 кг/га кальция, 3—9 кг/га калия, 7—34 кг/га азота; лиственные — 25—105 кг/га кальция, 16—84 кг/га калия, 23—65 кг/га азота.

Таким образом, растения в процессе развития извлекают из почвы значительно больше химических элементов, чем возвращается их в ходе биологического круговорота. Значит, абсолютное количество всех минеральных компонентов, участвующих в биологическом круговороте, при развитии широколиственных лесов значительно выше, чем при развитии хвойных.

Установлено также, что травянистой растительностью мобилизуется большее количество химических элементов, чем лесной. Для химического состава луговой растительности гумидной холодно-умеренной зоны наиболее характерны высокие значения Ca, K, а также S, P, Mg, Fe, Al, Mn. В среднем луговая травянистая растительность ежегодно вовлекает и отдает в верхние почвенные горизонты не менее 800—1200 кг/га минеральных веществ разного типа (Ковда, 1956). Значит, ежегодный цикл биологического круговорота минеральных веществ с участием травяной растительности значительно превышает величину минерального круговорота под пологом лесной растительности. Важная биогеохимическая роль травяной растительности заключается также в том, что преобладающие в ее составе кальций и калий способствуют созданию в почвенных горизонтах нейтральной и щелочной сред и обогащению их соединениями P, S, N, Fe. В экосистеме создаются также благоприятные условия для образования карбонатов кальция и магния и для биогенного синтеза вторичных минералов железа, алюминия и кремния.

Существует тесная связь между химическим составом растений и земной корой. Между внешней средой и растениями идет постоянный обмен веществ, зависящий от видового состава растений и других экологических условий. Установлено, что минеральный состав растений подвержен значительно большим колебаниям, чем содержание в них органических веществ — белков, жиров, углеводов (Томмэ и др., 1943), и зависит от вида, возраста, местообитания, почвы и других факторов. При изучении макро- и микроэлементного со-

става ивовой растительности бассейна Сок[illegible] и Березины (Вадковская, 1973) было отмечено, что в сокской иве выше среднее содержание SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, K_2O, Na_2O, SO_3, а в растениях Березины — CaO и MgO. В золе ив Березины выше концентрация Mn, Cu, Cr, Zn, ниже — Sr, V. На Соже значительно выше встречаемость в образцах кобальта.

Коэффициенты корреляции, полученные для каждой пары микроэлементов ивы бассейна Сожа и Березины, представлены в табл. 36 и 37. В сожской иве коррелируют 4 пары элементов: Mn и V, Cu и Zn, Cr и Zn, Ba и Cr. Связь между тремя первыми выражена положительной величиной и равна соответственно +0,40, +0,30, +0,37. Корреляция между Ba и Cr выражена отрицательной величиной −0,37. В иве Березины коррелируют только 2 пары элементов: Mn и V, Mn и Zn. Связь между ними выражена положительной величиной и соответственно составляет +0,39 и +0,37.

Лесная и травянистая растительность ежегодно поглощает из почвы огромное количество минеральных веществ, образующихся в результате выветривания, биогенного накопления, поступления из атмосферы и природных вод. В меньшей мере она возвращает в почву минеральные вещества в процессе биологического круговорота. В любой экосистеме растительность играет огромную роль в образовании биологической массы и почвенного гумуса, которые представляют собой одно из последних звеньев пищевых цепей, слагающих круговорот биофильных элементов от фотосинтеза органического вещества до конечных продуктов и их минерализации: воды, углекислоты, аммиака, окислов азота, сероводорода, метана, простых окислов железа, алюминия и кремния, карбонатов, сульфатов, фосфатов, нитратов.

4. Биогеохимическая деятельность фитомикроорганизмов

Выдающуюся роль в геохимическом преобразовании вещества в биосфере и ландшафтах играют фито- и зоомикроорганизмы. В настоящее время установлено широкое участие их в выветривании горных пород. Поселяясь на поверхности горных пород, бактерии, грибы, водоросли и лишайники разрушают породу своими кислотами и этим кладут начало процессам выветривания и почвообразования. В болотах и водоемах бактериям и грибам принадлежит главная роль в разложении и минерализации органических остатков. Только благодаря существованию и жизнедеятельности бактерий и грибов в биосфере происходят те превращения веществ, без которых невозможна жизнь на Земле: высвобождение из углеродсодержащих соединений углекислоты, которая снова поступает в атмосферу, образование из белков растений аммиачно-аммонийных солей, используемых высшими растениями в качестве азотного питания. В органических аккумуляциях из бактерий широко распространены целлюлозно-разлагающие (аэробные и анаэробные), аммонифицирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие, азотфиксирующие и др.

Д.М.Новогрудский (1950) отмечает наличие зеленых водорослей (из родов Chlorococum и Croococcum), сопутствующих им бактерий (из родов Mycobacterium album, Mucobacterium luteum), а также грибов (преимущественно из родов Penicillium и Alternaria) на обнаженных гранитных скалах нивального, горнолугового и горнолесного поясов хребта Терской-Алатау.

Н.А.Красильниковым (1949) установлено, что в поверхностном слое горных пород обитает большое количество микроорганизмов, в основном бактерий, микробактерий и гораздо меньше грибов и актиномицетов. Бактерии скальных по-

Таблица 36

Корреляция между микроэлементами ивы бассейна Сожа, n = 28[x]

Микроэлемент	Ba	Sr	Mn	Co	Cu	V	Cr	Zn
Ba	x	+0,05	-0,20	-0,I4	+0,04	-0,I6	-0,37	-0,25
Sr		x	-0,20	-0,004	-0,07	-0,08	-0,0009	+0,II
Mn			x	+0,20	+0,32	+0,40	+0,24	+0,32
Co				x	-0,03	-0,I7	-0,2I	-0,23
Cu					x	-0,0I	+0,II	+0,39
V						x	+0,07	+0,I9
Cr							x	+0,37
Zn								x

[x] При n = 28 и уровне значимости 0,05 коэффициент корреляции должен составлять не менее 0,37.

Таблица 37

Корреляция между микроэлементами ивы бассейна Березины, n = 32[x]

Микроэлемент	Ba	Sr	Mn	Cu	V	Cr	Zn
Ba	x	-0,09	-0,07	+0,I2	-0,08	+0,05	-0,I4
Sr		x	-0,I5	-0,07	+0,I9	-0,I0	-0,27
Mn			x	+0,27	-0,39	+0,I3	+0,63
Cu				x	-0,I8	+0,02	+0,29
V					x	+0,3I	-0,26
Cr						x	-0,02
Zn							x

[x] При n = 32 и уровне значимости 0,05 коэффициент корреляции должен составлять не менее 0,35.

род олигонитрофильны и способны развиваться в безазотистых средах и в средах, содержащих минеральный азот.

Особенно активную роль в выветривании и почвообразовании играют бактерии-нитрификаторы, бактерии-сульфуризаторы и железобактерии. Бактерии-нитрификаторы обладают способностью окислять аммиак в азотистую кислоту (нитриты), а азотистую кислоту — в азотную (нитраты). Процесс окисления аммиака в азотистую кислоту вызывается несколькими видами нитрозных бактерий, разделенных С.И.Виноградским (I952) на три рода: **Nitrosomonas, Nitrosocystis** и **Nitrosospira.** Бактерии же из рода **Nitrosobacter** способны окислять азотистую кислоту в азотную. Некоторые бактерии в анаэробных условиях вызывают процесс денитрификации — восстановления нитратов до нитритов (**Bact. mycoides. Bac. subtilis** и др.).

Существует группа денитрифицирующих бактерий, которые восстанавливают нитраты до молекулярного азота. **Bact. Jenitrificans** восстанавливает нитраты до свободного азота, вместе же с другими бактериями (**Bact. stutzeri**,

Bact.fluorescens, Bact.pyocyaneum) способна восстанавливать и нитраты. Эти же бактерии способны разлагать атмосферную углекислоту и усваивать углерод.

Характеризуя азотфиксирующие микроорганизмы почв СССР, Е.Н.Мишустин и Е.М.Пакратова (1974) указывают, что в последние годы, особенно после введения в лабораторную практику тяжелого изотопа азота, список микроорганизмов-азотфиксаторов чрезвычайно увеличился, функция азотусвоения была выявлена у многих сапрофитных бактерий, а также у некоторых грибов, дрожжей и актиномицетов.

Получены хорошие результаты при изучении анаэробных фиксаторов, закономерностей их распространения в зональных типах почв. Выяснилось, например, что Clostridium pasteurianum больше всего в почвах северной зоны СССР. Число Cl.acetobutilicum , наоборот, увеличивается от севера к югу. Северные расы бактерий рода Clostridium, как правило, обладают более высокой азотфиксирующей способностью.

В почвах СССР обнаружено 93 вида водорослей из отдела Cyanophyta. Из них особенно часто встречается 25 видов из родов Nostoc, Anabaeno, Cylindros permum Tolypothrix, Calothrix. Наибольшее разнообразие водорослей обнаружено в почвах умеренной зоны, характеризующейся устойчивым увлажнением.

Группа тионовых бактерий обладает способностью окислять серу и ее соединения до серной кислоты и оказывать влияние на разрушение пород.

По данным С.И.Кузнецова (1952, 1959), во многих месторождениях серы, где наблюдаются выходы этого элемента на дневную поверхность, обнаружены значительные количества серной кислоты или вторичных сульфатных минералов типа квасцов и алунитов. Впервые это явление было отмечено на Каракумском сероносном месторождении А.Е.Ферсманом, который считал, что происхождение серной кислоты в данном случае носит чисто химический характер.

Процессы окисления серы до серной кислоты изучались также С.И.Кузнецовым, Н.Н.Ляликовой, М.В.Ивановым (1958) в Гаурдакском месторождении (Туркменская ССР), где отложения серы приурочены к Гаурдакской свите верхнепермских отложений. Здесь все сероносные породы, выходящие на дневную поверхность, имеют pH 0,4–4. Эта среда благоприятна для развития Thiobacillus thioaxidans , количество которых колеблется от 1000 до 10000 на 1 г породы. Тионовыми бактериями богаты также кислые воды, проходящие по трещинам через рудное тело.

Исследования микробиологических процессов в карьерах месторождения в Шор-Су, парагенетически связанного с одноименным нефтяным месторождением, проводимые С.И.Кузнецовым и сотрудниками (1958), показали, что оно образовалось при непосредственном участии десульфуризирующих и тионовых бактерий. Процесс окисления серы до серной кислоты протекает в пластах залегания сероносных известняков, где проходят грунтовые воды, в результате деятельности Thiobacillus thioaxidans согласно формуле

$$S + 1/2\ O_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4 + 141{,}8\ \text{ккал}.$$

Выделяющаяся энергия используется для усвоения свободной углекислоты в процессе хемосинтеза. Количество бактерий Thiobacillus thioaxidans на 1 г породы достигает 10000.

Изучение сероносных пород, выходящих на дневную поверхность, в месторождениях серы в Гаурдаке и Шор-Су позволило заключить, что тионовые бактерии активно участвуют в разрушении сероносных известняков.

Процесс окисления сероводорода до серы тионовыми бактериями изучался М.В.Ивановым в Шор-Су. Оказалось, что более 50% сульфидов окислялось биологическим путем за счет деятельности Thiobacillus thioparus. В шахтных водах, проходящих ниже зоны окисления, где не было обнаружено Thiobacillus thioparus, сероводород не окислялся. Это позволяет предположить, что тионовые бактерии играют большую роль в образовании месторождений серы.

Микроорганизмы принимают участие не только в окислительных, но и в восстановительных процессах, в результате которых сульфаты восстанавливаются до H_2S .Процессы десульфуризации обусловливаются наличием сульфатов,органического вещества, анаэробной среды и десульфуризирующих бактерий.

Изучая процесс десульфуризации, С.И.Кузнецов (1952) отмечает, что значительное количество сероводорода приурочено к тем озерам, где обнаружено большое количество сульфатов. Так, в Большом Содовом озере количество сероводорода достигает 786 мг/л.Местом концентрации десульфуризирующих бактерий являются озерные илы, богатые органическим веществом. Развитие бактерий протекает в анаэробных условиях.

Наблюдения показали, что для озер с заметным количеством органического вещества, по-видимому, достаточно одного летнего сезона для создания анаэробных условий, благоприятных для развития десульфуризирующих бактерий. Концентрация сероводорода в придонных слоях воды часто достигает больших размеров (58 мг/л). В сульфатных озерах с большим количеством образующегося сероводорода он окисляется особенно интенсивно в водной массе на границе распространения света, где соприкасаются нижележащие водные соли,содержащие сероводород, с вышележащими, обогащенными кислородом в результате деятельности пурпурных серобактерий Claromatium,Thiocystis и др.Железобактерии окисляют закисные соли железа в окисные,некоторые из них обладают способностью окислять гели марганца.

По данным С.И.Виноградского (1952) и др., чисто химическое окисление железа, протекающее наряду с биохимическим, является незначительным по сравнению с тем, которое вызывается деятельностью микроорганизмов.

Н.Г.Холодный (1953) считает,что микроорганизмы особенно большое значение приобретают в стоячих водоемах или в ручьях, где вследствие незначительной аэрации химическое окисление может достигать больших размеров; окисление железа здесь протекает интенсивно в результате деятельности железобактерий. Сидерофильные организмы превалируют в водоемах, обогащенных CO_2, где химический процесс окисления большого значения не имеет, а количество отлагаемого биогенным путем железа достигает больших размеров. Н.Г.Холодный считает железобактерии основным фактором, обусловливающим концентрацию железа на поверхности Земли.

Окисление закиси железа до окиси, по С.И.Виноградскому (1952), происходит внутри бактериальной клетки,в ее плазме. Весь этот процесс можно разбить на несколько этапов: адсорбция закиси железа клетками, окисление ее, пропитывание и закрепление окиси железа влагалищами организма. Процесс окисления протекает при pH 5,5. А.М.Бейтман указывал , что осажде-

ние железа из органических растворов возможно при окислении железных карбонатов $FeCO_3$ и окисла железа в результате различных реакций.

По С.И.Кузнецову (1952), все организмы, способные осаждать железо, можно разбить на 4 группы. Первая группа включает железобактерии в узком смысле слова, т.е. все организмы способные использовать энергию окисления закисного железа до окисного по уравнению

$$4FeCO_3 + 6H_2O + O_2 \longrightarrow Fe_2(OH)_6 + 4CO_2 + 58 \text{ кал.}$$

К этой группе относятся Leptothrix ochraces, Spirophyllum или Gallionella.

Вторая группа включает ряд гетеротрофных организмов, снабженных слизистой оболочкой, адсорбирующей из раствора окисные или закисные соединения железа, которые, окисляясь во влагалище, пропитывают его гидратом окиси железа. Сюда относятся нитчатые формы рода Cladothrix, а также водоросли, способные отлагать железо в клеточной оболочке, например, десмидиевые, у которых инкрустируются железом шипы, покрывающие поверхность оболочки. Отложения железа часто встречаются у слизи, которая покрывает сине-зеленые водоросли. Так, у Lyngbya Martensiana процесс накопления железа бывает настолько обильным, что вредит нормальному развитию организма.

К третьей группе относятся железобактерии, способные использовать органическое вещество из гуматов железа. Представителями ее являются широко распространенные в гуминовых водах Siderocapsa treubii. Эти бактерии используются для питания органической части гуминового комплекса, осаждая освобождающееся железо на своей поверхности.

Четвертую группу составляют водоросли и представители высшей водной растительности, участвующие в осаждении окисного железа. В процессе фотосинтеза, используя углекислоту бикарбонатов железа или кальция, они подщелачивают воду, окружающую растение, что приводит к выпадению гидратов окиси железа или марганца. Часто этот процесс протекает настолько интенсивно, что вся водная растительность может покрыться бурой или охристой корочкой.

Железонакопляющие микроорганизмы принимают активное участие в образовании болотных и озерных железных руд. Болотные железные руды широко известны. Они обычно имеют незначительную мощность (до 0,2-0,3 м, редко более), почти всегда пористые, в одних случаях шлаковидные и твердые, в других рыхлые и землистые. Содержание железа в них изменяется в значительных пределах (20—60%).

Биогеохимические процессы в биосфере часто ведут к образованию водного фосфата закиси железа-вивианита. Значительные скопления его в виде тонкодисперсной массы — "синей болотной руды" — встречаются главным образом в березово-ольшаниковых осоковых торфах. Известно много низинных торфяников, содержащих вивианит (в БССР, УССР, Московской, Ивановской, Ярославской и других областях). Тонкопорошковатые выделения вивианита часто встречаются в глинах, богатых органическим веществом, в осадочных месторождениях железных руд и т.д.

Биогеохимические процессы в биосфере часто сопровождаются накоплением карбоната марганца — родохрозита ($MnCO_3$), или марганцевого шпата. Содержание марганца в нем достигает 47,8%, в виде изоморфной примеси присутствуют Fe, Mg, Ca, иногда — другие элементы. Родохрозит образуется в

условиях восстановительной среды. В залежах он обычно находится в виде тонкозернистых, скрытокристаллических и землистых масс слоистого, радиально-лучистого и нередко оолитового строения, которые при окислении разлагаются, превращаясь преимущественно в вернадит ($MnO_2 \cdot nH_2O$). Последний отлагается в виде плотных черных корочек и прожилок со смолистым ярким блеском, а также в рыхлых массах коричневого или шоколадно-бурого цвета. Он непостоянен по составу, с течением времени теряет воду и переходит в пиролюзит. Из бактерий, осаждающих марганец, известны Crenithrix polyspora, Leptothrix ochracca, Cladothrix и Clonothrix. Часто марганцевые отложения образуются совместно с болотными железными рудами.

Наряду с бактериями важная роль в разрушении и минерализации органических веществ, а также в круговороте их в природе принадлежит низшим грибам. Исследования показали, что особенно сильное разрушающее действие на минералы оказывают пенициллы, обитающие в продуктах выветривания гранитов.

В.Р.Вильямс (1938), изучая процессы оподзоливания почв, указывал на разрушение минералов под воздействием выделяемых грибами креновых кислот. В.В.Пономарева (1964), обрабатывая минералы свободными, подвергшимися электролизу фульвокислотами, выделенными из подзолистых почв, обнаружила значительную растворяющую способность. Исследования М.А.Глазовской (1950) показали, что Penicillium, выросший на продуктах выветривания минералов, сильно подкисляет среду (pH 3,5–3,6), что способствует их разрушению.

В органических отложениях на 1 г вещества содержатся сотни тысяч и миллионы грибных зародышей — актиномицетов и плесневых грибов. Актиномицеты — это лучистые грибы, совмещающие черты бактерий и простейших грибов. Большинство из них (сапрофиты) живут на разлагающихся органических остатках.

Весьма важной группой организмов — деятелей выветривания и почвообразования — являются сине-зеленые водоросли, широко распространенные в природе (воде, почве, на поверхности пород, горных склонах, в горячих ключах, в условиях низких температур — до -20°). Эти водоросли обладают способностью в отсутствие света питаться гетеротрофно, т.е. за счет органических веществ, самостоятельно или в сообществе с азотобактером усваивать атмосферный азот. Сине-зеленые водоросли известны еще в протерозое, где ими сложены мощные рифовые известняки. Образование многих ниш, полостей, карманов, мельчайших трещин на поверхности пород в настоящее время в значительной мере приписывается деятельности сине-зеленых водорослей.

М.А.Глазовская, исследуя элювиальные рыхлые корочки выветривания хребта Терскей-Алатау (Тянь-Шань), обнаружила присутствие в них зеленых водорослей Chlorococcum и Chlorella, одноклеточных сине-зеленых Gloeocapsa, а также нитчатых сине-зеленых водорослей. Очень часто вокруг нитей последних из них находились скопления кристаллов кальцита, которые, как панцирь охватывали их нити. Экспериментально доказано, что колонии сине-зеленых водорослей, обволакиваясь слизью бактерий, сожительствующих с ними, выделяют кристаллы кальцита. По данным М.А.Глазовской, в условиях эксперимента стяжения кристаллов кальцита занимали больше 50% площади препаратов с колониями водорослей. Таким образом, образование кальцита в данном случае идет биогенным путем. В выветрелых корках гранита из нивального пояса

хребта Терской-Алатау, а также в такировидных поверхностях высокогорного загара были обнаружены окрашенные окислами железа клетки зеленых водорослей и скопления мелких диатомовых водорослей. Экспериментальные исследования М.А.Глазовской (1950) позволили ей предположить, что зеленые водоросли принимают активное участие в накоплении гидратов окислов железа в пленках высокогорного загара. Источником железа могут служить железосодержащие минералы, входящие в состав гранита.

Б.Б.Полынов (1952) и другие исследователи первых стадий почвообразования на скальных породах установили, что под воздействием живых микроорганизмов и лишайников происходит разрушение пород и образование органических, органо-минеральных и минеральных вторичных соединений. Они состоят из аморфных опаловидных форм кремнезема, гидроокиси железа, вторичных глиноподобных минералов, свойствами напоминающих монтмориллонит, бейделлит, серицит. Скальные микроорганизмы концентрируют из рассеянного состояния такие зольные вещества, как калий, фосфор, кальций, сера, магний, медь.

По данным Б.Б.Полынова, лишайники, поселившиеся на поверхности массивно-кристаллических пород, поглощают химические элементы селективно (избирательно). "Ряды поглощения", составленные Б.Б.Полыновым для лишайников, развитых на гранитах и близких к ним породах, имеют следующий вид: P, S, Ca/K, Na, Mg, Mn/Fe, SiO_2/Ti, Al. Лишайники оказывают особенно сильное влияние на разрушение слюды, авгита, роговой обманки, плагиоклаза. Слабее разрушаются калиевый полевой шпат и анортит.

Лишайники в числе первых появляются на обнаженных скалах и камнях. Грифы лишайника, проникая на несколько миллиметров в глубь породы, разрыхляют ее и окрашивают в пестрые цвета. Первыми поселяются на скалах накипные лишайники. Крепко внедряясь в породу, они рыхлят ее и разрушают механически и химически. Подготовленный таким образом субстрат становится пригодным для заселения "листовными" лишайниками, под которыми всегда уже имеется тонкий слой коричневого порошкообразного вещества. В дальнейшем субстрат заселяется мхами на трупах лишайников. Под ними находится еще более значительный слой темного мелкозема, так называемый "мелкозем под мхом". Трещины скал, заполняясь таким темным порошкообразным материалом, становятся областью распространения корней "скальных" сосен. Материал этот представлен смесью продуктов гумификации лишайников и мхов, а также остаточных элементов породы, разрушенной мхами и лишайниками после изъятия из нее минеральной "пищи" организмами. Все это указывает на огромную роль низших организмов в биохимическом выветривании пород, образовании коры выветривания и почв.

По мнению В.И.Вернадского, минералы каолиновой группы из коллоидной фракции почв обязаны своим происхождением жизнедеятельности микроорганизмов (бактерий, грибов). Обменную способность почв В.И.Вернадский также связывает с биохимической ролью организмов. К.К.Гедройц (1933) придерживается мнения, что обменные взаимодействия катионов в почве тесно связаны с жизнедеятельностью организмов.

5. Биогеохимические эндемии растений

Все химические элементы, которые образуют растворимые в воде соединения, попадают из пород и почвы в растительные организмы, поэтому естественные химические и геохимические факторы внешней среды оказывают очень большое влияние на рост и развитие растений, на их химические и морфологические особенности.

Формирование химического состава растений, произрастающих в естественных условиях, происходит при одновременном воздействии многих факторов, наиболее важным из которых является содержание химического элемента в питающей среде. Почва занимает центральное звено в экосистеме и в биогенном круговороте химических элементов. Главным источником образования и накопления химических элементов в ней является материнская порода. Существование тесной зависимости между содержанием элементов в почвах и почвообразующих породах было отмечено рядом авторов, которые показали, что, несмотря на то, что в процессе длительного почвообразования происходит известное перераспределение химических элементов исходной горной породы, специфические свойства и особенности в химии элементов почвообразующих пород практически всегда сохраняются в почвах, которые генетически связаны с ними (Виноградов, 1957; Малюга, 1963; Ковда, Якушевская, Тюрюканов, 1958; Лукашев, Летухова, 1970).

Химический состав почвообразующих пород характеризуется значительной изменчивостью. Так, согласно В.В.Ковальскому (1974), только в главных почвообразовательных породах среднее содержание меди колеблется в 68–34 раза (четвертичные отложения — третичные известняки, пески), цинка в 170–25 раз (андезито-базальты, песок, супеси), бора — в 500 раз (морские глины—ультраосновные породы), молибдена— в 35 раз (четвертичные—ультраосновные породы), йода — около 100—450 раз (моренные пески — ультраосновные породы, известняки).

Различия в содержании химических элементов в почвах еще более значительны (Ковальский, 1970). При среднем содержании меди, равном $2{,}5 \cdot 10^{-3}\%$, уровень ее в различных типах почв изменяется примерно в 1500 раз (от $0{,}1 \cdot 10^{-4}$ до $154 \cdot 10^{-4}\%$). Среднее содержание цинка в почвах составляет $7{,}5 \cdot 10^{-3}\%$, но оно может изменяться в 2, а в отдельных образцах – в 1000 раз (например, содержание в черноземных почвах колеблется от $0{,}1 \times 10^{-3}$ до $0{,}9 \cdot 10^{-3}\%$). Такие же изменения характерны для кобальта, бора, марганца, стронция, молибдена, йода.

Как уже указывалось, растения и среда взаимосвязаны. От наличия и концентрации химических элементов в почве зависит нормальное развитие и жизнеспособность растительных и животных организмов.

Одним из наиболее интересных вопросов геохимической экологии является количественное определение недостаточности или избыточности химических элементов в ландшафтах и в биосфере в целом. При этом под нормальным содержанием химического элемента в среде, его избытком или недостатком понимается не только геохимическая, но и биологическая его природа — определяется чувствительность и приспособленность организмов к различным концентрациям элементов, их соотношениям и ответным биологическим реакциям на повышенное или пониженное содержание элемента в среде (Ковальский, 1973).

В условиях недостатка или избытка в почвах определенных химических элементов растения проявляют физиологическую и морфологическую изменчивость (рис.59). У растений, не адаптированных к измененным концентрациям химических элементов в среде, появляются физиологически угнетенные формы ($П A_1 а$), возникают эндемические заболевания ($П A_2$), под влиянием которых появляются признаки угнетения, нарушается генеративная функция, наблюдается бесплодие и вымирание.

В табл. 38 представлены физиологические и морфологические изменения ра-

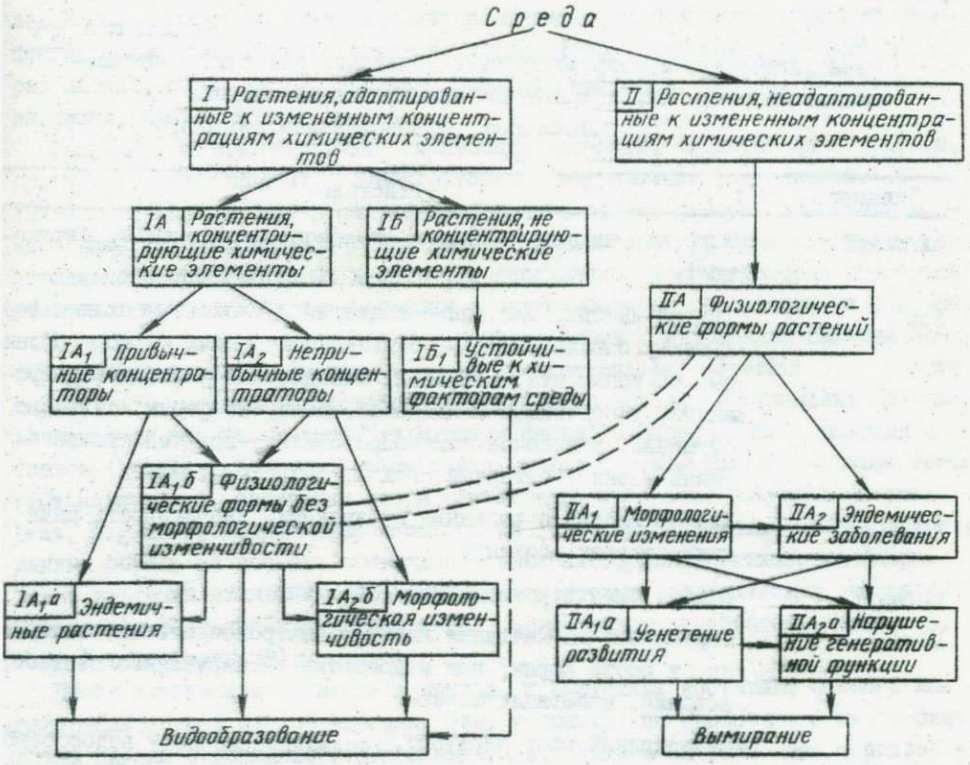


Рис.58. Реакции организмов растений на содержание химических элементов в среде

стений в условиях избыточного содержания некоторых химических элементов. Наиболее широко распространенными заболеваниями растений являются хлорозы и некрозы, характерные и для растительности Белоруссии. Хлороз растений выражается в разрушении хлорофилла и обесцвечивании хлоропластов: листья и органы становятся желтовато-зелеными, желтыми или почти белыми. Причиной заболевания часто являются дефицит доступного растениям железа в почве или отложение железа в растении. Некроз растений — отмирание клеток или тканей — проявляется в виде пятнистости. Согласно В.В.Ковальскому (1974), хлорозы и некрозы вызываются следующими элементами: S, Mn, Fe, B, Cu, Ca, Mg, Mo, Zn, Ni, Al, Pl, V, Hg, Cr, Co, K, Na, Cl и др. Некоторые элементы, в частности S, Mn Cu, B, Ca, Mo, Zn могут вызывать хлороз как

при избытке, так и при недостатке его содержания в среде.

На территории республики встречаются также эндемические заболевания растений: "полегание злаков" и "болезнь обработки", вызванные недостатком в почве меди; "гниль корня" у капусты, сахарной свеклы вследствие недостатка бора и др.

В провинциях с повышенным содержанием бора широко распространено галлообразование — патологические новообразования на некоторых частях растений. Галлы нарушают нормальное питание растения, замедляют его рост и развитие.

Таблица 38

Физиологические и морфологические изменения растений, обусловленные избытком или недостатком химических элементов

(H.L.Cannon с дополнением авторов)

Элемент	: Действие
Алюминий	Короткие шишковатые корни, покоробленные листья, пятнистость
Бор	Темная листва, засыхание соцветий и плодов, усыхание верхушек у бобовых, при высоких концентрациях — покоробленные по краям старые листья, замедленный рост, деформированные, укороченные междоузлия, ползучие формы, сильное опушение, усиленное галлообразование; при недостатке — гниль корня у сахарной свеклы, капусты, томатов
Хром	Желтые листья с зелеными прожилками, карликовость ряда дикорастущих растений
Кобальт	Белые, омертвевшие пятна на листьях
Медь	Нарушенная пигментация листьев, багровые стебли, задержанные в росте корни; при недостатке — нарушенное плодообразование, полегание злаков
Железо	Задержанный рост верхушки, утолщенные корни; у водорослей — образование сильно увеличенных клеток в результате нарушения их деления; при недостатке — нарушение пигментации
Марганец	При избытке — задержанный рост растения, желто-оранжевая окраска; при недостатке — измененная окраска листьев и органов растений
Никель	Белые омертвевшие пятна на листьях, безлепестные бесплодные формы; недоразвитие генеративных органов; карликовость ряда растений
Уран	Аномальное число хромосом в ядре, плоды необычной формы, безлепестные бесплодные формы, собранные в розетку листья, карликовость.
Цинк	Нарушение пигментации, карликовые формы растений, задержанный рост корней; при недостатке — нарушение плодообразования, полегание злаков

Однако не все особи растений одного вида, растущие в одних и тех же геохимических условиях, одинаково реагируют на избыток или недостаток химических элементов в среде. Некоторые хорошо приспосабливаются к условиям. Это прежде всего те виды растений, которые длительный период времени произрастают в данной местности и в результате естественного отбора приобретают устойчивость к неблагоприятным условиям. Среди них выделяют растения, концентрирующие химические элементы и не концентрирующие их (Ковальский, 1974). Есть растения, которые в силу своих физиологических особенностей не накапливают элементы в больших количествах, несмотря на их избыток в почве. В большинстве же случаев адаптированные формы являются хорошими концентраторами химических элементов: лития, фтора, алюминия, кремния, фосфора, магния, серы, хлора, кальция, ванадия, марганца, железа, кобальта, меди, цинка, брома, йода и др.

Растения, концентрирующие химические элементы, делятся на 2 группы: привычных, или типичных, концентраторов и непривычных (Ковальский, 1973). Типичные концентраторы в силу своеобразного обмена веществ извлекают значительные количества химических элементов даже при условии среднего или нормального содержания их в почве; к непривычным концентраторам относятся растения, концентрирующие элементы в зависимости от содержания их в почве.

В природе встречаются растения-концентраторы с узколокализованным ареалом распространения, например, кичим (Gypsophilla patrinii), характерный для медных месторождений Алтая. На почвах, обогащенных цинком, развивается так называемая "галмитская флора" с определенным видовым составом (Viola Lutea, var.calaminaria, Thlaspi calaminaria, Alsine verna V.Calaminaria), оловянная флора (Trientalis europaea, Gnaphallium suaveolens, G.gualea, Semperoivum soboliferum), распространенная на выходах оловянных пород; на почвах, обогащенных алюминием, развита квасцовая флора. Такие растения являются растениями-индикаторами геохимических аномалий. Существуют растения-индикаторы мела, известняков, доломитов, гранитов, глин и т.д. (табл.39).

Часто химические элементы в почвах и растениях достигают большей концентрации, чем в месторождениях. Так, например, по сравнению с месторождениями никеля содержание этого элемента в почвах в 63 раза выше нормы, в растениях — в 30 раз (Малюга, 1963). В табл. 40 показано, что содержание ванадия, никеля, меди, цинка, молибдена, свинца в золе растений может повышаться в 100 раз по сравнению с месторождениями, хрома в 200, марганца и урана — в 1000 раз (Виноградов, 1957). Таким образом, биогеохимический метод поисков рудных месторождений имеет и несомненно будет иметь в будущем большое практическое значение. В качестве поисковых критериев используются морфологические, флористические, фитоценотические и физиологические индикаторные признаки (Виноградов, 1964; К.И.Лукашев, В.К.Лукашев, 1967).

Исключительно велико значение изучения биогеохимических эндемий растений для сельского хозяйства, в частности для внесения в почву макро- и микроудобрений, борьбы с заболеваниями и патологическими изменениями растений, связанными с избытком или недостатком определенных химических элементов, интродукции растений, повышения биологической продуктивности культурных растений и т.д.

Таблица 39

Растения — концентраторы рудных элементов

Растение	Элемент	Содержание в золе, %
Alyssum bertolonii (L.)	Ni	I0
Alyssum murale	Ni	>I0
Pulsatilla patens (L.) Mill.	Ni	$3 \cdot I0^{-2}$
Linosyris villosa Benth et Hook	Ni	$6 \cdot I0^{-2}$
Alnus glutinosa Gaerth	Ni	$2,3 \cdot I0^{-2}$
Viscaria alpina (L.) G. Don.	Cu	$5 \cdot I0^{-2}$
Cicuta virrosa (L.)	Cu	$I \cdot I0^{-2}$
Melandrium dioicum (L.)	Cu	$5 \cdot I0^{-2}$
Viola lutea Huds var. calaminaria Lej	Zn	>I
Thlaspi calaminare Lej et Cur	Zn	>I
Trifolium pratense (L.)	Mo	$>I \cdot I0^{-I}$
Sanguisorba officinalis (L.)	Mo	$I \cdot I0^{-I}$
Astragalus declinatus	Mo	$>I \cdot I0^{-2}$
Juniperus monosperma	U	$I \cdot I0^{-2}$
Pinus edulis (L.)	U	$8,8 \cdot I0^{-3}$
Polygonum hidropiper (Z.)	U	$2 \cdot I0^{-3}$
Equisetum palustre (L.)	Au	$6,I \cdot I0^{-2}$
Juneus Gerardi Hois	U	$2 \cdot I0^{-2}$

Таблица 40

Содержание некоторых металлов в золе обычных растений и растений, произрастающих над месторождениями (по А.П.Виноградову)

Металл	Содержание металлов, %		Степень концентрации
	в обычных растениях	в растениях, произрастающих над месторождениями	
Ванадий	$\sim 5 \cdot I0^{-4}$	$\sim n \cdot I0^{-2}$	I00
Хром	$\sim 5 \cdot I0^{-4}$	$\sim I \cdot I0^{-2}$	200
Марганец	$\sim I \cdot I0^{-2}$	$\sim$ I0	I000
Кобальт	$4 \cdot I0^{-4}$	$5 \cdot I0^{-3}$	I0
Никель	$\sim I \cdot I0^{-3}$	$n \cdot I0^{-2}$	I00
Медь	$\sim 5 \cdot I0^{-3}$	$n \cdot I0^{-I}$	I00
Цинк	$\sim I \cdot I0^{-2}$	I,0	I00
Молибден	$\sim 5 \cdot I0^{-4}$	$n \cdot I0^{-2}$	I00
Свинец	$\sim I \cdot I0^{-4}$	$I \cdot I0^{-2}$	I00
Уран	$\sim I0^{-6}$	$n \cdot I0^{-2}$	I000

6. Роль геохимических процессов в образовании биомассы и органического вещества

Известно, что биомасса представляет собой совокупность всех организмов экосистемы (выражается в весовых или энергетических единицах), а биопродуктивность — скорость продуцирования биомассы (она может быть первичной и вторичной, валовой и чистой). Чистая продукция экосистемы — чистый прирост энергии — составляет разницу между энергией валовой продукции и энергией, используемой в процессе дыхания. За счет чистой продукции увеличиваются ресурсы экосистемы. Организмы, которые посредством фото- или хемосинтеза накапливают энергию в виде органических соединений (углеводов, белков, жиров и др.), созданных из минеральных веществ, известны как продуценты в отличие от консументов. Последние или питаются этими органическими веществами, или разлагают сложные составные компоненты биовещества и освобождают простые вещества для использования их продуцентами (бактерии, грибы и др.).

Биомасса в целом создается в результате фотосинтеза, потребления растительной пищи животными и разложения органических остатков гетеротрофными организмами (сапрофитами). Количественные масштабы биологической продуктивности живых организмов, воспроизводства и плотности различны в зависимости от численности видов организмов (автотрофных, гетеротрофных), скорости размножения, продолжительности жизни и других условий и факторов.

При подсчетах биомассы планеты приводятся разные цифры. В.И.Вернадский (1967) определяет вес живого вещества в 10^{13}—10^{14} т, В.А.Ковда (1971) — в 10^{12}—10^{13} т. По подсчетам других авторов (Базилевич и др., 1971), оно составляет примерно $2{,}42 \cdot 10^{12}$ т и почти в 750 раз превышает живое вещество Мирового океана, на которое приходится лишь $0{,}0032 \cdot 10^{12}$ т общей биомассы живого вещества. Первичная (годичная) продукция всей планеты составляет $232{,}54 \cdot 10^{9}$ т органического вещества, в том числе на долю наземных растительных сообществ приходится около 74% ($171{,}54 \cdot 10^{9}$ т). Основная их доля (около 80%) приходится на тропический пояс, где только почвенно-растительные формации гумидных областей производят $77{,}32^{9}$ т, или 45% продукции всей суши. Второе место занимает субтропический пояс (около 20%). Минимальную годичную продукцию дает полярный пояс ($1 \cdot 10^{9}$ т). В табл. 41 приводятся более подробные сведения (по Базилевич и др., 1971).

Из основных экосистем суши и моря (в граммах вещества за сутки, по Одум, 1967) наиболее продуктивны эстуарии, наземные сообщества на аллювиальных равнинах, интенсивное круглогодичное земледелие (10—25), влажные леса и луга, поливные культуры, мелкие озера (3—10), воды континентального шельфа, глубокие озера, степи, горные леса (0,5—3,0), глубины океана и пустыни (<0,5).

В образовании биомассы и органического вещества ландшафтов исключительно велика роль геохимических процессов. С ними связаны разрушение минерального и органического вещества с образованием неорганических и органических кислот, газов, комплексных соединений, миграция химических элементов и их соединений в ландшафтах, рассеяние и накопление их в форме различных минеральных и органо-минеральных продуктов биосферы и т.п.

Таблица 41

Площади, фитомасса и годичная продукция Земли (сухой вес)

Термические пояса и биоклиматические области	Площадь		Фитомасса			Годичная продукция		
	10^6 км^2	% от площади суши	средняя, т/га	всего, 10^9 т	% от площади суши	средняя, т/га	всего, 10^9 т	% от площади суши
Полярные гумидные и сегумидные	8,05	6,0	I7,I	I3,7	0,6	I,6	I,33	0,8
Бореальные гумидные и сегумидные	23,20	I7,4	I89,2	439,06	I8,3	6,5	I5,I7	8,8
Суббореальные:								
гумидные	7,39	5,5	342,0	253,58	I0,5	I2,6	9,34	5,4
семиаридные	8,I0	6,I	20,8	I6,85	0,7	8,2	6,64	3,9
аридные	7,04	5,3	II,7	8,24	0,3	2,8	I,99	I,2
Субтропические:								
гумидные	6,24	4,7	366,I	278,42	9,5	25,5	I5,82	9,3
семиаридные	8,29	6,2	98,7	8I,90	3,4	I3,8	II,49	6,7
аридные	9,73	7,3	I3,9	I3,58	0,6	7,3	7,I4	4,I
Тропические:								
гумидные	26,50	I9,9	440,4	II66,I7	48,6	29,2	77,32	44,9
семиардинные	I6,0I	I2,0	I07,4	I7I,96	7,I	I4,I	22,59	I3,2
аридные	I2,84	8,6	7,0	9,0I	0,4	2,0	2,62	I,7
Суша (без ледников, озер и рек)	I33,4	I00,0	I80,I	2402,5	I00,0	I2,8	I7I,54	I00,0
Ледники	I3,9	–	0	0	–	0	0	–
Озера, реки	2,0	–	0,2	0,04	–	5,0	I,0	–
Континенты (в целом)	I49,3	–	I60,9	2402,54	–	II,5	I72,54	–
Океан	36I,0	–	0,005	0,I7	–	I,7	80,0	–
Планета (в целом)	5I0,3	–	47,I	2402,7I	–	4,5	232,54	–

При геохимическом круговороте вещества и энергии через живые организмы проходит большинство химических элементов, которые после использования вновь участвуют в круговороте и образовании живого вещества и его многообразной биогеохимической деятельности. Все это составляет звенья цепи сложных биосферных процессов, которые В.И.Вернадский назвал геохимической энергией жизни в биосфере.

В числе геохимических и биохимических процессов и реакций, играющих роль в образовании биомассы фитоценозов, необходимо отметить главные: фотосинтез, хемосинтез, метаболизм (обмен веществ), связанные с ними реакции биохимического и биогеохимического синтеза и превращения продуктов фотосинтеза; газогеохимический обмен между организмами и окружающей средой; гидрогеохимический обмен между организмами и веществом водных растворов и т.д. Среди геохимических реакций, регулирующих поведение кислорода и водорода и определяющих фундаментальное значение этих элементов в процессах фотосинтеза, важнейшую роль играют реакции гидрогенерирования и дегидрогенерирования (присоединение и отнятие атомов водорода), гидратации (присоединение воды), оксигенерирования (прямое присоединение кислорода). При биологическом окислении кислород действует как акцептор атомов водорода, при этом не происходит его оксигенерирования. Молекулярный кислород самопроизвольно реагирует с органическими соединениями и другими восстановленными веществами. При фотосинтезе атомы углерода из CO_2 включаются в различные системы и выделяются в разных местах цикла образования продуктов.

В работе авторов (Лукашев, Вадковская, 1973) геохимические процессы фотосинтеза, связанные с ними формы биогенной миграции химических элементов и образование живого вещества за счет мобилизации абиотических компонентов минерального питания названы фотобиогеохимическими. Космоэнергетические факторы миграции материи в этих процессах играют самую выдающуюся роль.

Сущность фотосинтеза в простой схеме сводится к следующему. Солнечный свет и энергия поглощаются пигментами растений (их хлорофиллом), при этом биогеохимические процессы из неорганических веществ (вода, углекислота, различные химические элементы) синтезируют сложные органические вещества. Эти процессы протекают при участии многообразных окислительно-восстановительных реакций между собой и углекислотой, где последняя служит окислителем, а вода — восстановителем. Хлорофилл с помощью поглощений световой энергии поддерживает поток электронов, идущий от воды к углекислоте. В процессе фотосинтеза происходит разложение воды, приводящее к выделению свободного кислорода в атмосферу и использованию водорода на восстановление CO_2 и других окислителей. Второй важнейшей геохимической особенностью фотосинтеза является образование биологического вещества из абиотических элементов путем ассимиляции, в результате которой избирательно поглощаются различные химические элементы и синтезируются сложные органические соединения: углеводы, белки, жиры и др.

Исследования в области фотосинтеза широко ведутся во многих странах. В Советском Союзе выдающийся вклад в разработку этих вопросов внесли К.А.Тимирязев (1948), Т.Н.Годнев (1963), А.А.Ничипорович (1973), А.А.Шлык (1965) и др.

В то время как с фотобиогеохимическими процессами связано образование

первичного живого вещества биосферы, биогеохимические процессы и реакции, обусловленные деятельностью организмов, вызывают распад биовещества, его минерализацию и преобразование в разные вторичные органические и неорганические продукты. Главными действующими агентами биогеохимических процессов являются гетеротрофные микроорганизмы, которые разрушают биовещество и используют для питания готовые органические продукты. В ходе разложения биовеществ протекают процессы выветривания, тления, минерализации. Одновременно выделяются и ассимилируются минеральные соли и газообразные продукты. Белковые вещества разрушаются с выделением аминокислот, аммиака, органических соединений жирного и ароматического ряда. Не исключается одновременное накопление оксикислот. Некоторые биогеохимические процессы и реакции связаны с микотрофными организмами — хемосинтезирующими бактериями (нитрифицирующие, серобактерии, железобактерии и др.), при участии которых широко протекают реакции преобразования вещества. При хемосинтезирующих реакциях в зависимости от видов бактерии используют CO_2, H_2O, H_2S, NH_3, O, H и другие химические соединения и компоненты.

В геохимических и биохимических реакциях исключительно важную роль играет способность химических элементов переходить из твердого физико-химического состояния в ионизированное и газообразное, из окислительного — в восстановительное и обратно; избирательно участвовать в функциональных и физиологических системах организмов; образовывать биоорганические, металлорганические и органоминеральные соединения и др.

В.И.Вернадским (1967) в числе главных образований биосферы выделены живое (весь органический мир), органическое и органо-минеральное (разнообразные биолиты) и биокосное (водозные воды, минералы, почвы) вещества. В них отражается специфика геохимических (биогеохимических) процессов, участвующих в формировании состава и свойств биогенных продуктов, возникающих из разных источников и разными путями и способами.

Как основные биогенные мигранты в ландшафтах важное геохимическое значение, согласно Э.Т.Дегенсу (1967), имеют аминосоединения (аминокислоты, пептиды, белковое вещество), углеводы и их производные (моносахариды, олигосахариды, полисахариды, пиран, фуран, целлюлоза, хитин), липиды, изопреноиды и стероиды (жиры, воски, трепены, стеролы, каротиноиды и др.), гетероциклические соединения, содержащие кислород, азот, серу и другие элементы.

В настоящее время из осадочных пород, почв и природных вод выделено более 500 органических соединений (в них не входят органические вещества, получаемые из угольных смол и нефтей). Ими, вероятно, не исчерпывается список органических соединений земной коры (Дегенс, 1967).

Чем менее устойчивы химические соединения в органическом веществе, тем более они подвижны в биосфере. Так, углеводы и органические кислоты хорошо растворимы в воде и довольно легко вымываются из растительных остатков при их разрушении; смолы, жиры, дубильные вещества, масла, воск менее растворимы в воде и более устойчивы к воздействию на них микроорганизмов. В разной форме они сохраняются в осадочных породах.

Целлюлоза (клетчатка) легко разлагается ферментами, выделяемыми почвенными микроорганизмами, образуя углекислоту, водород и метан. Лигнин — главная составная часть древесины — является наиболее устойчивой частью рас-

тительных остатков. В противоположность клетке он не гидролизуется под действием кислот, но легко окисляется кислородом воздуха.

Воздействие биохимических процессов вызывает распад и разложение органических остатков биосферы на простые минеральные соединения (углекислоту, воду, простые соли и др.), образование и синтез новых органических соединений (например, гуминовых веществ, смол, воска и т.д.), высвобождение отдельных химических элементов и накопление или рассеяние их в породах, почвах и природных водах. Совершается циклический и вместе с тем поступательный процесс обмена минеральными веществами между организмами и средой их обитания.

Большую роль в образовании органических продуктов земной коры играет та часть биологического круговорота вещества, которая не поглощается новыми организмами и появляется в результате отложения в осадочной оболочке. В необратимых процессах биологического круговорота видное место занимают кремний, углерод, кислород, кальций, фосфор, сера, азот, магний. С ними связаны месторождения угля, нефти, битумов, горючих сланцев, фосфатов, органической серы и др.

Необходимо особо подчеркнуть, что в настоящее время на биопродуктивность растительных сообществ большое влияние оказывает хозяйственная деятельность человека, использование новейших достижений научно-технического прогресса. Как отмечалось выше, широко осуществляются мелиоративные работы в аридных и гумидных областях суши, увеличивается использование химических средств для повышения продуктивности естественных и культурных растений, появляются новые виды растений, более устойчивые к холоду и засухе, менее подверженные заболеваниям, эффективно реагирующие на удобрение, более урожайные и богатые белком.

В Белоруссии вопросам повышения биопродуктивности естественной и культурной растительности уделяется большое внимание. Для этого широко проводится мелиоративные мероприятия, расширяется лесонасаждение с интродукцией новых видов растений, выводятся и внедряются в сельскохозяйственное производство новые сорта культурных растений, увеличиваются нормы внесения в почву минеральных удобрений, применяются микроудобрения, изучаются эндемические заболевания растений, увеличивается использование химических и биологических средств для борьбы с вредителями растений и др.

К сожалению, пока еще мало изучены проблемы геохимической экологии.

7. Некоторые вопросы фитоэкологического изучения ландшафтов

В настоящее время в результате изучения геохимических и биогеохимических провинций получила развитие (как отрасль геохимии) геохимическая экология. Среди достижений советских биогеохимиков — биогеохимическое районирование ландшафтов с целью выделения биогеохимических провинций с нормальным, недостаточным и избыточным содержанием элементов в почвах, природных водах и организмах животных и растений, установление взаимосвязи между развитием растений и животных и содержанием химических элементов в ландшафтах.

Главной задачей фитоэкологической геохимии является исследование закономерностей состава, развития и распределения фитоценозов в ландшафтах,

их взаимоотношений с неорганической средой и биогеоценозами, частью которых они являются, а также изучение видовой эволюции фитоценозов в зависимости от геохимических параметров среды и др.

Эколого-геохимическое исследование фитогеохимических процессов должно включать также изучение концентрации химических элементов в отдельных видах растений и фитоценозов, содержание этих элементов в кормовых растениях и пищевых веществах, обеспечивающих нормальное развитие организмов. В биологическом аспекте необходимо изучать реакции, вызываемые избытком или недостатком химических элементов в растениях и почвах, их пороговые концентрации (чувствительность), патологические и специфические заболевания растений, вызванные геохимическими особенностями ландшафта, адаптацию растений к экстремальным геохимическим факторам среды и др.

При этом большое внимание должно уделяться фитогеографическому изучению геохимических процессов с целью выделения регионов и провинций фитоценозов, характеризующихся различными геохимическими ландшафтами, миграцией в них различных химических элементов, накоплением последних в отдельных растениях, видах и сообществах. Необходимо устанавливать пороговые значения накопления определенных химических элементов в одних и тех же видах растений, произрастающих на водоразделах, склонах, долинах, в водоемах, на различных генетических типах почв и в разных гумидных условиях; районировать растительные сообщества на основе принципов эколого-ботанической географии.

Глава УШ. ЗООЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛАНДШАФТАХ БИОСФЕРЫ

I. Сообщества животного мира и экосистемы

Популяции животных (зооценозов), входящие в биомы (сложные биологические совокупности) и экосистемы (сообщества организмов и среды), изучает зооэкология.

В биологии популяции как элементарные формы существования видов в природных условиях занимают особое место. Они представляют основную структурную единицу биоценозов и биогеоценозов, в состав которых входят. Популяции отражают динамику численности видов и особей и их изменение в ходе развития биогеоценозов. С ними связана конкретная биогеохимическая деятельность по использованию энергии, биотических и абиотических компонентов ландшафтов.

Н.В.Тимофеев-Ресовский и др.(1973) считают, что популяционные исследования важны для изучения фено- и генофондов культурных растений и домашних животных; построения фено- и геногеографических карт по разным видам культурных растений и животных; рационального исследования основ селекции, интродукции и акклиматизации различных видов культурных растений, домашних животных и их диких предков и родственников; разработки основ промыслового дела в широком смысле слова (лесные, зверобойные, охотничьи, рыбные и другие промыслы); решения ряда паразитологических, эпизоотических и эпидемиологических проблем; выявления практически возможных наследственных признаков и свойств в различных группах особей, в том числе и у человека.

Велико значение популяционных исследований для разработки мероприятий по эффективной охране природы в целом и ресурсов различных видов живых организмов, а также для повышения производительности биосферы.

В геохимическом аспекте изучение популяций и биоценозов представляет большой научный и практический интерес для установления геохимических изменений в абиотическом, биотическом и энергетическом круговоротах вещества в ходе развития биосферы, ландшафтов и экосистем; определения палеогеохимических рубежей последовательной смены одних биоценозов другими и формирования новых биогеоценозов (экосистем); выявление количественной и качественной роли конкретных видов и особей популяций и биоценозов в абио-

тическом и биотическом процессах биосферы и ландшафтов. Все это имеет большое значение при изучении палеогеохимических проблем эволюции биосферы и ландшафтов на разных уровнях (местном, региональном, планетарном) и при использовании популяций, биоценозов и биогеоценозов в качестве индикационных признаков геохимической среды экосистем.

Как известно, палеогеографические корреляции осадкообразования прежних геологических эпох основаны на изучении палеонтологических остатков ископаемых животных — индикаторов определенных условий экологической среды.

В геохимической цепи трофических уровней и взаимодействий между продуцентами (автотрофами), консументами и разлагателями (гетеротрофами) микрофауна, особенно почвенная (дождевые черви, насекомые, их личинки и др.), играет очень большую роль в замкнутом энергетическом и биогеохимическом циклах. Почвенная микрофауна разрушает минеральное и органическое вещества и преобразует их в новые минеральные, органо-минеральные и биоорганические формы; вовлекает в круговорот химические элементы литосферы, атмосферы, гидросферы и живого вещества биосферы с образованием различных продуктов хемо- и биосинтеза; ускоряет минерализацию органических осадков и помогает нейтрализации образующихся при этом органических кислот. Крупные землерои выносят на поверхность почвы различные минеральные образования материнских пород, изменяют химический состав горизонтов А; их ходы способствуют просачиванию в почву воды и играют важную роль в создании водного режима. Почвенная фауна влияет не только на механизм микробиологических процессов, но и на скорости течения реакций, интенсивность биогеохимического обмена, биогеохимические процессы ризосферы, т.е. корневой системы растений. Она способствует активной деятельности клубеньковых бактерий, выделению продуктов метаболизма и др. В образовании геохимических фаций земной коры особенно видную роль играют коралловые образования морских известковых организмов (полипов) и меловые отложения, в состав которых входят кокколиты, фораминиферы, мшанки, иглокожие и др.

В настоящее время выделяется около 1,5 млн. видов животных. В их числе 356000 видов позвоночных (18000 — рыб, 8600 — птиц, 5500 — рептилий и амфибий, 3500 - млекопитающих); 815000 видов членистоногих; 25000 видов червей и червеобразных и т.д. (Dobzhansky , 1953). Все особи и виды, от микроорганизмов до высших представителей животного мира, связаны между собой и окружающей их средой трофическими, химическими, эдафическими и другими связями и выступают в качестве звеньев биотического круговорота вещества и энергии.

В составе современной фауны Белоруссии известно до 400 видов позвоночных животных, в том числе более 250 видов птиц, 60 видов млекопитающих, 50 видов рыб. Значительно меньше представителей пресмыкающихся и земноводных. Предполагают, что беспозвоночных животных в 15—20 раз больше, чем позвоночных (География Белоруссии, 1952).

На территории республики можно выделить несколько фаунистических комплексов, различных по распространению и происхождению (Сержанин, 1961). Первую, основную группу образуют виды, свойственные европейскому широколиственному лесу: обыкновенный еж, малая кутора, садовая и лесная сони, орешниковая соня, европейская желтогорлая мышь, лесная рыжая полевка, лесная куница, европейская норка и др. Во вторую группу входят виды, преобладаю-

щие в темнохвойных лесах, в третью — виды, характерные для тайги, широколиственных и смешанных лесов: обыкновенная и малая бурозубки, обыкновенная кутора, белка, водяная полевка, рысь, лось, глухарь, бурый медведь. Четвертая группа — группа широкораспространенных видов, встречающихся в разных природных зонах и на различных стадиях. К ним относятся лисица, волк, барсук, горностай, ласка, выдра. Пятый комплекс составляют степные и лесостепные виды: малая бурозубка, крапчатый суслик, заяц-русак, обыкновенный хомяк.

В соответствии с особенностями рельефа, почвы, климата, размещения растительности и связанного с ними животного мира в пределах Белоруссии И.Н. Сержаниным (1961) выделены две природные области: елово-широколиственных лесов и европейских широколиственных лесов, или Полесье.

Первая из них характеризуется большим разнообразием фауны. Здесь представлены почти все виды, свойственные территории Белоруссии: лось, косуля, благородный олень, дикий кабан, лисица, лесная куница, заяц-беляк, обыкновенная белка, горностай и другие. В реках и озерах водятся бобр, выдра, норка; из рыб — карповые, окуневые, лососевые. По данным Государственного комитета по охране природы Совета Министров БССР и Отдела зоологии АН БССР, в настоящее время на территории республики обитает около 8 тыс. лосей, 15 тыс. косуль, около 58 тыс. лисиц, 310 рысей, 354 тыс. зайцев-русаков и 153 тыс. беляков, 10—12 млн. кротов, 3—4 тыс. речных выдр, 20 тыс. речных бобров, 11—12 тыс. лесных куниц, 300—350 тыс. белок, 3,5 тыс. ондатр. Широко представлена фауна вредителей-насекомых: матовый и черный мертвоеды, свекловичная щитоноска, свекловичная тля, щелкун полосатый, злаковые мухи и луговой клоп, хлебный клещ, колорадский жук и др. Значение различных видов животных неодинаково: одни из них являются промысловыми (лось, кабан, бобр, лисица, крот, куница, заяц, белка и т.д.) другие как, например, мышевидные грызуны — вредители лесного и сельского хозяйства, переносчики заболеваний.

На развитие и распространение животного мира в республике большое влияние оказывает хозяйственная деятельность человека: мелиорация земель, трансформация растительного покрова, изменение гидрологического режима естественных водоемов, развитие звероводческих хозяйств. Изменение экологических условий болот, лесов, естественных угодий, особенно большое влияние оказывает на таких представителей орнитофауны, как белая куропатка, серый журавль, сокол-сапсан, орел-змееяд, большой и малый подорлики, глухарь, болотный кроншнеп, филин, болотная сова, черный аист, чернозобая гагара.

Благодаря принятым мерам по охране природы и развитию промыслового звероводческого хозяйства из года в год увеличивается численность лосей, кабанов, косуль, бобров, зубров и др. Во многих прудовых и озерных хозяйствах разводятся зеркальный и чешуйчатый карпы, амурский сазан, чудской сиг, карликовый сомик. Возрастает роль промыслово-охотничьих хозяйств, разведение в них пушных зверей и заготовка пушнины.

В то же время рост урбанизации, изменения структуры земельных площадей, мелиорация земель, влияющие на естественные экологические условия, ухудшают возможности развития популяций диких животных (лося, речного бобра, ондатры, норки, выдры). Осушение и освоение болот вызывает обеднение качественного и количественного состава насекомых и почвенной фауны. Часто

возрастает численность вредителей. Под влиянием ядохимикатов разрушаются экосистемы водоемов и снижается их продуктивность.

2. Роль зооценозов в абиотическом и биотическом круговоротах химических элементов в ландшафтах

Закономерности миграции химических элементов в биосфере невозможно выявить без изучения путей и механизмов их концентрирования и обмена в живых организмах, потребностей организмов в химических элементах, природы естественных соединений, слагающих организмы.

Геохимическое значение животного мира определяется рядом факторов — общей биомассой, принадлежностью к растительноядным или плотоядным биоценозам, физиологическими потребностями организма в химических элементах, интенсивностью размножения, плотностью популяций, видовой концентрацией в определенных условиях ландшафтов и др. Так, в условиях одной и той же геохимической провинции травоядные, плотоядные животные и животные, питающиеся смешанной пищей, получают различное количество химических элементов. Травоядные накапливают их значительно больше. При этом происходит отсеивание (снижение концентрации одних химических элементов) и накопление (повышение концентрации других).

Реакция организмов на действие химических элементов зависит от концентрации и соотношения этих элементов в среде и пороговой чувствительности к ним организмов (Ковальский, 1974). Если содержание химических элементов в среде и организмах переходит границы верхней или нижней пороговой чувствительности организмов, нарушается нормальная регуляция обмена веществ, проявляются эндемические болезни, вызываемые недостатком или избытком в среде определенных макро- или микроэлементов. Реакция организма зависит от степени концентрирования химических элементов в его тканях.

В табл. 42 представлено среднее содержание химических элементов в органах и тканях млекопитающих животных.

В первую группу включены химические элементы, постоянно содержащиеся в животных организмах, включающиеся в обмен веществ и состав химических соединений, часто биологически активных. Ко второй группе отнесены элементы, также постоянно содержащиеся в животных организмах, но их форма содержаний еще не изучена, физиологическая и биологическая роли мало выяснены или неизвестны.

В.В.Ковальский выделяет также третью группу, в которую входят химические элементы (Sc, Ti, Zr, Nb, Sn, Te, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Er, Yb, Re, Au, W), обнаруженные в составе организма, но для которых не определен порядок их содержания в тканях и органах и не выяснена их биологическая роль.

Согласно исследованиям В.А.Ковды (1971), в животных организмах содержится больше, чем в литосфере: H — на 10%, O — на 18%, S, Cl — в 2–2,5 раза, P — в 10 раз, N — в 132 раза, C — в 180 раз. В то же время в составе животных организмов по сравнению с литосферой содержится меньше: Ca — на 2%, Na , Mg, K, B — в 10—50 раз, Fe, Mn , F, Cu, As — в 100—255 раз , Pb — в 1000 раз, Si , Al , Ti — в десятки тысяч раз. Животные организмы содержат Na, Ca, P , N , S , F , Cl, Zn, гораздо больше и O, Si, Al, Mn, B, Pb , As значительно меньше, чем растения.

Таблица 42

Содержание химических элементов в организме млекопитающих

Порядок содержания, % на сухой вес	I группа	II группа	
		а	б
$n \cdot 10^{1} - n \cdot 10^{0}$	O, C, H, N, Ca	-	-
$n \cdot 10^{0} - n \cdot 10^{-1}$	P, K, Cl, Na	-	-
$n \cdot 10^{-1} - n \cdot 10^{-2}$	Mg	-	-
$n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-3}$	Zn, Fe	Sr	-
$n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-4}$	Cu	Cd, Br	Li, Cs
$n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-5}$	J	F	Sn
$n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-5}$	Mn, V	B, Si	Al, Ba, Cr
$n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-6}$	Mo	-	Rb
$n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-7}$	-	Be	Ag
$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-6}$	Co	Ni	Ga, Ge, As, Hg, Pb, Bi, Ti
$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-7}$	Se	-	Sb, U
$n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-7}$	-	-	Th
$n \cdot 10^{-11} - n \cdot 10^{-12}$	-	-	Ra

Нами (Вадковская, 1972) изучался состав химических элементов в некоторых органах бобров бассейна Сожа и Березины. Среднее содержание химических элементов в крови и печени изучаемых животных представлено в табл. 43 и 44.

Как следует из таблиц, в крови и печени бобров Березинской популяции выше содержание железа, кальция, титана, никеля, хрома, меди, магния, алюминия. У сожских бобров в указанных органах содержится больше марганца, кобальта, стронция, бария, ванадия.

Организмы используют элементы не пассивно, а избирательно, в соответствии с биологическими особенностями и выработанной в процессе эволюции характерной для них химической конституцией. Приспособление организмов к синтезу биологически активных соединений зависит от биохимической или физиологической индивидуальности, наследственной природы и онто- и филогенетической истории организмов.

В.В.Ковальский (1973) и другие исследователи установили, что характер накопления химических элементов организмами и обмен веществ у них зависят не только от содержания элементов в среде и биологического состояния организмов, но и от механизма пищевых цепей и их отдельных звеньев, показывающих биохимические пути миграции химических элементов в биосфере. На рис. 60 представлена схема биогеохимической пищевой цепи, в которой отражены непосредственные связи между живыми организмами и химическими элементами, геохимической средой и биогенной миграцией элементов.

Таблица 43

Среднее содержание микроэлементов в печени бобров сожской и березинской популяций, %

Река	Al	Fe	Ca	Mg	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	V	Cr	Ba	Sr
Сож	0,25	0,72	0,45	0,87	0,003	0,036	0,00028	0,00036	0,38	0,00058	0,013	0,0052	0,0009
Березина	0,24	I,67	0,55	0,90	0,008	0,030	0,000I5	0,00I6	0,42	0,00043	0,0I4	0,0046	0,0003

Таблица 44

Среднее содержание микроэлементов в крови бобров сожской и березинской популяций, %

Река	Al	Fe	Ca	Mg	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	V	Cr	Ba	Sr
Сож	0,09	0,88	0,45	0,35	0,0030	0,048	0,000I2	0,0022	0,0I9	0,000I	0,0003	0,0065	0,00I9
Березина	0,I5	I,49	0,59	0,3I	0,005I	0,035	0,000I	0,0023	0,0I6	0,00034	0,0008	0,00I5	0,00II

Знание закономерностей миграции химических элементов позволяет искусственно изменять ее и влиять на свойства живых организмов в желательном направлении. При этом перестраиваются пищевые цепи и создаются новые отношения между организмами и измененной геохимической средой.

Подтверждением этому могут служить исследования В.В.Ковальского и других по изменению кобальтовых пищевых цепей в рыбоводных прудах. В результате их доказано, что внесенный в водоем кобальт включается в биогенную миграцию различными звеньями пищевых цепей — иловой микрофлорой,

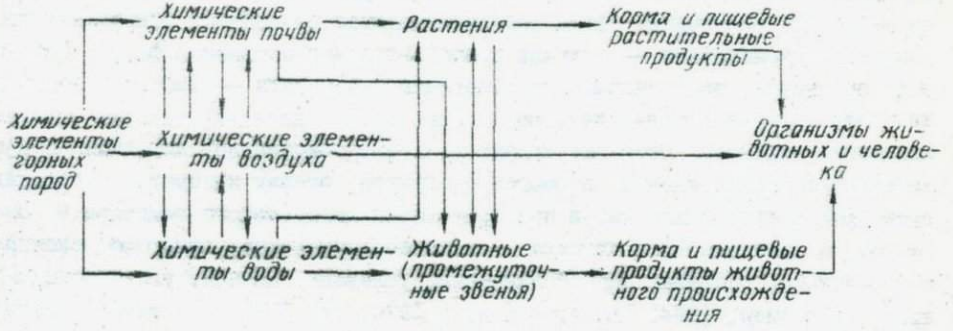


Рис.60. Биохимическая пищевая цепь (Ковальский, 1971)

планктоном и бентосом — путем вовлечения его в биосинтез витамина B_{12} и других кобальтсодержащих соединений. Это улучшает снабжение рыбы витамином B_{12} и приводит к повышению синтеза белка и жира, а в итоге — к значительному увеличению биомассы рыбы в прудах.

В перемещении химических элементов в почве известную роль играют млекопитающие землерои (кроты, сурки, суслики, песчанки и другие). В результате их деятельности на поверхность почвы выносится значительная часть элементов, откуда они выбывают вследствие происходящих элювиальных процессов. Согласно исследованиям Б.Д.Абатурова (1973), кроты в лесах с дерново-подзолистыми почвами ежегодно выносят на поверхность до 19 т/га почвы, в результате чего в верхнем ее слое в дубо-ельнике ежегодно прибавляется 53 кг/га железа, 0,5 алюминия, 27 кг/га кальция и магния.

Установлено влияние степных пеструшек в зоне светло-каштановых почв. Они разрыхляют верхнюю, осолонцованную часть почвенного профиля, что увеличивает *снабжение почвы поверхностными* водами и вымыванию солей. Малый суслик в глинистой полупустыне с солончаковыми солонцами с глубины 40—200 см выносит на поверхность 1,5 т/га почвы. В верхний слой почвы поступает 10 кг/га алюминия, 1 железа, 58 кальция, 8 серы и 24 кг/га легкорастворимых солей и других соединений (Абатуров, 1973). Большое количество химических веществ выносится на поверхность муравьями, термитами, слепышами, сурками.

Таким образом, деятельность землероев оказывает большое влияние на превращение и перемещение минеральных веществ в почвенном профиле.

Можно назвать и другие неорганические и органические продукты, связанные с деятельностью животного мира в ландшафтах: скелетные остатки позвоночных, трупы и экскременты животных (особенно в почвах); растворенное ор-

ганическое вещество в воде (особенно в Мировом океане, биологическая часть которого имеет животное происхождение); химические и биохимические продукты обмена, выделяемые во внешнюю среду (абиотические вещества, органические кислоты и газы).

Отмирание продуцентов (зеленых растений) и консументов (животных) различных трофических уровней играет большую геохимическую роль в биологическом круговороте вещества и энергии в биосфере. Например, деятельность почвенной фауны заключается в разложении растительных продуктов обитания на комплексные органические производные (первоначальная функция дождевых червей). Эти соединения затем перерабатываются почвенными бактериями, грибами и актиномицетами — важными представителями почвенной флоры. Почвенные организмы восстанавливают биогенные элементы — азот, фосфор, серу, кальций, калий и другие, которые в свою очередь используются для развития животного вещества. Особенно велика роль микробиоценозов животного и растительного происхождения в биогенезе гумуса, основу которого составляют гуминовые и фульвокислоты, в преобразовании минерального вещества в биогенное, а органического детрита — в биоорганическое вещество сложного комплексного состава: аминосоединения, углеводы, липиды, углеводороды и др. (Гельцер, 1974; Гилляров и др., 1974; Ли, 1974; Пьявченко, Козловская, 1974; Красильников и др., 1974).

Абиотический и биотический круговороты химических элементов, основанные на взаимодействии живого вещества и выполняющие разнообразные биогеохимические функции, являются важнейшей особенностью биосферы, ее организованности, гетерогенности и эволюции.

3. Ландшафтно-геохимические эндемии и заболевания

В настоящее время известно около 30 элементов, избыток или недостаток которых в организме приводит к различным заболеваниям. Многие из этих заболеваний приурочены к определенным районам, которые получили название биогеохимических провинций. Согласно А.П.Виноградову, это различные по величине области на Земле, тесно связанные с геохимическими провинциями и различающиеся определенными уровнями концентрации в организмах какого-либо химического элемента (избыточным, нормальным, недостаточным), с которым связаны биологические реакции.

В основе учения о биогеохимических провинциях лежит представление о миграции химических элементов в системе почва--растение—животный организм.

Изучение биогеохимических провинций разных зон и районов СССР позволило В.В.Ковальскому (1974) составить схематическую карту биогеохимических зон и провинций СССР, характеризующую районы изменений обмена веществ и распространения ряда эндемических заболеваний человека и животных (рис.61).

В СССР выделены территории с недостатком йода, меди, марганца, железа, кобальта; избытком кальция, бора, никеля, свинца, молибдена, селена, меди; недостатком меди при избытке молибдена и сульфатов; недостатком или избытком кальция при относительном избытке стронция и др.

Ландшафты черноземной зоны, в пределах которых не встречено заболеваний от избытка или недостатка химических элементов, принимаются как эталонные.

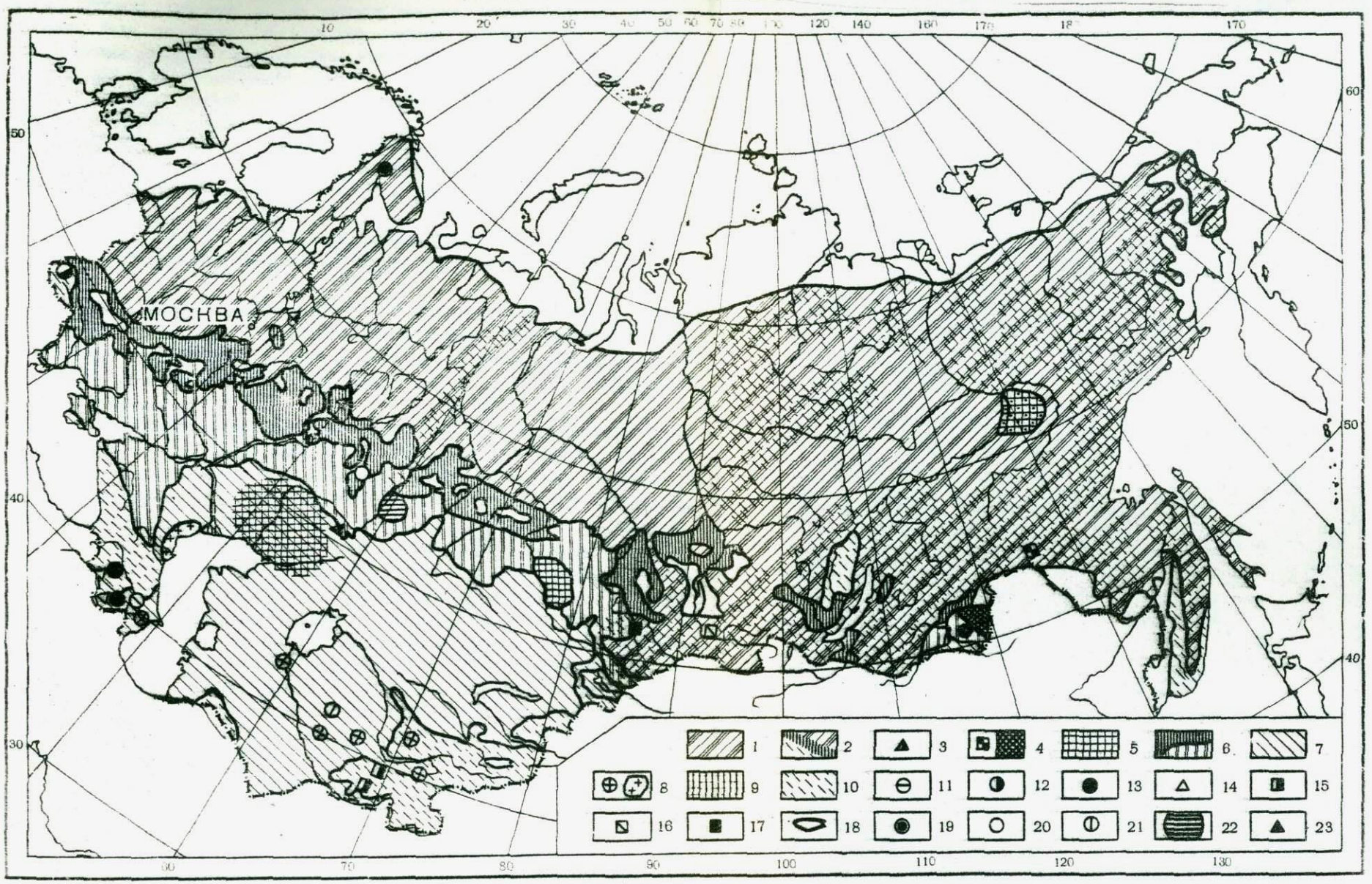


Рис.61. Схематическая карта биогеохимического районирования СССР (Ковальский, 1971):

Зональные провинции: 1 — таежно-лесная нечерноземная зона; распространены провинции: бедные кобальтом, бедные медью, бедные медью и кобальтом, бедные кальцием и фосфором, бедные йодом на мерзлотных почвах; 2 — бедные йодом (в том числе на серых лесных почвах); встречаются: 3 — бедные йодом и кобальтом; 4 — обогащенные стронцием, бедные кальцием; 5 — с нормальным содержанием меди и кобальта, а также обогащенные бором на мерзлотных почвах (азональная провинция); 6 — лесостепная и степная черноземная зона; 7 — сухостепная полупустыня, пустынная зона; распространены: 8 — с относительно недостаточным содержанием меди, избыточным молибдена и сульфатов; 9 — богатые бором; 10 — горные зоны; встречаются провинции: бедные медью, бедные кальцием;

азональные провинции: встречаются: 11 — богатые кобальтом; 12 — бедные йодом и марганцем; 13 — богатые свинцом; 14 — богатые молибденом; 15 — богатые стронцием и кальцием; 16 — обогащенные селеном; 17 — с нарушенным соотношением меди, молибдена, свинца; 18 — обогащенные ураном; 19 — с избытком фтора; 20 — обогащенные медью; 21 — с нарушенным обменом меди; 22 — богатые никелем, магнием, стронцием, бедные кобальтом, марганцем; 23 — богатые никелем

Севернее этой зоны распространены таежно-лесные ландшафты с лесными дерново-подзолистыми, подзолистыми, супесчаными, песчаными и торфяно-болотными почвами, где наблюдается дефицит кальция, фосфора, калия, кобальта, меди, йода, молибдена, бора, цинка, избыток стронция. При недостатке йода в почвах возникает эндемическое увеличение щитовидной железы и эндемический зоб (рис. 62). Особенно большой процент заболеваемости щитовидной железы, а также акобальтозы, гипо- и авитаминозы B_{12} наблюдаются в районах с низким содержанием йода, кобальта и меди.

Исследования показали, что введение в рацион животных солей кобальта при постоянном недостатке йода повышает синтез йодтирозинов, йодтиронинов и тироксина щитовидной железой. Недостаток меди нарушает синтез гемоглобина в крови.

В районах с недостатком фосфора и кальция у животных нарушается обмен веществ в костной ткани, встречаются случаи заболевания костно-суставной системы.

Интересны провинции с различным соотношением в почвах кальция и стронция. При недостатке кальция и избытке стронция возникает эндемическое нарушение формирования костной ткани — уровская болезнь, характеризующаяся карликовым ростом, болезненностью и припухлостью суставов, деформацией костей (Ковальский, 1971).

В сухостепной, пустынной и полупустынной зоне распространены провинции с относительным недостатком меди, йода, иногда кобальта, цинка, стронция и с избытком бора. Избыток бора в пищевых рационах приводит к появлению эндемических борных энтеритов. Накопление этого элемента в организме тормозит деятельность выделительной функции почек и ингибирует протеиназы и амилазы тонких кишок и протеиназы поджелудочной железы (Ковальский, 1974).

Встречаются геохимические провинции с резко повышенным содержанием какого-нибудь элемента. Например, в Актюбинской области выделена никелевая биогеохимическая провинция. Накопление никеля в роговице глаз животных вызывает никелевую слепоту. Избыток молибдена в районах Армении вызывает заболевание подагрой у человека и молибденовый токсикоз у животных. Повышенное содержание свинца приводит к поражению нервной системы, высокая концентрация селена в почве и растениях вызывает у животных деформацию копыт и облысение; избыток фтора нарушает окостенение, развивается флюороз. Избыток меди приводит к циррозу печени, анемии, желтухе.

Эндемические изменения в обмене веществ и болезни вызывают морфологические изменения, например низкорослость людей и животных вследствие избытка стронция при недостатке кальция.

Однако не всегда повышенное содержание одного из элементов в среде ведет к развитию эндемических заболеваний. При этом очень важны ландшафтные условия и химическая форма нахождения элемента. Так, повышенное содержание селена обнаружено в США, Канаде, Колумбии, Новой Зеландии, Ирландии, Южной Африке, на Гавайских островах, в СССР и др. Однако было установлено, что в условиях повышенного содержания карбонатов, щелочной среды и высокого значения Eh железо окисляется до Fe^{3+}, селен мигрирует вместе с серой, образуются доступные растениям селенаты (Se^{6+}). В кислых же почвах с восстановительными условиями, где много железа, селен становится недоступным растениям. Он сорбируется гидроокислами железа и глинами (К.И.Лукашев, В.К.Лукашев, 1972).

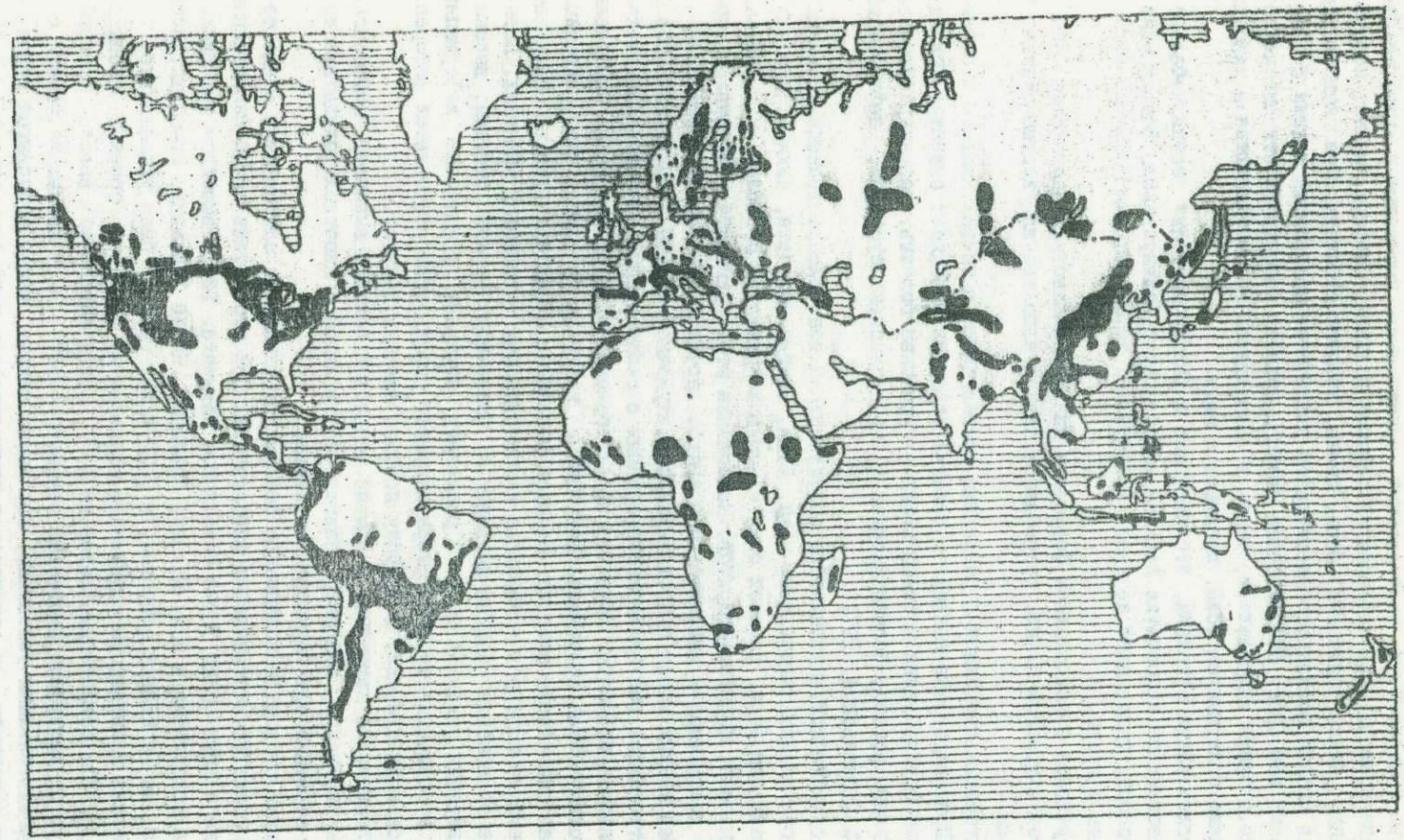


Рис.62. Карта мирового распространения эндемического зоба, *по данным* ВОЗ 1960 г. (К.И.Лукашев, В.К.Лукашев, 1972)

Как уже указывалось,В.В.Ковальским введено понятие "пороговая чувствительность организмов к химическим элементам". Если содержание элемента выходит за границы верхней или нижней пороговой чувствительности,наруша - ется нормальная регуляция обмена веществ и возникает определенный биологический эффект. В табл.45 отражены пороговые концентрации химических элементов в почвах и возможные реакции организмов.Однако изучение внутрипопуляционной биохимической и физиологической изменчивостей показало, что в одной и той же популяции есть организмы с высокой, средней и низкой пороговой чувствительностью к экстремальным условиям геохимической среды (Ковальский, I97I).

Обычно нарушение обмена веществ,ведущее к ослаблению организма и вымиранию, наблюдается у меньшего числа особей: большая часть организмов приспосабливается, вырабатывая слаженные механизмы регуляции,которые наилучшим образом соответствуют условиям среды и способствуют сохранению вида.

Так,Иссык-Кульская котловина является урановой биогеохимической провинцией: некоторые виды почв в ней содержат урана в 9, растения -- в среднем в 50 раз больше нормы. В результате овцы ежесуточно получают с кормом 400--I300 мкг урана,в то время как овцы черноземной зоны европейской части в среднем 50 мкг.Однако это не сказывается на каких-либо морфологических признаках животных. Дело в том, что у овец Иссык-Кульской равнины уран усиленно выделяется почками и меньше задерживается во внутренних органах, чем у овец других районов. К тому же у овец этой равнины значительная часть урана откладывается в шерсти и периодически удаляется при линьке.

Ландшафты БССР представляют особый интерес с точки зрения изучения их как биогеохимических провинций. Как указывалось выше,почвы здесь формируются на песчаных и супесчаных породах ледникового,водно-ледникового и аллювиального генезиса. Эрозионные и почвообразовательные процессы сопровождаются интенсивным промыванием и выщелачиванием подвижных химических соединений. Средний химический состав породообразующих элементов и микроэлементов здесь,как правило,ниже по сравнению с аналогичными генетическими типами почв Советского Союза. В целом геохимические ландшафты обеднены кальцием, калием, фосфором, азотом, натрием, хлором, марганцем,кобальтом, йодом, фтором и другими химическими элементами,важными для развития организмов. Для Белоруссии, как и для некоторых других районов СССР,характерны заболевания щитовидной железы, флюороз, кариес. Недостаток меди, кобальта, никеля, цинка вызывает патологические изменения в развитии организмов.

Биогеохимические эндемии могут быть вызваны как пищевым рационом,в котором недостает тех или иных макро- и микроэлементов, так и питьевыми водами и атмосферой. Так, кариес зубов вызывается главным образом недостатком фтора в питьевых водах, а не в пищевом рационе.

Все это вызывает необходимость глубокого изучения приуроченности геохимических эндемий и заболеваний к определенным ландшафтам, медико-геохимического районирования их на основе качественного и количественного изучения распространения химических элементов в отдельных типах ландшафтов.

Таблица 45

Пороговые концентрации химических элементов в почвах и возможные реакции организмов
(по Ковальскому, 1974)

Химический элемент	Число исследований	Пределы содержания элементов, %		
		недостаточное (нижняя пороговая концентрация)	норма (в пределах нормальной регуляции функции)	избыточное (верхняя пороговая концентрация)
Co	2400	$<2 - 7 \cdot 10^{-4}$	$7 - 30 \cdot 10^{-4}$	$> 30 \cdot 10^{-4}$
		Акобальтозы, лизухи, анемии, гипо- и авитаминозы B_{12}; усиление эндемического зоба		Может угнетаться синтез витамина B_{12}
Cu	3194	$<6 - 15 \cdot 10^{-4}$	$15 - 60 \cdot 10^{-4}$	$> 60 \cdot 10^{-4}$
		Анемии, лизухи, заболевания костной системы, эндемическая атаксия при избытке Mo и SO_4^{2-}. Полегание и невызревание злаков, суховершинность плодовых деревьев		Анемия, гемолитическая желтуха, поражение печени, хлорозы растений
Mn	1629	До $4 \cdot 10^{-2}$ (?)	$4 - 32 \cdot 10^{-2}$	$> 30 \cdot 10^{-2}$
		Заболевания костной системы: возможно усиление зоба. Хлороз и некроз растений, пятнистая желтуха сахарной свеклы		Заболевания костной системы. На кислых почвах возможно токсическое воздействие на растения
Zn	1927	До $3 \cdot 10^{-3}$	$3 - 7 \cdot 10^{-3}$	$> 7 \cdot 10^{-3}$
		Паракератоз свиней. Заболевание растений: хлороз, мелколистность		Возможна анемия, угнетение окислительных процессов
Mo	1216	До $1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 - 4 \cdot 10^{-4}$	$> 4 \cdot 10^{-4}$
		Заболевания растений (клевера)		Подагра у человека, молибденовый токсикоз у животных
B	979	$<3 - 6 \cdot 10^{-4}$	$6 - 30 \cdot 10^{-4}$	$> 30 \cdot 10^{-4}$
		Заболевания растений: отмирание точки роста стебля и корня, гниль сердечка свеклы, побурение цветка капусты, сердцевины брюквы		Борные энтериты у животных и человека. Заболевания растений
Cr	1269		до $6 \cdot 10^{-2}$	$6 - 10 \cdot 10^{-2}$
				Хондро- и остеодистрофии; уровская болезнь; рахиты, ломкость костей у животных
J	491	$<2 - 5 \cdot 10^{-4}$	$5 - 40 \cdot 10^{-4}$	$\Lambda\ 40 \cdot 10^{-4}$
		Эндемический зоб. Эндемия может усиливаться при несбалансированности J с Co, Mn, Cu		Возможно ослабление синтеза йодных соединений щитовидной железы

4. Основные вопросы изучения зооэкологических процессов в ландшафтах

Программа геохимического изучения различных зооэкосистем природных ландшафтов должна включать, по нашему мнению, следующие основные группы вопросов:

1) исследование зооэкологических особенностей различных природных типов экосистем (водоемов, болот, лесов, лугов, речных пойм и др.), характерных для них видов и популяций животного мира, их роли в продуктивности биомассы экосистем, биогеохимической роли в круговороте отдельных химических элементов, их рассеянии и концентрации в ландшафтах, геохимических изменений в экосистемах (pH, Eh и др.);

2) изучение зооэкологических особенностей техногенных типов экосистем (искусственных прудов и водоемов, мелиорируемых земель, регионов химического загрязнения промышленными отходами и ядохимикатами), геохимических изменений в рассеянии и концентрации химических элементов в кислотных и окислительно-восстановительных условиях среды и т.д.;

3) изучение зооэкологических особенностей среды охраняемых территорий и их естественных ландшафтов (заповедников, заказников).

При этом следует учитывать, что в биосфере действуют законы географического и экологического территориального расселения животных, которые биологической наукой недостаточно изучены как в условиях медленных, так и быстрых изменений в ландшафтах. В результате биогеохимических изменений в биосфере возникают экологические условия, при которых живые организмы не могут развиваться, падает численность видов и популяций, изменяется внутривидовое многообразие сообществ, нарушается биологическое равновесие в экосистемах и т.д. Поэтому изучение геохимических условий среды экосистем представляет большой интерес для выяснения процессов динамики развития и эволюции зообиоценозов.

В настоящее время зоологами составлен список редких и ценных животных Белоруссии, которые подлежат охране и воспроизводству, рекомендации по улучшению кормовых условий диких зверей и птиц, организации охотничьих хозяйств, использованию биологических методов борьбы с вредными насекомыми, а также по основным направлениям научных исследований.

Глава IX. АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛАНДШАФТАХ

I. Ноосфера — новое геохимическое и биологическое состояние биосферы и ландшафтов

Как уже отмечалось, современная антропогенная (человеческая) деятельность является самым могучим фактором, влияющим на геологические и геохимические процессы в земной коре и ландшафтах. В результате ее коренным образом изменяются естественная ландшафтная оболочка и биосфера, созданные в течение многовековой геологической и биологической истории развития земной коры, и формируется антропогенно-техногенная геосфера — ноосфера. Последняя, по мнению В.И.Вернадского (1967), представляет собой последнее из многих состояний эволюции биосферы в геологической истории, т.е. состояние наших дней. В ней общество становится единственным в своем роде агентом, могущество которого растет с ходом времени со все увеличивающейся быстротой. Оно одно все быстрее изменяет структуру самих основ биосферы и эволюционирует к новому жизненному проявлению. Иначе говоря, быстроидущий научно-технический прогресс оказывает решающее воздействие на ландшафтную оболочку в планетных масштабах.

Хотя понятие ноосферы как оболочки Земли, включающей человеческое общество с его индустрией и прочими видами разумной деятельности, было впервые предложено французским философом Э.Ле Руа, основоположником учения о ноосфере следует считать В.И.Вернадского. Он вложил в это понятие то новое, что вытекает из деятельности человека в его взаимоотношениях с окружающей средой, выделил человека в качестве ведущего фактора эволюции биосферы и земной коры. Характеризуя кратко современную ноосферу, необходимо прежде всего отметить, что в настоящее время уже почти нет таких территорий, где не ступала бы нога человека и где не было бы заметно его хозяйственного воздействия на окружающую природу.

Самое заметное влияние человека на природу выразилось в вырубке лесов, широком сельскохозяйственном использовании лесных и заболоченных территорий, изменении водного режима поверхности путем ее осушения и орошения, понижении уровня грунтовых вод, создании искусственных водоемов, изменениях русл и направлений речного стока, атмосферных условий в городах и про-

мышленных центрах, растительных и животных биоценозов, извлечении из недр полезных ископаемых и существенном изменении геохимического круговорота элементов в ландшафтах, а также в воздействии на почву и живые организмы химических и биохимических веществ и т.п.

Приведем некоторые данные, характеризующие масштабы изменений, происходящих в биосфере, рельефе и ландшафтах земной поверхности.

Человечество ежегодно добывает несколько миллиардов тонн угля, нефти, руд, неметаллического сырья и в несколько раз больше извлекает и перерабатывает горных пород. Человек все глубже проникает в недра земной коры и расширяет площади горных работ. В ряде районов в результате выемки руд, нефти, откачки воды происходит опускание горных пород. Ландшафт начинает разрушаться. Это особенно заметно при проведении открытых разработок недр и складировании на поверхности так называемых "хвостов". Велики пока потери при добыче угля, газа, минерального сырья (до 50%), нефти (коэффициент извлечения 0,44). Для выплавки часто используются только богатые руды: остальные идут в отвалы. Переработка руд, нефти и газа сопровождается поступлением в атмосферу, почву и гидросферу большого количества различных веществ: миллиардов кубометров угольной кислоты, сернистого газа, миллиардов тонн золы и шлаков. Предприятиями химической, нефтяной, бумажно-целлюлозной, текстильной, металлургической, горно-рудной промышленностей в реки, озера, моря спускаются десятки миллионов кубометров сточных вод с растворенными в них химическими соединениями.

Важнейшим геохимическим фактором биосферных изменений является внесение в почву минеральных и органических удобрений. В настоящее время на земном шаре их вносится около 50 млн.т (в пересчете на действующее вещество). Общая площадь мелиорируемых земель составляет около 200 млн. га, в том числе орошаемых до 150 и осушаемых до 50 млн. га. Создано более 10 тыс. искусственных водоемов общей площадью 500 тыс.км^2, что всего в 5 раз меньше площади естественных озер. В то же время на земном шаре все острее становится проблема пресной воды, что является результатом все возрастающего ее потребления в промышленности, сельском и коммунальном хозяйствах. Хозяйственная деятельность человека при хищническом или неразумном отношении к почве и природному ландшафту часто сопровождается интенсивной денудацией и эрозией земной поверхности, разрушением почвы водой, стекающей по склону, развеванием рыхлых отложений. Особенно сильной эрозии подвергаются распаханные склоны возвышенностей, лишенные растительности. Смыв гумусового горизонта ухудшает плодородие почв и резко снижает урожай сельскохозяйственных культур. В результате эрозии образуются промоины, рытвины, овраги, борозды, почвы превращаются в бросовые земли. Вместе с тем огромное количество химических и биогенных веществ выносится из почвы и ухудшает ее питательные свойства. По подсчетам французского ученого А.Гаррена (Guerrin , 1957), только за последние 100 лет эрозия повредила около 2 млрд. га земель, что составляет 15% всей суши, или 27% земель активного сельскохозяйственного использования. В США общая площадь эродированных земель составляет уже около 400 млн.га. Здесь ежегодно с полей и пастбищ смывается 3 млрд. т почвы.

Подсчитано, что в США вода сносит больше половины ежегодного потребления фосфора, азота, калия. Водной и ветровой эрозией снесен плодородный слой

почвы на 45 млн.га (из них 20 млн. га пашни); 68 млн. га потеряли более 75% и 315 млн. га — от 15 до 75% почвенного слоя. Установлено, что при смыве гумусового горизонта на 50–75% урожаи зерновых снижаются в 2–4 раза. В Африке в результате систематического выжигания растительности пустыня наступает на саванну, а значительные участки саванн возникли на месте сведенных тропических лесов. В США хозяйственная деятельность привела к тому, что площадь пустынь увеличилась вдвое. Раньше площадь лесов на земном шаре достигала примерно 7 млрд. га, ныне она также сократилась почти вдвое. В США от общей площади взрослого леса осталось около трети, а девственных лесов сохранилось не более 10%. Рост оврагов ежегодно выводит из строя около 50 тыс. га пашни и кормовых угодий в нашей стране. Ущерб, наносимый смывом почвы в нашей стране, превышает 3 млрд. руб. в год. На очистку каналов ежегодно затрачиваются сотни миллионов рублей.

Как отмечалось выше, в глобальных масштабах происходит загрязнение воды и воздуха промышленными отходами, инсектицидами, моющими средствами, радиоактивными продуктами и т.д. (см. главу IУ). Из отрицательных воздействий человека на природу и ее ландшафты следует отметить также искусственное засоление территорий в результате орошения и разработки соляных месторождений, нерациональное использование земель в связи со строительством и др.

Таким образом, в результате хозяйственной деятельности человека происходят глубокие и многосторонние преобразования ландшафтов Белоруссии. В числе главных факторов этих преобразований необходимо назвать сельскохозяйственное производство, мелиорацию земель, добычу полезных ископаемых, строительство промышленных и гражданских сооружений, урбанизацию, интродукцию новых видов растений и животных и др. Около 10 млн. га земель, в том числе более 6 млн. га пахотных, используется под сельскохозяйственные угодья. Из года в год повышается биологическая продуктивность сельскохозяйственных растений и животноводства.

В огромных масштабах осуществляются мелиоративные работы, связанные главным образом с осушением заболоченных территорий, а также с орошением земель, очисткой от кустарников, строительством каналов. Сооружается Вилейско-Минская водная система для улучшения снабжения водой промышленных и бытовых предприятий Минска и Минской области. Большие изменения в естественные ландшафты Поозерья вносит строительство Лукомльской ГРЭС — крупного энергетического узла. На реках республики создано более 150 водохранилищ. Крупнейшими из них являются Вилейское (площадь 75 км^2, объем воды 260 млн. м^3), Заславльское (31,1 км^2, 108,5 млн.м^3), Червонослободское (23,6 км^2, 69,5 млн.м^3), Солигорское (23,1 км^2 и 55,93 млн.м^3), Любанское (22,5 км^2, 34,5 млн.м^3), Чигиринское (21,1 км^2, 59,98 млн.м^3), Осиповичское (11,9 км^2, 5,75 млн.м^3) и др. Общая площадь их составляет около 300 км^2, объем воды — около 600 млн.м^3.

В связи с осушением Полесской территории строится 17 водохранилищ мелиоративного назначения. Они регулируют работу гидроэлектростанций (Осиповичской, Лепельской и др.), используются в качестве бассейнов — охладителей тепловых электростанций (оз. Белое и Черное и др.). Ежегодно увеличивается площадь новых лесонасаждений, значение которых возрастает в регулировании водного баланса ландшафтов. Под заповедниками и заказниками

занято 3,14% площади республики. Их главное назначение — охрана животного мира и природных ландшафтных комплексов.

Широко осуществляется рекультивация земель, ставших непригодными для сельскохозяйственного использования в результате добычи торфа и минеральных полезных ископаемых. Под постройками и дорогами в республике занято около 3,3 млн. га земель. В дальнейшем в связи с расширением и возникновением новых городов и городских поселков, а также строительством дорог и промышленных сооружений эта цифра увеличится. При этом очень важно учитывать природные условия застраиваемых территорий.

2. Угроза экосистемам биосферы

Коренные изменения, происходящие в биосфере, ландшафтах и ресурсах, особенно в связи с химическим загрязнением и хищническим уничтожением растительного и животного мира, безусловно, представляют большую угрозу для окружающей среды и экосистем биосферы. Поэтому проблема "человек и биосфера" находится в настоящее время в центре внимания мировой общественности. Этому вопросу посвящается большое количество работ, заостряется внимание на срочной необходимости проведения конкретных мероприятий по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов. Все это правомерно и своевременно, и чем больше национальных и международных мероприятий будет осуществлено в этой области, тем меньше ущерба будет нанесено экосистемам человеческой деятельностью.

Но никак нельзя согласиться с концепциями буржуазных ученых, которые трактуют современное состояние биосферы как ее "экологический кризис", "конфликт природы" с обществом, причиной которого якобы является научно-технический прогресс и рост мирового населения. Неизбежными последствиями такого "конфликта" они считают истощение природных ресурсов, голод и вымирание человечества[x]. Проанализируем кратко, с чем здесь можно согласиться, а что следует отбросить как антинаучное утверждение, противоречащее историческому развитию природы и общества.

Бесспорно, что бурный научно-технический прогресс сопровождается революционной перестройкой биосферы и особенно ее растительного покрова и животного мира: загрязняются атмосфера и природные воды, становится ощутимее нехватка пресной воды, быстро увеличивается количество населения, почти половина его в настоящее время обречена на полуголодное существование, увеличивается концентрация пыли, окисей углерода, азота, сернистого газа, радиоактивных веществ в атмосфере, исчезают отдельные виды животных и растений и т.д. Биосфера, особенно в региональных рамках, утрачивает свои способности к восстановлению нарушенных равновесий, геохимическому и биогеохимическому круговороту вещества и энергии, нормальному выполнению многообразных биогеохимических функций, с которыми связано образование газов

---

[x] Такие прогностические "обоснования" содержатся в работе Д.Медоуза и др. (Meadows and other , 1972), где на основе расчетов (до 2100 г.) динамики промышленного производства, продуктов питания, запасов минерального сырья, численности населения, загрязнения окружающей среды пропагандируется вывод, что дальнейший рост промышленного производства и увеличение численности населения ведут человечество к гибели. Поэтому общество должно стремиться к состоянию "нулевого роста" в производстве, потреблении, рождаемости как к единственному способу самосохранения.

атмосферы, окислительно-восстановительные процессы, концентрация и рассеяние химических элементов в ландшафтах. Эти вопросы приобретают особенно большое значение в эпоху научно-технического прогресса. В ряде случаев назревает "экологический кризис", подрывающий основы биологической продуктивности биосферы, что дает серьезный повод для беспокойства и принятия необходимых мер по охране окружающей среды в международном и региональном аспектах.

Вопрос в том, на какой научной и философской основе изобретаются концепции об "экологическом кризисе биосферы". Одни буржуазные ученые воскрешают давно опровергнутую наукой и практикой пресловутую "теорию" Мальтуса "об убывающем плодородии почв и геометрически прогрессирующем росте населения", "хищнической по своей природе деятельности человека" и т.п.

В настоящее время, как это утверждают Д.Медоуз и соавторы, главная ответственность за "экологический кризис биосферы" возлагается на научно-технический прогресс, в частности на истощение минеральных и других сырьевых ресурсов вследствие промышленного производства, последующего за этим катастрофического сокращения последнего, спада производства продуктов питания, резкого увеличения смертности, уменьшения численности населения и т.п. Исходя из этого рекомендуется резко сокращать потребление минеральных ресурсов, прекращать дальнейший рост населения, установить "нулевой рост" промышленного производства, переключать материальные средства на борьбу с загрязнением окружающей среды и др. Разумеется, эти неомальтузианские концепции в указанной постановке антинаучны.

Другие буржуазные ученые "экологический кризис биосферы" трактуют как чисто биологическое явление (вымирание отдельных видов животных) вне какой-либо связи с социально-экономической системой, определяющей, как известно, характер взаимоотношений общества с природой. Поэтому упор делается в целом на негативный характер человеческой деятельности независимо от того, осуществляется она в капиталистическом обществе, действующем по принципу "после нас хоть потоп", или в социалистическом, стремящемся взять максимум от природы, не уменьшая ее красоты и увеличивая потенциальные возможности. Концепциями об "экологическом кризисе биосферы" игнорируется тот факт, что в социалистических условиях природопользования человек стремится сознательно управлять развитием биосферы и детально предвидеть результаты хозяйственной деятельности.

Советские ученые решительно отвергают буржуазные концепции об истощении природы и, руководствуясь марксистско-ленинским учением, считают, что потенциальные возможности природы неисчерпаемы, ее можно целенаправленно преобразовывать в интересах общества, не снижая, а увеличивая продуктивность ресурсов. В то же время они обеспокоены тем, что в результате хищнической эксплуатации природных ресурсов в капиталистических странах, несовершенной технологии в области использования минерального или сельскохозяйственного сырья, а также по причине загрязнения атмосферы, воды и почв отходами промышленного производства на планете исчезают отдельные виды биоценозов, вырабатываются богатые месторождения полезных ископаемых, создаются токсические условия для развития живых организмов и появляется серьезная угроза продуктивности биосферы. Разговоры о каком-то общем "экологическом кризисе биосферы" являются несостоятельными и ведутся

в интересах международных монополий[X].

Согласно марксистско-ленинской концепции, только стихийно развивающееся капиталистическое производство приводит к конфликту человека с природой. В социалистическом же строе заложены необходимые условия для гармоничного взаимодействия общества с природной средой, для оптимального использования природных ресурсов без ущерба для окружающей среды. Вот почему в Советском Союзе и социалистических странах, как ни в одной стране капиталистического мира, рациональному использованию природных ресурсов, охране недр и окружающей среды уделяется исключительно большое внимание.

Так как проблема биосферы и ее ресурсов становится важнейшей, Советский Союз призывает к международному сотрудничеству в области охраны окружающей среды и является инициатором заключения ряда межгосударственных соглашений с отдельными странами — членами СЭВ, Францией, Швецией, США — в целях координации действий и использования научно-технических достижений для решения вопросов рационального использования природных ресурсов. Действия Советского Союза направлены на то, чтобы коллективным разумом и могучей техникой, знанием общественных и природных законов развития, плановыми и координированными действиями не только в локальных масштабах, но и в масштабах всей планеты человечество сумело рационально использовать ресурсы биосферы, предопределять ее развитие в желательном направлении.

С первых дней Советской власти наше государство взяло на себя ответственность за развитие биосферы, отвечающее интересам человека и его материальным и духовным запросам. Забота о рациональном использовании природных ресурсов и об охране окружающей среды в интересах социалистического строительства занимает в Советском Союзе одно из важнейших мест во всех плановых и перспективных мероприятиях. Декреты об охране и преобразовании природы (лесов, минеральных богатств и др.), подписанные В.И.Лениным, были приняты сразу после Великой Октябрьской социалистической революции. Идеи В.И.Ленина воплотились в социалистические принципы государственной политики природопользования. Богатства природы могут быть неисчерпаемыми, указывал Ленин, но только в том случае, если люди, используя ее, относятся к ней бережно, глубоко познают ее законы и продуманно их применяют. В.И.Ленин вел беспощадную борьбу с расхитителями природных ресурсов, учил использовать их разумно, комплексно, а при эксплуатации не нарушать существующих научно-технических правил. С построения социалистического общества в СССР и других странах началась эра планового, научно обоснованного рационального использования и охраны природных ресурсов биосферы, исключающая какой-либо конфликт общества с природой.

[X]Как правильно отмечается Э.Гертнером (1974), монополии, реально оценивая углубление и обострение общего кризиса капитализма, который может быть для них смертельным, стремятся обосновать серию кризисов. Это подтверждается высказыванием Д.Медоуза (Meadows and other, 1972): "... я очень надеюсь, что с помощью серии небольших и хорошо дозированных кризисов — энергетического, водного, продовольственного, экологического, кризиса, вызванного использованием ядерной энергии, — можно будет постепенно создать систему, не выходящую за определенные рамки". Имеется в виду, что такие "хорошо дозированные кризисы" подготовят широкие массы к определенным лишениям и предотвратят активную классовую борьбу и революционные взрывы. Однако история показывает, что это лишь тщетные иллюзии.

Советской наукой и практикой доказано, что в условиях социалистического хозяйства существуют неограниченные возможности для развития производительных сил и увеличения производства материальных благ, для преобразования природы. Социализм не только покончил с хищническим отношением к природным ресурсам и обеспечил их рациональное использование, он восстанавливает естественные богатства, разрушенные при капитализме. Ярчайший пример этого — освоение десятков миллионов гектаров целинных и залежных земель, практическое решение вопроса о сельскохозяйственном использовании пустынь и полупустынь, освоение сотен тысяч гектаров болот, преобразование степных и лесостепных районов, строительство гигантских гидроэлектростанций и др. Социалистические планы преобразования природы, эксплуатации естественных богатств знаменуют собой борьбу за рациональное изменение и использование природной среды в интересах бурного развития производительных сил.

Совсем другой пример являет собой капиталистическое общество и характерный для него способ производства. Как писал К.Маркс, всякий прогресс капиталистического земледелия есть не только прогресс в искусстве грабить рабочего, но и в искусстве грабить почву, всякий прогресс в повышении ее плодородия на данный срок есть в то же время прогресс в разрушении постоянных источников этого плодородия. Чем более известная страна, как,например, Соединенные Штаты Америки, исходит от крупной промышленности как скрытого базиса своего развития, тем быстрее этот процесс разрушения. Капиталистическое производство, следовательно, развивает технику и комбинацию общественного процесса производства лишь таким путем, что оно подрывает в то же самое время источники всякого богатства: землю и рабочего.

Ф.Энгельс, характеризуя хищническое отношение капиталистического общества к природным ресурсам, писал, что не было никакого дела испанским плантаторам на Кубе, выжигавшим леса на склонах гор и получавшим в золе от пожара удобрение, которого хватало на одно поколение очень доходных кофейных деревьев, до того, что тропические ливни потом смывали беззащитный отныне верхний слой почвы, оставляя после себя лишь обнаженные скалы. При теперешнем способе производства и в отношении естественных и в отношении общественных последствий человеческих действий принимается в расчет главным образом только первый, наиболее очевидный результат.

В настоящее время научно-технический прогресс еще в большей мере обостряет противоречия между капиталистическим способом производства и природной средой. Он способствует хищническому истреблению природных ресурсов металлического и неметаллического сырья, животного и растительного миров. Особенно ярко демонстрируют это монополистические корпорации США и западноевропейских стран в отношении нефти, истребления биологических ресурсов Мирового океана, загрязнения окружающей среды промышленными отходами. Одной из главных причин глобального возникновения проблемы является то, что в развитых капиталистических странах научно-техническая революция происходит при игнорировании экологических процессов в биосфере, ее эволюционных возможностей. Поэтому величайшие достижения научно-технической революции при социализме превращаются в средства научно-технического хищ-

ничества в капиталистических странах. Монополии оказывают упорное сопротивление, если государство и общественность отдельных стран предлагают осуществить те или иные мероприятия по охране природы. Американский эколог Д.Эренфельд (1973), характеризуя ухудшающиеся условия жизни отдельных видов и сообществ, пишет, что человечество в настоящее время стоит перед лицом таких экологических кризисов, каждый из которых в ближайшем будущем может привести к последствиям глобального масштаба. Чтобы урегулировать взаимоотношения человека с природой, необходимо осуществлять действенные меры как в отдельных странах, так и в мире в целом. Необходимо заключать международные соглашения по охране окружающей среды и ресурсов.

В Советском Союзе осуществляется много плановых мероприятий в области охраны и рационального использования природных ресурсов. Они вытекают из решений XXIУ съезда КПСС, постановлений сессий Верховного Совета СССР и Совета Министров СССР. Политика, осуществляемая в этой области, прекрасно выражена Л.И.Брежневым, подчеркнувшим, что хозяйственное, рачительное использование естественных ресурсов, забота о земле, лесе, о реках и чистом воздухе, о растительном и животном мире -- все это наше кровное коммунистическое дело. Мы должны сохранить и украсить нашу Землю для нынешних и будущих поколений советских людей.

В Советском Союзе осуществляются мероприятия по улучшению комплексности и повторности использования природных ресурсов, фундаментального изучения процессов, протекающих в окружающей среде, средств и способов борьбы с загрязнением биосферы промышленными отходами.

Большая работа в этой области осуществляется Академией наук СССР и академиями союзных республик. В постановлении общего собрания АН СССР от 21 июня 1973г. "О задачах АН СССР в области рационального использования и охраны биосферы" указывается, что проблема эффективного сохранения и улучшения природной среды и рационального использования естественных ресурсов в условиях быстрого нарастания темпов научно-технического прогресса является одной из наиболее актуальных проблем современности. Для ее решения необходимо обеспечить оптимальный уровень жизни и деятельности человека, более полное удовлетворение его потребностей, сохранить и улучшить природный потенциал биосферы в интересах будущих поколений.

Решение этих задач в свою очередь требует осуществления многих мероприятий: улучшения комплексности и повторности использования природных ресурсов и состояния окружающей среды; предотвращения ухудшения последней в результате хозяйственной деятельности человека, разрушающей ее компоненты и загрязняющей производственными и бытовыми отходами; дальнейшего фундаментального изучения процессов, происходящих в окружающей среде; надежного и заблаговременного прогнозирования природных процессов и расширения эффективности управления ими.

В нашей республике также осуществляются мероприятия по улучшению природопользования. Разработан научно-технический прогноз изменений в биосфере в результате развития отраслей народного хозяйства и даны соответствующие рекомендации по рациональному использованию и охране ресурсов биосферы. В рекомендациях предусматривается развитие фундаментальных и прикладных исследований, направленных на разработку наиболее эф-

фективных способов природопользования, оценок и прогнозов состояния и эволюции биологической среды, влияния загрязнений на биоценозы и экосистемы, атмосферу, природные воды и почву. Разработаны научные основы технологических процессов, исключающие вредное влияние загрязнений на окружающую среду, принципы и способы оценки полезных и вредных результатов воздействия человеческой деятельности на биосферу и др.

Сказанное свидетельствует о том, что в социалистическом обществе научно-технический прогресс уже сейчас позволяет управлять многими природными процессами в интересах научного, экономического и технического развития. В будущем этот прогресс откроет еще большие возможности.

В капиталистическом же обществе научно-технический прогресс будет сопровождаться углублением экологического кризиса биосферы, нарастанием противоречий между обществом и природой как следствия превращения биосферы в своеобразную техносферу. Преодоление этих противоречий станет возможным лишь при полной победе социализма и коммунизма.

Исключительно большие возможности в решении проблем биосферы, рационального использования ее ресурсов, повышения продуктивности экосистем, устранении "экологических кризисов" заложены в разумной направленности теоретической и практической деятельности человека.

3. Пути увеличения биологических ресурсов ландшафтов

Несомненно, что с ростом населения и технического прогресса проблема биологических ресурсов приобретает все большее значение. Сегодня уже население земного шара составляет около 4 млрд. человек. Предполагают, что к 2000 г. оно достигнет 6—7 млрд. Только для того, чтобы прокормить это население, потребуется почти в 2 раза больше продуктов, чем при существующем уровне потребления, для большей части населения низком. А если население шара увеличится до 20—30 млрд. человек и при этом в несколько раз повысится общий уровень потребления, то какие изменения произойдут в области биологических ресурсов? Рассмотрим кратко эти вопросы.

Все биологические ресурсы, используемые человечеством, можно разделить на две группы: естественные (почвенные, растительные, животные) и искусственные (антибиотики, органические кислоты, витамины, ферменты). С развитием технического прогресса обе группы будут приобретать все большее значение. Науке и технике предстоит систематически увеличивать плодородие почв, продуктивность растительного и животного мира на суше, в море, озерах, реках, выявлять факторы и причины, от которых больше всего зависит увеличение потенциальных богатств биосферы. Здесь исключительно важны механизация земледелия, мелиорация земель, использование удобрений и химических средств борьбы с сорняками, вредителями и болезнями, получение новых, лучших гибридных видов растений и животных, производство синтетических биологических ресурсов. Все это тесно связано как с новыми научными открытиями в области биологии (особенно биохимии, органической химии и технической микробиологии), так и с достижениями технического прогресса в области индустрии биологической продукции.

Особое значение для человека имеет белок — главный компонент пищи. Основой белкового питания является зерно, получаемое из хлебных злаков (они занимают более 70% сельскохозяйственной площади всего земного шара). Зна-

чит, наряду с выведением сортов зерновых и других культур с повышенным содержанием белка важнейшее значение приобретает задача получения синтетического белка в больших промышленных масштабах. В перспективе возможно расширение сельскохозяйственных площадей за счет вовлечения в обработку неиспользуемых в настоящее время земель, создание специфических плантаций растений и животных на суше и в море и т.д. Будут разработаны новые научные способы управления динамикой почв и экосистем, устранены лимитирующие плодородие факторы. Химия в союзе с биологией найдет весьма эффективные средства для борьбы с вредителями полей, физика обеспечит создание в экосистемах оптимальных для биологической продуктивности водного, воздушного, теплового режимов. С помощью научно-технических мероприятий будут созданы агросистемы с искусственным светом, подогревом, наибольшим содержанием химических элементов, программированными урожаями сельскохозяйственных культур и т.п.

Главная задача сводится к тому, чтобы научиться управлять основными механизмами биосферы — фотосинтезом, круговоротом энергии и основных веществ (воды и химических элементов), биологическими и биогеохимическими реакциями организмов, определяющими биологическую продуктивность биосферы, ее валовую и чистую продукции экосистем. Таким образом, основной путь увеличения биологической продуктивности биосферы — дальнейшая "зеленая революция", подобная научно-технической революции в промышленном производстве со всеми связанными с нею крупными изменениями в сельскохозяйственном производстве.

4. Расширение земельных ресурсов планеты

Из общей поверхности суши (150 млн.км^2, без Антарктиды — 134 млн.км^2) в настоящее время под посевами сельскохозяйственных культур занято около 10% (без Антарктиды), или 1,37 млрд.га. Неодинаково используется для этого земельная площадь: в Европе (без СССР) — 31%, Азии (без СССР) — 15, Африке — 8, США и Канаде — 12, Центральной и Южной Америке — 5, Океании — 3%. В СССР площадь пахотной земли составляет около 10%, а площадь всех сельскохозяйственных угодий (с сенокосами, пастбищами, залежами и перелогами) — свыше 27% (Прасолов, Розов, 1949). В мировом земледелии наиболее широко используются черноземы, темные почвы прерий, серые и бурые лесные почвы. В настоящее время их распространенность в среднем составляет 35—40%.

Малопродуктивные угодья всей планеты в общем составляют около 60% суши.

К неиспользуемым в сельском хозяйстве территориям в большинстве стран относятся горные районы, леса и джунгли, заболоченные земли, земли, пришедшие в негодность вследствие эрозии, солончаки и солонцы пустынь. Конечно, не все они могут быть использованы в сельскохозяйственном производстве. Однако если осушить многие заболоченные земли, освоить наиболее подходящие территории, занятые лесами и джунглями (более эффективно осваивать полупустыни и пустыни, а также обширные площади вечной мерзлоты), то уже в ближайшем будущем можно увеличить посевные площади земного шара до 3—3,5 млрд. га.

Многие горные склоны и межгорные впадины можно в будущем использовать для посевов, скотоводства и горного промысла. Примером могут служить обширные нагорья Тибета. Преобладающая высота горных впадин здесь достигает 4—5 км. Тибетцы занимаются земледелием и кочевым скотоводством. В небольших количествах в некоторых районах добывается золото и бура (в озерах), разведываются каменные угли, строятся также промышленные предприятия: кожевенные, текстильные, лесопильные и др. На земном шаре площади пустынь и полупустынь занимают огромные территории — около 40 млн.км^2. Если прибавить к ним территории с недостаточным увлажнением (около 10 млн.км^2), то это составит более трети всей суши, или больше Северной и Южной Америк, вместе взятых (42 млн.км^2).

Природные условия пустынь и полупустынь исключительно разнообразны. Очень засушливые (экстрааридные) занимают 5—6 млн.км^2. Многие пустыни не лишены крупных бассейнов подземных вод. Человек научился бороться с сыпучими песками и решать многие другие технические проблемы освоения пустынь.

Таким образом, большая часть аридных территорий может быть эффективно использована в сельском хозяйстве не только в качестве пастбища, но и для интенсивного земледелия. Яркий пример этого — опыт использования засушливых земель в Советском Союзе. Более 2/3 всех засушливых земель находится в границах Арало-Каспийской впадины, где сейчас искусственно орошается 6 млн.га; при более полном использовании местных водных ресурсов орошаемая площадь может быть доведена до 12—13 млн.га, что составит около 6% территории Туранской низменности. Для дальнейшего расширения орошаемых площадей выявлена и технически обоснована возможность ежегодной переброски в Среднюю Азию и Казахстан до 325 млрд.т вод сибирских рек, что позволит оросить до 40 млн.га земель. Обилие тепла и света в сочетании с искусственным орошением обеспечит на бесплодных сейчас почвах получение высоких урожаев хлопка, различных субтропических культур и риса. Урожаи овощных и зерновых культур можно будет снимать два раза в год. Обводнение пастбищ в несколько раз увеличит поголовье скота. Озеленение орошаемых земель позволит расширить посадки шелковицы и создать цветущие сады.

Следовательно, главная проблема — орошение земель. Оно возникло в глубокой древности в странах с засушливым и жарким климатом (Ближний и Средний Восток, Средняя Азия, Китай и др.). В настоящее время площадь орошаемого земледелия составляет примерно 150–200 млн.га. Орошение вносит в почву новые растворенные и взвешенные в воде вещества, создает благоприятные условия для микробиологических процессов, в частности для нитрификации, улучшает физические и химические свойства почв и условия пищевого режима растений. Оно имеет огромное геохимическое и биогеохимическое значение, особенно для перемещения и распределения химических элементов в почвах и природных водах. Применяя орошение, можно не только значительно расширить площади под сельскохозяйственные угодья, но и существенно повысить урожаи. Однако и орошение, если оно осуществляется без учета специфики природных условий, чревато неблагоприятными последствиями — заболачиванием, засолением почвы, превращением ее в солончаки. В практике орошения известно много таких случаев. В мире ныне насчитывается не менее 20—25 млн.га засоленных бесплодных (ранее плодородных) земель.

Важный путь расширения сельскохозяйственных площадей — изменение почвенной природной среды в зоне распространения вечной мерзлоты, которая сковывает около 20% территории земного шара. В Советском Союзе зона ее распространяется почти на всю Сибирь и Дальний Восток. Там, где районы вечной мерзлоты осваиваются в связи со строительством или земледелием, граница ее понижается, улучшается физико-химический режим почв. Однако оттаивание вечной мерзлоты часто сопровождается переувлажнением верхнего (надмерзлотного) слоя, образованием плывунных масс, эрозией почв и т.д. Технический прогресс в земледелии может успешно справиться с этими нежелательными явлениями. Большую помощь при создании благоприятного физико-химического режима почвенного плодородия могут оказать физика и химия. Нет сомнений, что в будущем территория зоны вечной мерзлоты будет интенсивно использоваться в сельском хозяйстве.

Большие площади земель земного шара заняты болотами и заболоченными территориями. Работы по их осушению ведутся с давних времен. Отвод избытка воды из почвогрунтов изменяет их водно-воздушный режим, геохимические и биогеохимические процессы выветривания, почвообразования и миграции вещества. При осушении заболоченных территорий ускоряется процесс разложения органического вещества, которое минерализуется, а элементы его переходят в доступную для растений форму пищи. В почве создаются новые тепловой режим и микроклимат, изменяется сложившийся круговорот воды, а следовательно, и роль атмосферных и гидросферных факторов в образовании горных пород.

Всего на планете осушено около 50 млн.га земель. Предстоит еще отвоевать у природы морские побережья, площади, занятые лагунами, зарастающими озерами и прудами. В Голландии, например, осушено около 60% таких земель. Особенно широко проводится осушение земель в СССР. За годы Советской власти их осушено более 10 млн.га. Как уже отмечалось, в Белоруссии болота и заболоченные земли занимают более 7,5 млн.га, или 36,3%. Из них торфяно-болотные почвы различных типов и мощности торфа занимают 2,9 млн.га, что составляет 40% мелиоративного фонда. Предстоит использовать в сельском хозяйстве земли, занятые песками, кустарниками, а также рекультивируемые земли и др.

5. Химические средства повышения биологической продуктивности ландшафтов

Эти средства включают в себя минеральные и органические удобрения, мелиорацию почв, применение химических препаратов для защиты растений от вредителей и болезней, использование физиологически активных веществ. Химия открывает новые источники органического и неорганического сырья для промышленности и сельского хозяйства. Для повышения плодородия почв и растений человек сознательно включает в биологический круговорот полезные химические элементы и тем самым увеличивает биологическую продуктивность ландшафта. В то же время он осуществляет ряд физико-химических мероприятий, создающих более благоприятные условия для дыхания, питания, роста и развития растений.

Внесение в почву минеральных и органических удобрений изменяет питательную среду растений, воздействуя на химические, физико-химические и микробиологические процессы. В результате повышается доступность к ним

элементов почвенной пищи, активизируется деятельность полезной почвенной микрофлоры. Внесение удобрений обогащает почву макро- и микроэлементами — азотом, фосфором, кальцием, калием, бором, марганцем, молибденом, цинком, кобальтом и др. Бор, марганец, цинк, медь повышают использование света в процессе фотосинтеза, оказывают влияние на углеводный обмен и некоторые окислительные процессы, участвуют в синтезе белков, повышают гидрофильность протоплазменных коллоидов, способствуют удержанию растениями свободной и связанной воды. Молибден, ванадий, марганец и осмий участвуют в специфических реакциях фиксации азота различными видами азотобактерий. Некоторые микроэлементы участвуют в обмене веществ у растений, повышают устойчивость их к грибковым заболеваниям. При недостатке микроэлементов у растений, животных и человека появляются характерные заболевания.

Изучение содержания микроэлементов в горных породах, почвах и природных водах особенно важно для использования их в форме удобрений, установления оптимальных содержаний, наилучшим образом обеспечивающих потребность в них живых организмов, а также для разработки агротехнических приемов геохимической мелиорации и создания искусственных ландшафтов. Важными становятся исследования биогеохимических провинций в зависимости от почвообразующих пород, процессов миграции элементов в почвах и ландшафтах, физико-географических условий местности, характера гидрогенного круговорота химических элементов и т.д.

В Белоруссии изучению этих вопросов уделяется большое внимание. В Институте геохимии и геофизики АН БССР исследуются геохимические и биогеохимические провинции, связанные с покровными породами и ландшафтами территорий; закономерности распределения породообразующих и основных микроэлементов в зависимости от генетических типов четвертичных отложений и почв, поверхностного стока и ландшафтных условий; на основе получаемых результатов составлены геохимические карты литогеохимических, гидрогеохимических и педогеохимических провинций.

6. Биологические средства повышения продуктивности ландшафтов

С каждым днем биологическая и сельскохозяйственная науки открывают новые эффективные средства, применение которых способствует повышению биологической продуктивности сельскохозяйственных культур и ландшафтов в целом.

Для повышения биологической продуктивности земледелия исключительно велики возможности генетики и селекции. Важной проблемой стало выведение новых продуктивных сортов и повышение качества продукции. Как отмечалось выше, в настоящее время на планете насчитывается свыше 500 тыс. видов растений и около 2 млн. видов животных (используется же в народном хозяйстве значительно меньше). Самым многочисленным является мир насекомых и микроорганизмов.

За многие века хозяйственной деятельности человек существенно изменил ареалы дикорастущей растительности, в результате селекционирования создал многочисленные виды растений и животных. Широко проводится акклиматизация животных — млекопитающих, рыб, птиц и насекомых. Так, в составе промысловых животных у нас акклиматизировались американские енот и норка, ондатра, нутрия, муфлон, лань. В Каспийском море появились новые виды рыб: ке-

фаль и камбала, завезенные из Черного моря. Из Ладожского озера в Грузию завезены сиг, рипус, ряпушка и др. В прудах европейской России появились амурские рыбы. Изменение ареалов растений и животных (интродукция) имеет большие потенциальные возможности для увеличения биологической продуктивности.

Главные задачи генетики и селекции — создание новых продуктивных сортов растений и видов животных, поиск новых путей сокращения вегетационного периода растений путем вмешательства в процесс их развития и роста, выведение новых сортов растений с более короткими сроками созревания, устойчивых к засухам и морозам, а также раскрытие тайн передачи наследственных признаков и использование их; разработка способов, позволяющих ускорять эволюцию организмов в желаемом направлении, расширение арсенала средств для получения гибридных растений и животных, ранее не скрещиваемых, и др.

Для повышения продуктивности растительного мира очень важно уменьшить зависимость культур от влияния атмосферных факторов — тепла и влаги, интенсивности освещения, заморозков и др.

Исключительно важный резерв развития сельского хозяйства — эффективная борьба с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений и животных, которыми ежегодно уничтожается или приводится в негодность до 20—30% мирового урожая. В странах Африки и Ближнего Востока большой урон сельскому хозяйству наносит саранча. Тучи саранчи общим весом от 50 до 100 тыс.т способны ежегодно поедать столько же растительной пищи. А сколько гибнет скота от чумы, ящура и других заболеваний! В этой связи необходимо разрабатывать и применять эффективные средства борьбы с вредными насекомыми, культивировать такие виды микроорганизмов, которые способствовали бы увеличению биологической продуктивности растений за счет внутренней борьбы. Уже создано и применяется много разнообразных химических средств для борьбы с сельскохозяйственными вредителями. Широко практикуется протравливание семян зерновых против головни, семян хлопчатника против гоммоза, семян льна против фузариума, плесени и т.д. Урожай культур в результате этого увеличивается на 1,5–5 ц/га.

Важное средство борьбы с болезнями растений — использование антибиотиков. Антибиотики, вводимые в ткань растений, способны убивать бактерии внутри растительных организмов и таким образом лечить уже заболевшие растения. Достигнуты хорошие результаты уничтожения вредных насекомых путем заражения их вирусами, бактериями и грибками.

В Советском Союзе разработаны, прошли государственные испытания и переданы в производство различные бактериальные препараты. Из них весьма эффективен энтобактерин, применяемый против листогрызущих вредителей плодово-ягодных, овощных и других культур. Применение его против капустной белянки, капустной моли и других вредителей позволяет почти полностью отказаться от ядохимикатов. Создан также грибковый препарат боверин. Испытания показали, что его можно применять против златогузки, яблоневой плодожорки, кукурузного мотылька. Он обладает длительным действием на последующие поколения вредителей. Расширяется применение одних насекомых для борьбы с другими, вредителями культурных растений. Например, наездник апантелес уничтожает гусениц бабочки-капустницы, афелинус — тлю, теленомус — клопа-черепашку, трихограмма — озимую совку. Разработан метод совместного

использования энтомофагов для защиты плодового сада от вредителей в зоне с одним поколением плодожорки, что позволяет полностью исключить или сократить химические обработки посадок. Расширяются исследования в области использования методов лучевой и химической стерилизации вредных насекомых, применения привлекающих (аттрактантов) и отпугивающих (репеллентов) веществ и др.

Ведутся исследования в области применения комбинированных методов — химических и биологических.

Наука уже сделала крупные шаги в области использования физических методов в сельскохозяйственном производстве (применение специальных осветительных установок, которые способствуют увеличению плодов помидоров, огурцов, создание постоянного микроклимата в парниковом хозяйстве и т.п.). Обилие электроэнергии и применение световой техники и других средств физического управления плодородием позволят в скором будущем в любых условиях, даже в области холодного климата, получать урожаи, во много раз превышающие настоящие.

Важнейшей проблемой повышения биологической продуктивности является повышение эффективности фотосинтеза — сложного биогеохимического механизма использования абиотических веществ для образования органических продуктов. Растения при помощи хлорофилла под действием солнечных лучей связывают прежде всего углекислоту в углеродные соединения и путем биологических трансформаций создают сложнейшие белковые соединения. Коэффициент полезного действия этого процесса зависит от поглощения растениями солнечной энергии. Сейчас растениями используется примерно 1/6 часть солнечной энергии для собственного преобразования вещества, остальные 5/6 используются животными и другими потребителями. Таким образом, от повышения коэффициента полезного действия механизма фотосинтеза существенно зависит повышение биологической продуктивности растений, т.е. содержание в них белковых веществ. Вытекающая отсюда задача сводится не только к тому, чтобы с каждого гектара получить больше зерна, кормов, сахарной свеклы, подсолнечника, но и добиться наибольшего содержания белка, сахара, жира.

Решение этой сложной задачи, с одной стороны, зависит от успеха физической науки в разработке биофизических способов использования солнечных лучей, а с другой — от развития генетики и селекции в создании продуктивных сортов растений с более эффективными механизмами фотосинтеза. Выявляется, например, очень важное значение красного и инфракрасного света для управления процессом фотофосфорилирования — ключевой стадии фотосинтеза. Циклическое и нециклическое фотофосфорилирование представляют собой новые фотохимические процессы, по-разному реагирующие на красный свет. Как полагают, эти два процесса определяют характер основных превращений световой энергии в химическую, являющихся первыми стадиями фотосинтеза. Поскольку фотосинтетический эффект отдельных видов растений различен, главный путь повышения фотосинтетического использования солнечной энергии — расширение площадей, правильно и интенсивно культивируемых, с наиболее ценными и продуктивными пищевыми и кормовыми растениями, которые характеризуются более высоким фотосинтетическим эффектом, чем многие естественные биоценозы. Важное средство физического воздействия на живые организмы — искусственное облучение.

Большие перспективы открываются также в связи с радиационным воздействием на живые организмы. Опыты показывают его положительное влияние на ускорение развития и роста растительности, повышение урожайности овощей и плодов. Физика и техника располагают автоматическими приборами для регистрации основных процессов, протекающих в почве (изменение температур и влажности, давления, скорости миграции элементов в почвенно-биологическом цикле и др.).

Многие из названных тем разрабатываются белорусскими учеными в Академии наук БССР и отраслевых институтах министерств и ведомств. Систематически изучается флора и фауна республики, ведутся исследования в области фотосинтеза, генетики, селекции, семеноводства, плодоводства, овощеводства, защиты растений от вредителей и болезней. Получены хорошие результаты в области скрещивания новых видов пшеницы, гречихи, ржи, ячменя, созданы новые сорта картофеля. Изучаются вопросы агрохимии и агротехники, регионального использования мелиорированных торфяно-болотных почв и т.п. Широкие исследования ведутся в области медицинской, сельскохозяйственной и промышленной биологии, разрабатываются рекомендации по эффективному внедрению результатов этих исследований в земледелие, животноводство, мелиорацию и механизацию сельскохозяйственного производства.

7. Создание специфических геохимических ландшафтов

К специфическим относятся все культурные и технические ландшафты, создаваемые человеком для хозяйственных и культурных нужд. Это искусственные водоемы, плотины, каналы, парки, пляжи, мемориальные места и др. Культурный ландшафт отражает прежде всего достижения технического прогресса, рост материальных и духовных возможностей человека. Он свидетельствует о стремлении человека к красоте, к созданию живописного облика местного ландшафта, гармонии между окружающей средой и достижениями культуры.

В нашей стране создание таких ландшафтов с каждым годом приобретает все больший размах. Перестраиваются колхозные села, создаются новые планировки городов и промышленных центров, осушаются болотные территории и орошаются засушливые пространства, изменяются течения рек, на картах появляется больше искусственных водоемов, осваиваются полярные районы и область вечной мерзлоты и т.п. При этом большое внимание уделяется рациональному использованию ресурсов биосферы и их охране. В больших масштабах проводится озеленение, устройство очистных, безотходных и других сооружений. Широко применяются технические способы утилизации промышленных отходов, биологические и химические средства борьбы с загрязнениями, проводятся мероприятия против теплового загрязнения.

Настанет время, когда будут создаваться специфические плантации растений и микроорганизмов — концентраторов отдельных химических элементов, например, йода, брома, ванадия, золота или белковых веществ. Наряду с земледелием на суше получит широкое развитие морское "земледелие" со своей специализацией в разных отраслях водорослеводства, планктоноводства, рыбоводства, звероводства и др. Оно может быть не менее, а возможно, и более продуктивным, чем земледелие на суше.

Как известно, некоторые морские организмы способны концентрировать большие количества кальция, кремния, фосфора, йода, ванадия и многих рассеянных элементов. Так, в пигменте крови асцидий ванадия содержится в миллиарды раз больше, чем в морской воде. В Японии под их плантации для

добычи ванадия используются огромные участки моря. Асцидии очень плодовиты. С I $м^2$ можно снять до I50 кг животных — живой руды. В золе диатомовых водорослей накапливается 50—70% кремния, а в теле лангуста (крупного морского рака) — в сотни тысяч раз больше кобальта, чем в воде. Значительная часть вырабатываемого сейчас йода добывается из морских водорослей.

Особенно перспективно использование такой гигантской "кормушки", как планктон (мельчайшие беспозвоночные бактерии и микроскопические водоросли). В Мировом океане общая масса планктона значительно превышает массу живых организмов суши. Продуктивность этой "фабрики" живых организмов поистине неисчерпаема, так как планктон обладает способностью размножаться с огромной быстротой. Он весьма ценен как пищевой продукт, богат белком, жирами, витаминами и другими питательными веществами.

Весьма перспективно также искусственное разведение водорослей. Некоторые из них, например, хлорелла, могут дать до 70 т богатого белками корма с каждого гектара водной поверхности.

Французские ученые изучили голубые водоросли (спирулин), культивируемые в прудах и болотах Африканского континента. Установлено, что они содержат белков в I0 раз больше, чем пшеница, в 3 раза больше, чем говядина, и в 30–35 раз больше, чем картофель. Высушенные водоросли содержат 68% белков, I8—20% глицидов, 2—3% липидов, витамины А, В, B_2, B_6, B_{I2}, С. Близ побережья Средиземного моря для выращивания спирулина был построен искусственный бассейн с физико-химическими и биологическими условиями, приближающимися к африканским (pH 8,5—II, температура до 30°, соответствующая освещенность). В таких условиях урожай водорослей составил I4 кг с I $м^2$ в день. Полагают, что за год их можно собрать 40—50 т/га. Это означает, что по весу урожай водорослей в I0 раз превышает урожай пшеницы на самых плодородных почвах Франции, а по питательным свойствам — в I00 раз.

Несомненно, что в будущем создание специфических геохимических ландшафтов займет видное место в хозяйственной и технической деятельности человека.

8. Социальные и биологические аспекты антропогенной экосреды

Окружающая среда представляет собой многообразное сочетание естественных, социальных и экономических комплексов, специфика которых определяется развитием производительных сил общества и производственными отношениями. В географии такие комплексы известны как культурные ландшафты. Их также называют антропогенными и техногенными ландшафтами. В каждой природной зоне и ландшафтном регионе антропогенная экосреда характеризуется своими особенностями, учитывая которые человек приспосабливается к ней и изменяет ее. Неправильны взгляды тех буржуазных ученых, которые развитие цивилизаций и общества в целом ставят в полную зависимость от окружающей среды, так же как и утверждения, недооценивающие роль природной среды и факторов в развитии общества, особенно на его первых этапах. С любой экосредой связаны климатические и гидрогеологические условия, почвенное плодородие, биомасса и биологическая продуктивность растительного и животного мира, наличие или отсутствие минеральных ресурсов, в зависимости от которых используются средства к удовлетворению жизненных потребностей и организуется производственная деятельность общества. По мере развития общества все

больше сокращается естественная экосреда и соответственно возрастает роль искусственной антропогенной (техногенной). Все это сопровождается существенными нарушениями природных равновесий в ландшафтах, которые часто приобретают огромные масштабы и становятся необратимыми. Как отмечалось выше, в наибольшей степени эти нарушения характерны для развитых капиталистических стран, где стремление к наживе сопровождается хищнической эксплуатацией природных ресурсов и преступным отравлением окружающей среды. Перечислим основные из них.

1. Истощение природных (особенно минеральных), лесных и животных ресурсов (исчезновение ряда видов последних). Сокращение возможности (в ряде регионов) для дальнейшего воспроизводства естественной растительности и диких животных, адаптированных в итоге вековой эволюции только к определенным условиям природной среды.

2. Разрушение экосистем (биогеоценозов), характерных для определенных географических территорий, резкое изменение экологического равновесия для их биоты (геоэкобиоты по И.П.Герасимову), т.е. совокупности растений и животных, связанных в развитии тесными взаимоотношениями.

3. Разрушение почвенного плодородия, сокращение биологической продуктивности ландшафтов, эрозия и истощение почв, вызванные застиланием подвижными песками плодородных земель, образование пустынь (например, превращение в пустыни цветущих долин Тигра и Евфрата, падение цивилизации Месопотамии, расширение пустыни Сахары, гибель плодородных земель в США).

4. Возрастающая неспособность окружающей среды, особенно в региональных и местных рамках, восполнять естественные свойства, восстанавливать природные равновесия в ландшафтах, возобновлять используемые ресурсы (например, влияние вырубки лесов на круговорот воды в биосфере, сокращение запасов рыбных богатств и др.).

5. Упрощение лесных и травяных экосистем, замена характерных для них сложных естественных биологических сообществ сравнительно простыми биогеоценозами, созданными человеком, в которых господствует всего несколько сортов растений. В результате разрушаются структуры биоценозов и популяций, нарушается их устойчивость к среде, увеличивается зависимость от вредителей — насекомых и различных микробных заболеваний.

6. Связанное с этим нарастающее потребление химических средств защиты биоценозов — пестицидов, гербицидов, фунгицидов и др. — и увеличивающееся загрязнение экосреды синтетическими веществами, не свойственными живым организмам. Еще далеко не изучены реальные последствия для экосистем, связанные с накоплением различных синтетических продуктов в ландшафтах, многие из которых являются трудно биоразложимыми. Следует иметь в виду, что в ландшафтах отрицательные пороговые изменения часто наступают с опозданием, когда уже упущено время для профилактического вмешательства.

В результате увеличивающегося поступления в биосферу химических и биологических продуктов техногенеза в экосистемах усиливается накопление токсических веществ (серы, ртути, нефти и др.), вызывающих отравление организмов и различные инфекционные заболевания. Повышается кислотность поверхностных вод, усиливаются различные бактериальные процессы в водоемах, резко изменяется среда экосистем. Хотя научно-технический прогресс в состоянии бороться с многими загрязнениями биосферы, часто успешное решение

этих вопросов возможно лишь тогда, когда процессы загрязнения не стали необратимыми.

Необратимым процессом является тепловое загрязнение экосистем, особенно в районах электростанций и спуска нагретых промышленных вод (известно, что рыбы, способные переносить увеличение температуры воды до 10^{0}, погибают при повышении ее на 12^{0}). С каждым годом тепловой эффект на биосферу увеличивается в результате потребления энергии, превращения ее (по законам термодинамики) в тепло. Большая часть тепловых отходов производства уходит в водоемы, часть их попадает в атмосферу и участвует в формировании погоды, главным образом в данном районе. Но предполагается, что тепловые изменения в атмосфере в большей мере могут быть связаны с увеличивающимся поступлением в нее углекислого газа. Это может повлечь за собой глобальные изменения климатических условий планеты, биологической продуктивности биосферы и ландшафтов (см. главу IУ).

В настоящее время воздействие на окружающую среду возрастает (и впредь будет возрастать) в связи с ростом городов и индустриальных узлов металлургического, химического и биологического производства, применением новых научно-технических способов переработки естественных ресурсов в искусственные и т.п. В результате проблема экосреды приобретает исключительно важное значение. Ландшафтно-экологическая среда должна быть чистой, защищенной от загрязнений воздуха, воды, почвы; она должна отвечать гигиеническому, эстетическому и психологическому комфорту.

Таким образом, изучение физических, химических, биологических закономерностей, определяющих формирование экосреды, ее параметры, тенденции развития и эволюции, а также использование методов и способов управления природными процессами представляют наибольший интерес для науки и техники как в настоящее время, так и в будущем. В частности, необходима срочная детальная разработка норм предельно-допустимых концентраций в воздухе и воде химических компонентов; расширение геохимических, биологических и физиологических исследований по выявлению вредного воздействия на человека различных выбросов в биосферу новых химических производств, по определению комплексного воздействия хемогенных и биогенных компонентов на его физиологическую деятельность; разработка новых технологических способов, исключающих загрязнение биосферы промышленными и бытовыми отходами. Решение этих проблем во многом зависит от оценки возможного развития геологической и геохимической сред в результате застройки, использования подземных вод, эксплуатации месторождений полезных ископаемых и т.д.

В программе исследований в области экологии человека виднейшее место должно также занимать изучение заболеваний человека, особенно связанных с изменением окружающей среды, ее химическим и биологическим загрязнением, взаимодействием человека с животным и растительным миром. В целом программа создания нормальной для человека экосреды в быстро изменяющейся биосфере (включая ее организацию и наиболее оптимальное решение), по мнению авторов, должна включать следующие наиболее важные аспекты.

I. Социально-экономические мероприятия, обеспечивающие наиболее оптимальное планирование в области использования ресурсов ландшафтов и экосистем, их эксплуатации и воспроизводства, а также разработку мероприятий, обеспечивающих экономическую заинтересованность предприятий и организаций

в соблюдении планов и норм рационального природопользования. Этот аспект включает также детальный учет природных ресурсов, инвентаризацию источников загрязнения окружающей природной среды, разработку систем показателей долгосрочных народнохозяйственных планов в области природопользования и охраны окружающей среды и т.д.

2. Архитектурно-строительные мероприятия, обеспечивающие новые принципы градостроительства, строительства промышленных комплексов, гидроэлектростанций и др., основанные на оптимальных решениях, учитывающих размер производства, количество населения, потенциальные возможности биосферы, источники возможного загрязнения.

3. Технологические мероприятия, обеспечивающие наиболее рациональное и комплексное использование ресурсов (минеральных, природных вод, почвы, атмосферных осадков, тепла и др.), устраняющие загрязнение экосистем, отравление организмов ядохимикатами и обеспечивающие использование новых методов борьбы с поступлением в биосферу загрязняющих веществ, их распространением и накоплением в экосистемах.

4. Инженерно-геологические работы, обеспечивающие оценку геологической среды — строение и состав литосферы, тектонические, гидрологические, гидрогеологические условия — для оптимального решения вопросов проектирования и прогнозирования возможного изменения грунтовых и других условий в результате строительства, мелиорации, добычи полезных ископаемых, водозабора.

5. Санитарно-гигиенические мероприятия, обеспечивающие чистоту воздуха, воды, пищи и предотвращающие потенциальную возможность загрязнения их токсическими веществами и бактериями — носителями различных заболеваний.

6. Рекреационные работы, предусматривающие осуществление (при техногенном изменении ландшафтов, отчуждении территорий под застройки и т.п.) мероприятий, наиболее благоприятствующих использованию (в интересах здоровья человека) биоклиматических факторов, ресурсов минеральных вод; размещение зон отдыха с учетом рекомендаций специалистов по медицинской географии и т.п.

Следует еще раз подчеркнуть, что успешное решение этих и других вопросов рационального использования ландшафтных ресурсов, их охраны и улучшения окружающей среды возможны лишь на базе глубокого изучения биосферы и ландшафтов в региональных и глобальных аспектах, в теснейшей взаимосвязи с социальными задачами общества, на основе умения управлять природными процессами.

9. Возможности научно-технического прогресса в области управления природными процессами и развитием ландшафтов

На рассмотрение XXIX сессии Генеральной Ассамблеи ООН (1974г.) Советский Союз внес проект конвенции "О запрещении воздействия на природную среду и климат в военных и иных целях, не совместимых с интересами обеспечения международной безопасности, благосостояния и здоровья людей". В предложенном примерном тексте конвенции говорится, что в условиях непрерывного научно-технического прогресса создаются новые возможности для опасного воздействия на окружающую среду и климат. Конвенция требует, чтобы каждый ее участник обязался не разрабатывать метеорологических, геофи-

зических и иных научно-технических способов воздействия на природную среду, включая атмосферу, поверхность суши, дно морей и океанов, земные недра, водную среду и любые другие элементы окружающей среды, которые несовместимы с интересами обеспечения международной безопасности, благосостояния и здоровья людей.

В конвенции перечисляются возможные в настоящее время способы нежелательного воздействия на окружающую природную среду:

внесение в облачные системы (воздушные массы) химических реагентов с целью осаждения влаги (образования облаков); изменение элементов погоды, климата и гидрологического режима вод суши на любой части земной поверхности; создание искусственных устойчивых электромагнитных и акустических полей в океанах и морях; изменение естественного состояния рек, озер, болот и других водных объектов суши любыми методами и средствами, приводящее к обмелению, высыханию, наводнениям, затоплениям, разрушениям гидротехнических сооружений и другим вредным последствиям; нарушение естественного состояния литосферы, в том числе поверхности суши, механическими, физическими и иными средствами, приводящее к эрозии, изменению механической структуры, обезвоживанию или затоплению почвы, нарушению ирригационных и мелиоративных систем; выжигание растительности и другие действия, приводящие к нарушению экологии растительного и животного мира;

прямые или косвенные: воздействие на электрические процессы в атмосфере; нарушения элементов энергетического и водного баланса метеорологических объектов (циклоны, антициклоны, фронтальные системы облаков); изменения физических и химических параметров вод, дна и побережья морей и океанов, приводящие к изменению гидрологического режима, водообмена и экологии биологической массы морских и океанических вод; возбуждения сейсмических волн любыми методами и средствами, приводящие к землетрясениям и сопутствующим им процессам и явлениям, а также к созданию в океане разрушительных волн, в том числе типа цунами; воздействия на поверхность акваторий, приводящие к нарушению термического и газового обменов гидросферы и атмосферы; воздействие на ионизированные слои, слои озона в атмосфере, внесение поглотителей тепловой и радиационной энергии в атмосферу и на подстилающую поверхность и иные действия, которые могут привести к нарушениям теплового и радиационного баланса системы земля—атмосфера—солнце.

Этот перечень возможных геологических, геофизических, экологических и других воздействий на окружающую природную среду свидетельствует о том, что, используя современные достижения научно-технического прогресса, человек в состоянии сознательно управлять многими природными процессами и использовать их разрушительную силу и энергию в тех случаях, когда он может быть в этом заинтересован. В то же время в интересах благосостояния человек способен направлять эти процессы на защиту и охрану окружающей среды от загрязнения, на увеличение почвенного плодородия, более эффективного использования минеральных и биологических ресурсов и т.д. На основе своевременного прогнозирования и совершенствования социально-экономического механизма управления природопользованием он может целенаправленно развивать производительные силы, повышать экономический и природный потенциалы, увеличивать биологическую продуктивность естественных и культурных эко-

систем, повышать полноту и комплексность использования природных ресурсов, применять новые способы и технические средства в производственных процессах, научных исследованиях и т.д. В будущем человек сможет управлять и многими другими природными и техническими процессами, которые в настоящее время не подвластны ему.

В числе таких процессов следует назвать прежде всего управление фотосинтезом; обеспечение почвенного плодородия главным образом за счет деятельности растений, животных и микроорганизмов; регулирование равновесий в ландшафтах, способствующих нормальному осуществлению живым веществом геохимических функций биологического круговорота, ограничивающего накопление в окружающей среде токсических элементов и компонентов ртути, свинца, стронция, аммиака, нитратов, гидросульфидов, радиоактивных веществ и т.д.; техническое или биологическое полное превращение промышленных и бытовых отходов в новые ресурсы, создание экологических условий среды с такими параметрами, которые обеспечивали бы продовольствием многие миллиарды людей, предостерегали их от заболеваний, способствовали долголетию; управление механизмом питания растений и животных абиотическими элементами, обеспечивающее наиболее благоприятные условия их развития, содержание полезных компонентов в нужных количествах.

В решении этих вопросов наиболее важно, вероятно, установить, что, когда и как осуществлять, какие критерии целесообразности и эффективности и в каких сочетаниях использовать. К сожалению, еще долго (а может быть и никогда) человек не в состоянии будет воспроизводить некоторые природные процессы и регулировать механизмы их действия, как это выполняют географические ландшафты и биосфера. Имеется в виду прежде всего полное управление глобальными атмосферными процессами, механизмом круговорота воды в системе атмосфера—океан, зависимость природных процессов от физико-географической зональности земной поверхности и т.д.

Глава X. НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ И ОХРАНЫ ЛАНДШАФТОВ И БИОСФЕРЫ

I. Международная программа ЮНЕСКО "Человек и биосфера"

За последние 10–15 лет при участии ЮНЕСКО и других международных организаций осуществлен или осуществляется ряд международных программ и проектов по изучению Солнца, мантии Земли, глубин Океана, гидрологии суши, биологических ресурсов, почвенного покрова, продовольственных ресурсов, проблемы народонаселения, геологических корреляций. В США была организована международная выставка "ЭКСПО-74", посвященная охране окружающей среды. Были проведены международные конгрессы, конференции и симпозиумы, на которых обсуждались проблемы биосферы и ее ресурсов, изучения, рационального использования и охраны окружающей среды (например, конференция ООН по окружающей среде в Стокгольме, симпозиум "Марксизм-ленинизм и проблемы сохранения окружающей среды", 1972г.). На X Международном конгрессе почвоведов, состоявшемся в 1974 г. в Москве, было уделено большое внимание рациональному использованию почв, охране их от эрозии, засоления, заболачивания, повышению плодородия.

Значительно возросла публикация работ по биосфере, в том числе результатов научных наблюдений, исследований.

В рамках СЭВ координируются действия в области экономической интеграции, развития базы добычи минерального сырья, рационального использования природных ресурсов, охраны окружающей среды от загрязнения и т.д. В области глобального изучения геологического строения, устройства рельефа, речных артерий и бассейнов, растительного и почвенного покрова, атмосферных процессов широко применяются съемки со спутников. Дальнейшее использование спутников для этих целей даст возможность получить еще более реальные представления о ландшафтах планеты и их специфике. Важнейшим средством изучения ландшафтов и их компонентов становятся радиометрические, спектроскопические, изотопные, математические, кибернетические и другие методы исследований.

В 1971 г. ЮНЕСКО принята Международная программа "Человек и биосфера", цель которой — при помощи естественных и социальных наук заложить фундамент для рационального использования и сохранения ресурсов биосферы, улучшения взаимоотношения между человеком и окружающей средой; предвидеть последствия влияния сегодняшней деятельности человека на мир будущего,

соответственно увеличивать возможности и способности человека более эффективно и умело пользоваться естественными богатствами биосферы (Врабун Н., 1974).

Цели, задачи и научно-организационные методы осуществления этой программы формулируются следующим образом: оценивать и идентифицировать изменения в биосфере в результате деятельности человека и влияния на него этих изменений; изучать и сопоставлять структуру, функционирование и динамику естественных, измененных и контролируемых экосистем; изучать и сопоставлять динамическую взаимосвязь между естественными системами и социально-экономическими процессами, особенно влияние изменений в народонаселении, поселениях и технологии на будущую жизнеспособность этих систем; разрабатывать научные критерии, которые могли бы служить базой для рационального пользования естественными ресурсами; устанавливать стандартные методы сбора и обработки данных об окружающей среде; содействовать развитию моделирования и других методов прогнозирования в качестве инструментов для управления окружающей средой; содействовать образованию по проблемам окружающей среды в широком смысле, внушать идеи с сотрудничестве человека с природой и его персональной ответственности за нее; организовывать центры подготовки специалистов-экологов и др.

В программе подчеркивается, что само название "Человек и биосфера" предопределяет изучение сложного комплекса взаимодействий социального и природного характера в глобальном и региональном аспектах с использованием современных научно-технических достижений. Задача программы — стимулировать и координировать исследования по биосфере, оказывать помощь и поддержку в осуществлении ее проектов.

На начальном этапе в программу включено 13 международных проектов "Человек и биосфера".Из них первые семь предусматривают изучение влияния человека на главные экологические системы и физико-географические ландшафты тропического леса и на экосистемы и ландшафты: умеренной зоны и Средиземноморья; лугов и пастбищ, саванн, травянистых ландшафтов от тундры до засушливых районов; пустынь и полупустынь; озер, болот, рек, дельт, эстуариев и прибрежных районов; горных и островных районов. Проекты 8-10 и 12 включают изучение вопросов, связанных с сохранением естественных районов и содержанием в них генетического материала; экологической оценкой борьбы с сельскохозяйственными вредителями и использованием удобрений в земных и водных экосистемах; влиянием инженерно-технических работ на человека и окружающую среду; взаимодействием между преобразованиями окружающей среды и генетическими и демографическими изменениями. Проект 11 посвящается изучению экологических аспектов использования энергии в городских и промышленных системах; проект 13 формулирует необходимость общего понимания глобального состояния окружающей среды с целью разработки критериев и действенных мероприятий для эффективного осуществления проектов программы.

Основой программы является изучение экологических вопросов, исследование влияния человека и технического прогресса на экосистемы разных природных зон и регионов; оценка влияния удобрений, пестицидов, способов обработки почв, земледелия, содержания химических элементов и других природных и технических факторов на развитие и эволюцию экосистем и ландшаф-

тов; осуществление научно-технических мероприятий, обеспечивающих повышение продуктивности биосферы, рациональное использование ее минеральных и биологических богатств, охрану окружающей среды от загрязнения.

2. Основные направления изучения биосферы в БССР

Основные направления научных исследований по биосфере в Белорусской ССР были определены научной сессией Академии наук БССР. Важнейшей задачей научных учреждений Белорусской ССР считается развитие комплексных исследований, направленных на разработку научных основ природопользования, оценок и прогнозов состояния среды в следующих основных направлениях:

1) влияние хозяйственной деятельности человека на биологические ресурсы и природные ландшафты Белоруссии;

2) охрана, учет и хозяйственное использование ценных видов растений и животных;

3) исследование загрязнения окружающей среды и его влияния на биосферу;

4) разработка научных основ технологических процессов, исключающих вредное влияние производства на окружающую среду; научные основы очистки и утилизации отходов;

5) научные основы охраны биосферы в связи с развитием химической промышленности и способами добычи и переработки минерального сырья;

6) научные основы охраны атмосферы, водных ресурсов и почв от загрязнения;

7) принципы эколого-экономической оценки важнейших природных ресурсов и оценки полезных и вредных результатов воздействия человеческой деятельности;

8) создание единой системы правовых норм в области природопользования.

Этот перечень дополнен Международной программой "Человек и биосфера". Решение этой проблемы должно быть направлено на обеспечение максимальной эффективности общественного производства при наиболее рациональных формах использования всех видов природных ресурсов, а также на создание оптимальных условий труда и жизни человека.

Общие направления изучения биосферы, прогнозирования возможных в ней изменений в результате хозяйственной деятельности человека нуждаются в разработке более конкретных проблем и тем для организации научных исследований и опытных наблюдений в отдельных институтах АН БССР, высших учебных заведениях и отраслевых институтах министерств и ведомств. Они должны включать научные исследования в области географии, геологии, геофизики, геохимии, биологии растений и животного мира, экономики, технологии, права, энергетики, моделирования и др.

3. Геохимическое изучение биосферы и ландшафтов

Можно назвать ряд аспектов геохимического изучения биосферы и ландшафтов. К важнейшим из них прежде всего следует отнести изучение: кларкового состава литосферы, гидросферы, педосферы, растительного покрова; круговорота химических элементов в биосфере, участие их в абиотических и биотических процессах в ландшафтах; геохимических функций живого вещества биосферы в разных ландшафтных условиях; геохимических и биогеохимических про-

винций; геохимических продуктов литогенеза, гидрогенеза, педогенеза, биогенеза; геохимических параметров ландшафтной среды, их изменений в результате химического и теплового загрязнения; пороговых содержаний химических элементов (избыточных, недостаточных, оптимальных), оказывающих влияние на развитие и эволюцию биоценозов; геохимических индикаторов, отражающих процессы цикличности, ритмичности и динамики развития ландшафтов и экосистем и др.

С переходом биосферы в ноосферу изменяются многие ее геохимические функции, возникают новые задачи ее изучения — выявление субрегионов биосферы техногенного происхождения (т.е. новых геохимических и биогеохимических провинций техногенного происхождения), реакций организмов на техногенную миграцию химических элементов, познание механизмов адаптации организмов к условиям меняющихся звеньев биогеохимической пищевой цепи и др. Возрастает необходимость комплексного биогеохимического районирования экосистем биосферы — выделения регионов и субрегионов с учетом всех звеньев биогеохимической цепи: почвообразующих пород, почв, природных вод, растительных и животных биоценозов и популяций, химического состава кормовых и пищевых ресурсов.

Исключительно важное значение приобретают вопросы прогнозирования развития геохимической среды ландшафтов, экосистем и биоценозов, т.е. оценки влияния дальнейшего техногенеза на природные процессы в биосфере, геохимический баланс и круговорот в ней биофильных элементов и т.д.

В Институте геохимии и геофизики АН БССР изучаются геохимические, гидрогеохимические и биогеохимические провинции и регионы по господствующему в них составу макро- и микроэлементов в породах, почвах и растениях; влияние мелиорации на динамику геохимических процессов в почвах; техногенно-естественные комплексы ландшафтов с учетом различных трансформаций, происходящих в них под воздействием хозяйственной деятельности и др. Составляются карты и схемы, показывающие влияние техногенеза на природные комплексы.

В перспективе предусматриваются значительные расширения исследований природной среды Белоруссии в плане рационального использования, охраны и восстановления ее ресурсов. Большую роль здесь будет играть геохимическое изучение биосферы и ее ландшафтов; взаимодействия живых организмов и органического вещества с горными породами, минералами и отдельными химическими элементами; факторы ускорения или замедления природных геохимических процессов в разных ландшафтных условиях. С этим связано совершенствование методов изучения объектов биосферы, определение химических элементов, их различных форм и соединений.

Большое значение приобретает геохимическое картирование избыточных и недостаточных в почвах, растениях и водах Белоруссии макро- и микроэлементов для целей районирования ландшафтно-геохимических и биогеохимических провинций и более рационального использования потенциала ландшафтов в народном хозяйстве.

Глубокое геохимическое изучение биосферы и ландшафтов, процессов круговорота вещества и энергии, изменений в параметрах геохимической среды (pH, Eh), геохимических функций живого вещества, количественная оценка миграции химических элементов в связи с техногенными изменениями в ланд-

шафтах приобретает самое актуальное значение в вопросах охраны биосферы, увеличения ее продуктивности, улучшения окружающей среды для деятельности человека и развития жизни на Земле. В этой связи следует воздать должное нашему гениальному соотечественнику В.И.Вернадскому, который, говоря о переходе биосферы к ноосфере, т.е. к разумному воздействию человека на природу, безусловно, имел в виду комплексное использование ее богатств, основанное на глубоком понимании новых взаимодействий между человеком и биосферой, новых ситуаций, которых необходимо избегать, вторгаясь в биосферу с современными достижениями научно-технического прогресса с целью ее коренного преобразования.

4. Необходимость дальнейшей разработки теоретических и методических вопросов геохимии ландшафтов

Как известно, геохимия ландшафтов представляет собой одно из направлений современного геохимического изучения географической оболочки земной коры. Это направление зародилось в Советском Союзе в 30-х годах XX в. в результате классических работ академика Б.Б.Полынова. В настоящее время геохимическое изучение ландшафтов получило широкое развитие, особенно в нашей стране.

Главные особенности геохимического изучения ландшафтов заключаются в том, что химический состав и подвижность элементов и соединений анализируются в ландшафтном комплексе. С помощью сопряженного геохимического анализа выявляются закономерности миграции химических элементов в различных типах природных ландшафтов: в породе, почве, растительности и воде; делаются выводы о поведении химических элементов в ландшафте, их выносе и накоплении в остаточных и аккумулятивных продуктах выветривания, концентрации и рассеянии в ландшафтной оболочке, о роли химических элементов в жизнедеятельности животных и растений, образовании ореолов рассеяния и биогеохимических провинций и др.

К числу наиболее актуальных теоретических вопросов геохимии ландшафтов необходимо отнести установление геохимических типов и разновидностей ландшафтов в зависимости от географической зональности и азональности в природе, рельефа, сочетания биоценозов, процессов выветривания и почвообразования, геологического и биологического круговоротов химических элементов в земной коре и биосфере, а также от других факторов и процессов, формирующих ландшафт на отдельных территориях земной поверхности; разработку геохимических классификаций ландшафтов, принципов их районирования, геохимического картирования; установление палеогеографического и палеогеохимического развития — эволюции, динамики и ритмики геохимических процессов; разработку критериев анализа и синтеза ландшафтно-геохимических комплексов ареалов и компонентов, соединенных географической взаимосвязью (хорологической, биотической и др.); выявление принципов ландшафтно-геохимической типизации и генерализации географических территорий на основе выделения и сопоставления индивидуальных и комплексных признаков, свойственных ландшафтам. Из сказанного вытекают способы и методы геохимического изучения ландшафтов, анализа и синтеза явлений и процессов, определяющие развитие ландшафтов, их динамику и эволюцию.

В географии в целом и геохимии ландшафтов более полно разработаны вопросы покомпонентного анализа, в меньшей мере — ландшафтного синтеза, охватывающего различные закономерности и причинности развития ландшафтов, их динамики и эволюции в зависимости от хорологических, абиотических, биотических и других связей. Важное значение при этом имеют методы сравнения и сопоставления типичных структур ландшафтного комплекса, палеогеографических условий развития, типов экосистем, контрастности в ландшафтах, соотношения в хронологической и региональной гомогенности и гетерогенности и т.п.

Развивающиеся в биологии и биогеографии ландшафтно-экологическое и эколого-геохимическое направления дают конкретный материал для сопоставления абиотических и биотических условий развития биоценозов в определенных экосистемах и ландшафтах. Экосистемы в то же время отражают многообразие способов аккумуляции, синтеза и трансформации энергии и вещества в результате биогеохимической деятельности живых организмов.

Изучение экосистем, их компонентов, биогеохимических циклов круговорота элементов и их соединений, участия макро- и микроэлементов в пищевой цепи позволяет решить ряд практических задач в области геохимии ландшафтов (изменение сообществ биоценозов, обогащение ландшафта дефицитными элементами и т.д.).

Важнейшими проблемами геохимического изучения биосферы, выполняемого биогеохимией, является изучение геохимических процессов, происходящих в земной коре и биосфере при участии организмов. Сюда входят изучение биогенной миграции как специфической формы всеобщей миграции элементов в природе; взаимодействие органических и неорганических веществ при образовании биолитов, почв и других органических компонентов, роли биогеохимической деятельности различных организмов (продуцентов, консументов, биоредуцентов) в создании геохимической среды экосистем; изучение биогеохимических циклов круговорота в биосфере воды, углерода, азота, фосфора, серы, биогенных катионов (калия, кальция, магния, натрия, железа, бора, цинка, меди, марганца, молибдена и др.); изучение вопросов биологической значимости отдельных химических элементов для животных и растений, их роста и развития, специфической концентрации в отдельных органах и тканях; пороговые значения токсичности отдельных элементов, физиологически активных и неактивных, играющих в организмах большую роль в качестве катализаторов; эволюции морфофизиологических особенностей животных и растений в зависимости от геохимической среды; изучение геохимических функций живого вещества (газовых, концентрационных, окислительно-восстановительных и др.), совокупность которых определяет все геохимические процессы развития и эволюции биосферы, богатство и разнообразие растительного и животного мира, превращение вещества из одних форм и состояний в другие, и т.п. Соответственно требуются разработки и использование новых методических способов лабораторного и стационарного изучения живого вещества, его биомассы и продуктивности биогенного и биокосного вещества.

В целом же необходимо расширять и углублять геохимическое учение о ландшафтах, экосистемах и биосфере, учитывая, что они образуют окружающую среду, изучение которой с точки зрения охраны и рациональности использования природных ресурсов представляет и будет представлять большой научный и социально-экономический интерес.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В книге рассмотрены и обсуждены важнейшие вопросы, касающиеся географических ландшафтов и биосферы, протекающих в них геохимических и других процессов в зависимости от разных природных факторов и сочетаний. Затронутые проблемы представляют актуальный научный и практический интерес как важнейшие проблемы современности и будущего человечества.

С географической оболочкой, ее ландшафтами и биосферой, ресурсами и условиями безраздельно связана жизнь всего живого на планете, разнообразная хозяйственная деятельность человека, развитие материальной и духовной культуры общества. Сейчас на Земле уже почти нет места, где не ступала бы нога человека, и нет окружающей среды, которая тем или иным образом не отражала бы следов хозяйственной деятельности людей. Этой хозяйственной деятельностью (часто не вникая в последствия и результаты, а в ряде случаев и игнорируя их) человек коренным образом изменяет биосферу и ландшафты, создает новую среду обитания для всего живого, физические, химические и биологические условия которой в ряде случаев неблагоприятствуют нормальному развитию живых организмов. Особенно заметно стало влияние на биосферу, выражающееся в добыче полезных ископаемых, строительстве гигантских плотин и электростанций, мелиорации земель, внесении на поля минеральных удобрений и т.п. Добычей полезных ископаемых человек перемещает многие миллиарды тонн горных пород, вовлекает в геохимический круговорот большое количество химических элементов, которые переходят в дисперсное состояние и вступают в интенсивную миграцию в ландшафтах. Строительством городов и сел, дорог и различных промышленных сооружений изменяется облик ландшафтов — увеличивается площадь застроенных земель, сокращается площадь лесов и естественных ландшафтов. По воле человека на поверхности планеты возникли десятки тысяч искусственных водоемов и каналов, гигантских плотин и электростанций. С ними связаны прежде всего коренные изменения в водном режиме огромных территорий, целенаправленное решение ряда научно-технических проблем мелиорации земель, освоения пустынь, развития промышленного производства ряда отраслей и т.д. В результате создаются новые типы биосферы и ландшафтов, новые способы использования природных ресурсов.

С каждым годом на сельскохозяйственные угодья вносятся сотни миллионов тонн химических и органических удобрений, используются сотни видов ядохимикатов для борьбы с сорняками, грызунами, паразитами. В результате в геохимический и биологический круговорот вещества часто поступают "избыточные" химические соединения, пороговые значения полезности которых намного превышают те, что необходимы для нормального биохимического

развития живых организмов и их оптимальной продуктивности. Осуществляются инженерные и хозяйственные мероприятия по осушению и орошению земель, изменению течений рек и т.д.

Серьезную угрозу стало представлять загрязнение атмосферы и биосферы суши и Мирового океана радиоактивными элементами -- продуктами испытаний атомного оружия и отходами атомной промышленности. Все это вызывает крупные изменения химических и биологических условий биосферы, процессов миграции химических элементов и их подвижных соединений в ландшафтах, нарушает экологическое равновесие. Воздух, природные воды и почвы загрязняются химическими и биологическими соединениями, в них снижается содержание кислорода и увеличивается количество кислот, щелочей, фосфатов, нитратов и других отравляющих веществ. В водоемах стимулируется развитие водорослей, поглощающих кислород, ухудшается газообмен, увеличивается объем органической разлагающейся массы, разрушается естественная среда, превращаясь (пока в ряде случаев) в анормальную для развития животных и растений.

В числе основных источников и компонентов техногенного загрязнения наибольшее значение имеют следующие: 1) органические вещества (в стоках предприятий пищевой, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности), резко снижающие в воде содержание кислорода (коэффициент БПК); 2) твердые взвеси, особенно вблизи горно-рудных предприятий и размывающихся берегов, а также продукты эрозии почв; они заносят корни придонных растений, уменьшают проникновение в воду света, необходимого для фотосинтеза, образуют мели, изменяют скорость течения рек и т.д.); 3) ядохимикаты -- несколько сотен наименований химических веществ, используемых в качестве фунгицидов, инсектицидов, гербицидов; как яды они по-разному действуют на организмы, токсичность их зависит от многих факторов (содержания кислорода, pH, концентрации, температуры, состава биоценозов и т.п.); известны случаи накопления значительных количеств пестицидов в цепи питания птиц и рыб, в том числе океанических биоценозов; 4) вещества, вызывающие эвтрофикацию озерных водоемов -- изменение питательных веществ (удобрения), поступающих в водные бассейны в высоких концентрациях; в эвтрофном водоеме вода мутная, дно илистое, много органических остатков, ухудшенная среда газообмена; 5) радиоактивные отходы ядерных взрывов, реакторов, научных лабораторий, аварий на атомных электростанциях и др.; 6) горячие стоки электростанций и предприятий; эффект действия тепла на водные биоценозы выражается в ускорении дезоксигенизации, усилении эффективности ядов, увеличении потребности в кислороде, повышении скорости химических реакций; хлорированные воды могут выделять свободный хлор -- в высшей степени ядовитое вещество, которое при взаимодействии с сернистыми соединениями (тиосульфатами) образует хлористый циан (смертельный яд) и соляную кислоту; 7) неорганические соли -- продукты реакций нейтрализации, которые идут с участием кислот, применяемых в промышленности; 8) нефть и нефтепродукты, даже тончайший слой которых уменьшает скорость проникновения кислорода в воду и убивает морские организмы, жизнь которых связана с поверхностью воды; один литр неф-

ти может покрыть пленкой примерно полгектара поверхности воды; 9) детергенты — высокие концентрации их убивают клетки растений, частично растворяют жиры клеточных мембран, понижают способность биоценозов противостоять недостатку кислорода в воде, высвобождают большое количество фосфатов, что способствует эвтрофикации; IO) другие химические продукты, поступающие в атмосферу и гидросферу, которые еще мало изучены (полициклические водороды, токсические элементы и т.д.).

Это позволяет считать, что проблема жизненной среды для организмов и человека становится все более злободневной. Следует учесть при этом, что поступление в биосферу продуктов техногенеза будет непрерывно возрастать.

Таким образом, проблема биосферы, рационального использования природных ресурсов, охрана воздуха, воды, почвы от загрязнения вырастает в одну из самых актуальных и важнейших проблем — проблему природопользования (разумеется, на рациональной научно-технической основе). Для этого необходимы сотрудничество и координация действий в областях рационального использования и эффективной охраны минеральных и биологических ресурсов Мирового океана; сохранения и увеличения численности видов и сообществ животных, находящихся на грани истребления и вымирания; разработки и использования новых технологических способов комплексной переработки многокомпонентных руд, стандартизации оборудования и процессов; разработки долгосрочных научно-технических прогнозов влияния технического прогресса на окружающую среду, обоснования наиболее целесообразных вариантов использования естественных ресурсов и улучшения экосреды; осуществления разработанной ЮНЕСКО программы геологических корреляций, использования спутников для изучения ресурсов планеты, метеорологических, гидрологических и других наблюдений и съемки.

Весьма плодотворным в этом отношении является сотрудничество стран социалистического лагеря, осуществляющих долгосрочное планирование в рамках СЭВ, экономическую интеграцию в области развития народного хозяйства и использования природных ресурсов.

При экономической интеграции более эффективно распределяется труд между странами по добыче и переработке основных видов сырья и топлива, проведению научных исследований и т.д. Такое сотрудничество гарантирует успешное осуществление мероприятий по использованию природных ресурсов, позволяет правильно сочетать текущие и перспективные интересы стран и гарантирует устойчивое экономическое развитие, придавая ему долгосрочный и стабильный характер.

В Советском Союзе впервые в мире охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов возведены в ранг государственной политики еще первыми декретами о земле, лесе, заповедниках, подписанными В.И.Лениным. Эти вопросы отражены в Программе КПСС, решениях XXIV съезда КПСС и других партийных документах. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли ряд постановлений, связанных с предотвращением загрязнений бассейнов рек Волги и Урала неочищенными сточными водами, с освоением ресурсов в бассейне озера Байкал и сохранением уникальных свойств этого водоема. Верховный Совет СССР в сентябре 1972 г. принял постановление "О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природ-

ных ресурсов", в котором обращается внимание на то, что охрана природы является неотъемлемой частью научно-технического прогресса, составной частью программы строительства коммунизма в СССР. В постановлении указывается, что основными мерами являются совершенствование планирования, комплексное использование природных ресурсов, строительство очистительных сооружений, предотвращение вредных выбросов в атмосферу и сброса сточных вод, разработка градостроительных нормативов, расширение научно-исследовательских работ. Руководствуясь этими принципами, партия и государство требуют постоянной заботы о земле, лесе, реках, о чистоте воздуха, растительном и животном мире, о местах отдыха трудящихся.

В соответствии с постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР с 1974 г. должны разрабатываться перспективные и годовые планы природопользования как составные части перспективных и годовых планов развития народного хозяйства союзных республик и СССР в целом. Постановлением поручено АН СССР и Государственному комитету Совета Министров СССР по науке и технике организовать Межведомственный научно-технический Совет по комплексным проблемам окружающей среды, что позволит координировать мероприятия и устранить ведомственную ограниченность в использовании природных ресурсов и охраны биосферы.

В решениях партии и правительства Белорусской ССР об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов в республике определены главнейшие мероприятия, которые должны осуществлять в этой области отдельные министерства и ведомства республики. Неуклонное выполнение их является главной гарантией дальнейшего улучшения охраны природы и рационального использования ее ресурсов с учетом всех аспектов хозяйственной деятельности.

Рациональное использование ресурсов биосферы — минеральных, водных, растительных, животных — охватывает весь комплекс вопросов, связанных прежде всего с эффективным использованием их в хозяйственной деятельности; утилизацией отходов; повышением коэффициента извлекаемости полезных компонентов из руд; расширением номенклатуры заменителей одних видов сырья другими; осуществлением ряда технологических мероприятий по борьбе с загрязнением среды отходами промышленности и транспорта; эффективным использованием удобрений и ядохимикатов, способствующих увеличению продуктивности биоценозов; использованием в прудах и водоемах горячих промышленных стоков; эффективным научным управлением развития растительных и животных сообществ, способствующих сохранению и увеличению численности популяций; комплексной разработкой научных проблем, связанных с выяснением биологической, геохимической, географической закономерностей процессов развития эволюции биосферы под влиянием естественных и техногенных факторов.

Планирование оптимального размещения промышленных комплексов, городских и сельских населенных пунктов, инженерных сооружений с учетом природных условий (ландшафтов, ресурсов, рельефа и др.) является важнейшей предпосылкой для предотвращения загрязнения биосферы, комплексного использования ресурсов и применения новейших способов охраны от загрязнения воды, воздуха, почвы, предотвращения шума, вибраций и т.д. Особенно важно при этом благоустройство и озеленение территорий, разумное размещение раз-

личных секций городского хозяйства, наиболее отвечающего требованиям санитарных норм, и т.д.

Требуется углубленное изучение техногенно-естественных комплексов ландшафтов и экосистем с учетом различных трансформаций, происходящих под воздействием хозяйственной деятельности и других факторов. Особого внимания заслуживают расширение фондов продуктивных земель, осуществление мероприятий по борьбе с эрозией почв, рациональное использование химических удобрений и средств защиты животных от вредителей.

Очень важно контролировать поступление в водоемы продуктов эрозии почв (фосфатов, нитратов), накопление которых изменяет баланс кислорода, развитие водорослей и заражает озерные водоемы гнилостными продуктами (сероводородом).

В Белоруссии в области охраны ресурсов биосферы, их воспроизводства и увеличения продуктивности осуществляются различные мероприятия. Приняты законодательства об охране природы республики: земли, воды, почвы, недр, лесов. На учрежденный в 1960 г. Государственный комитет Совета Министров БССР по охране природы возложен контроль за выполнением решений партии и правительства по охране природных ресурсов. В соответствии с решениями партии и правительства республики отдельные министерства и ведомства осуществляют большой комплекс мероприятий по рациональному использованию земельных, водных, минеральных, растительных и животных ресурсов, по борьбе с загрязнением почвы, воздуха и природных вод и т.д.

В научных учреждениях Академии наук БССР и ведомствах разрабатываются вопросы, связанные с более эффективным использованием земель в сельскохозяйственном производстве, повышением плодородия почв и сельскохозяйственных культур, выведением новых сортов культурных растений и пород животных, применением минеральных и органических удобрений и т.д.

Исключительно большое значение приобретают вопросы геохимического изучения биосферы и ландшафтов, протекающих в них физико-химических, биологических и других процессов, связанных с естественными условиями и техногенной деятельностью человека; динамики и характера геохимических процессов в зависимости от осушения заболоченных земель, применения химических удобрений и использования ядохимикатов; изменений в геохимических параметрах природной среды (pH, Eh и др.) в различных типах ландшафтов и экосистем в связи с техногенной деятельностью; влияния геохимической среды на структуры популяций; изучение и районирование биогеохимических провинций; выделение в них специфических (по содержанию и ассоциациям химических элементов) регионов и субрегионов; геохимической деятельности микроорганизмов (фито- и зоомикроорганизмов и др.) в педосфере и ризосфере, их роли в процессе разрушения и биосинтез минерального и органического вещества.

Необходимо дальнейшее накопление данных по кларковому содержанию и распределению химических элементов в покровных породах, почвах, водах, растениях, животных в отдельных типах ландшафтов и экосистемах.

Очень важным является организовать длительные систематические и периодические наблюдения за развитием геохимических условий экосистем, за динамикой изменений в биогеохимических функциях живого вещества биосферы (кислородной, газовой и др.) в зависимости от техногенных изменений в

ландшафтах, в частности мелиорации земель, лесонасаждений, изменений в структуре сельскохозяйственных угодий и др.

В заключение отметим, что изучение геохимических процессов в ландшафтах представляет непосредственный интерес при решении прикладных вопросов техногенной деятельности человека:

1) при комплексном геолого-геофизико-геохимическом изучении земной коры с целью выявления геохимических аномалий и месторождений полезных ископаемых и палеогеографических условий литогенеза;

2) при организации геолого-поисковых и разведочных работ, использовании тех или иных методов (литологических, гидрогеохимических, газогеохимических, биогеохимических, педогеохимических и др.);

3) при осуществлении мероприятий по химической мелиорации почв и ландшафтов, направленной на создание оптимальных физических, химических и биологических условий почвенного плодородия, предотвращение потерь запасов питательных веществ (солеобогатительные и кислородрегулирующие мероприятия, борьба с эрозией почв, использование микроудобрений);

4) при проведении мероприятий по повышению биологической продуктивности экосистем ландшафтов, защите их от химического загрязнения;

5) при осуществлении инженерно-геологических мероприятий по защите различных сооружений и дорог от разрушения в результате интенсивного выветривания пород, выщелачивания подвижных продуктов, изменений конституционных свойств минералов и пород;

6) при решении проблем борьбы с биогеохимическими эндемиями растений и животных (очагами зоба, флюороза), проведении санитарно-гигиенических мероприятий, размещении сети учреждений отдыха и туризма;

7) при изучении природно-очаговых заболеваний человека и животных, связанных с определенными биотипами и биогеохимическими провинциями;

8) при моделировании экстремальных геохимических условий для изучения взаимодействия между геохимическими факторами среды и биологическими реакциями организмов, морфологической и генетической изменчивостью растений и животных, генетическими и биохимическими факторами адаптации.

ЛИТЕРАТУРА

Абатуров Б.Д. Роль животных-землероев в перемещении химических веществ в почве. В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.

Абатуров Б.Д. О влиянии степных пострушек на почвы. Почвоведение, № 2, 1963.

Абрамов Л.С. Самая "водная" планета Солнечной системы. Беседы по актуальным проблемам науки. Серия "Наука о Земле", № 7, 1969.

Адабашев И.И. Трагедия или гармония? М., 1973.

Айзберг Р.Е., Гарецкий Р.Г., Конищев В.С. Перспективы нефтеносности Припятского прогиба в связи с особенностями его тектоники. Геология нефти и газа , № 9, 1974.

Акимушкин И.И. Трагедия диких животных. М., 1969.

Алекин О.А. Ионный сток и средний состав речной воды для территории СССР. Труды ГГИ, вып.33 (87). Л., 1951.

Алекин О.А., Бражникова Л.В. К изучению стока растворенных веществ с земной поверхности. ДАН СССР, т.131, № 4, 1960.

Алекин О.А., Бражникова Л.В. Новые данные по стоку растворенных веществ с территории СССР. Труды III Всесоюзного гидрол. съезда; т.10. Л.. 1959.

Алекин О.А., Моричева Н.П. Стабильность карбонатной системы в природных водах. Труды III Всесоюзного гидрол. съезда, т.10. Л.,1959.

Александрова Л.Н. Органо-минеральные соединения и органо-минеральные компоненты в почве. В кн.: Доклады советских почвоведов к УП Международному конгрессу в США. М., 1960.

Александрова Л.Н. Современные представления о природе гумусовых веществ и их органо-минеральных производных. В кн.: Проблемы советского почвоведения, вып.I. М., 1962.

Алисов Б.П. Климат СССР. М., 1969.

Аллер Л. Распространенность химических элементов. М., 1963.

Андервуд А. Микроэлементы у животных. В кн.: Микроэлементы. М., 1969.

Андрианова Л.А., Вяжевич И.П., Двинденко И.Л., Захаров И.С., Ломако Л.В., Силина Т.Г., Черепанова В.С. Характеристика гидрохимического режима рек БССР по материалам летних обследований 1962—1963 гг. В кн.: Водное хозяйство БССР . Минск, 1965.

Анистаров В.А. Заболоченность, лесистость и озерность водосборов некоторых рек Белорусской ССР. Сборник работ Минской гидрометеорологической обсерватории, вып.I. Минск, 1958.

Антипов-Каратаев И.Н. Некоторые вопросы современной химии почв и исследование почвенных агрегатов. Труды Юбилейной сессии , посвященной 100-летию со дня рождения В.В.Докучаева. М., 1949.

Аристовская Т.В. О некоторых аспектах геохимической деятельности почвенных микроорганизмов как составной части биогеоценоза. В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.

Арманд Д. Нам и внукам. М., 1966.

Арманд А.Д. Модели и информация в физической географии. М.,1971.

Арманд А.Д. Природные комплексы как саморегулируемые информационные системы. Изв. АН СССР, серия геогр. , № 2, 1966.

Асташкин Н.Д. Природные ресурсы БССР. Минск, 1970.

Атлас БССР. Минск, 1958.

Баас Беккинг Л., Каплан И., Мур Д. Пределы колебаний pH и окислительно-восстановительных потенциалов природных сред. В кн.: Геохимия литогенеза. М., 1963.

Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н. Географические аспекты изучения биологической продуктивности. Материалы У съезда Географического общества Союза ССР. М., 1970.

Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н. Сколько весит живое вещество планеты? Природа , № 1, 1971.

Байнхауэр Х., Шмакке Э. Мир в 2000 году. М., 1973.

Баттан Л.Д. Загрязненное небо. М., 1967.

Бауэ Л., Вайничке Х. Забота о ландшафте и охрана природы. М..1971.

Берг Л.С. Географические зоны Советского Союза. М., 1947.

Берг Л.С. Климат и жизнь. М., 1947.

Биосфера. М., 1972.

Биосфера и ее ресурсы. М., 1971.

Богомолов Г.В. Геологические структуры Белоруссии и краткая характеристика дочетвертичного и современного рельефа. В кн.: Геология и полезные ископаемые БССР. Сб.I. М-Л., 1946.

Богомолов Г.В., Козлов М.Ф. Некоторые закономерности распределения различных химических типов подземных вод на территории БССР. В кн.: Тезисы докладов Совещания по изучению геохимических и биогеохимических провинций территории Белорусской ССР. Минск, 1960.

Богомолов Г.В., Козлов М.Ф. Гидрогеологические условия Полесья и вопросы изучения его в связи с мелиорацией. В кн.: Материалы Межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии, вып.I. Минск, 1969.

Богомолов Г.В., Яншина М.С., Плотникова Г.Н., Флерова Л.И. Подземные воды центральной и западной частей Русской платформы (палеозой). Минск, 1962.

Богомолов Г.В. , Лавров А.П., Шаповал Л.И.Особенности зональности подземных вод Припятской впадины. ДАН БССР, т.15, № 3 , 1971.

Болин Б. Круговорот углерода. В кн.: Биосфера. М., 1972.

Бордон И.П. О докембрийском вулканизме в кристаллическом фундаменте юга Белоруссии. В кн.: Материалы 2-й научной конференции молодых геологов Белоруссии. Минск, 1968.

Борисов А.А. Климаты СССР. М., 1967.

Брукс Ч. Климаты прошлого. М., 1952.

Будыко М.И. Тепловой режим Земли. Природа , № 8, 1962.

Будыко М.И. Возможности изменения климата при воздействии на полярные льды. В кн.: Современные проблемы климатологии. Л., 1966.

Булавко М.Т. Минерализация и химический состав речных вод Белоруссии и Верхнего Подднепровья. В кн.: Материалы республиканского научно-технического совещания по изучению, комплексному использованию и охране водных ресурсов. Минск, 1965.

Булавко М.Т. Ионный сток с территории Белоруссии и Верхнего Поднепровья. Сборник работ Минской гидрометеорологической обсерватории, вып. 6. Минск, 1967.

Бурлак А.Ф., Костко А.А., Сокол Л.А., Узгорская Г.А. О типах разрезов сапропелевых отложений в озерах Белоруссии. ДАН БССР, т.17, № 11, 1973.

Бяллович Ю.П. Системы биогеоценозов. В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.

Вавилов Н.И. Критический обзор современного состояния генетической теории селекции растений и животных. Генетика, № 1, 1965.

Вадковская И.К. Химический состав почв экосистемы бассейна р.Березины. ДАН БССР, т.15, № 4, 1971.

Вадкоуская І.К. Хімічны састаў глеб басейна р. Сож. ВесцІ АН БССР, серыя хІм. навук, № 5, 1971.

Вадковская И.К. Гидрохимические особенности поверхностных вод бассейнов рек Березины и Сожа. ДАН БССР, т.15, № 7, 1971.

Вадковская И.К. Микроэлементы в растительности бассейнов рек Березины и Сожа. ДАН БССР, т.15, № 8, 1971.

Вадковская И.К. Березинская и Сожская биогеохимические провинции. В кн.: Применение ландшафтно-геохимических методов исследований в Прибалтике и Белоруссии. Минск, 1972.

Вадковская И.К. Содержание макро- и микроэлементов в некоторых видах древесно-кустарниковых растений бассейна Сожа. ДАН БССР, т.17, № 3, 1973.

Вадковская И.К. Особенности химического состава пойменных почв бассейнов Сожа и Березины. ДАН БССР, т.17, № 6, 1973.

Вернадский В.И. О классификации и химическом составе природных вод. Природа, № 9, 1929.

Вернадский В.И. Очерки геохимии. М., 1934.

Вернадский В.И. Биохимические очерки. М., 1940.

Вернадский В.И. О рассеянии химических элементов. Избр.соч., т.I. М., 1954.

Вернадский В.И. О газовом обмене земной коры. Избр. соч., т.5. М., 1960.

Вернадский В.И. О классификации природных газов. Избр. соч., т.5. М., 1960.

Вернадский В.И. Об условиях появления жизни на Земле. Избр., соч., т.5. М., 1960.

Вернадский В.И. Химическое строение биосферы и ее окружение. М., 1965.

Вернадский В.И. Биосфера. М., 1967.

В е р н а д с к и й В.И. Несколько слов о ноосфере. В кн.: Биосфера. М., 1967.

В и л ь я м с В.Р. Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения. М., 1938.

В и н о г р а д о в А.П. Геохимия живого вещества. М., 1982.

В и н о г р а д о в А.П. К химическому познанию биосферы. Почвоведение, № 7, 1945.

В и н о г р а д о в А.П. Биогеохимические провинции. Труды Юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В.В.Докучаева. М.,1949.

В и н о г р а д о в А.П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой. В кн.: Микроэлементы в растениях и животных. М., 1952.

В и н о г р а д о в А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, № 7, 1962.

В и н о г р а д о в А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М., 1957.

В и н о г р а д о в А.П. Изменения атмосферы под влиянием человеческой деятельности. В кн.: I Международный геохим. конгресс. Осадочные процессы, т.4, кн.2. М., 1978.

В и н о г р а д о в Б.В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных богатств. М., 1964.

В и н о г р а д с к и й С.И. Микробиология почв. М., 1952.

Влияние почвенных условий на рост древесных растений. Минск, 1964.

Водноэнергетический кадастр Белорусской ССР. Минск, 1960.

В о з н я ч у к Л.Н., Л у к а ш е в К.И. О палеогеографии антропогена Белоруссии. Изв. АН СССР, серия геогр. , № 5, 1969.

В о з н я ч у к Л.Н., Л е о н о в и ч О.П., Л у к а ш е в К.И. Новая схема стратиграфии и палеогеографии голоцена Белоруссии. ДАН СССР , т.186, № 2, 1969.

В о з н я ч у к Л.Н., Л у к а ш е в К.И. Основные черты палеогеографии антропогена Белоруссии. Изв. АН СССР, серия геогр., № 5, 1969.

В о з н я ч у к Л.Н. Стратиграфия четвертичных отложений и современный рельеф. В кн.: Проблемы Полесья. Минск, 1972.

В о р о н к о в Н.П. Общие закономерности формирования химического состава поверхностных вод европейской территории СССР. В кн.: Гидрохимические материалы, т.24. Л., 1955.

В о р о н ц о в А.И., Х а р и т о н о в а Н.З. Охрана природы. М., 1971.

В ы с о ц к и й В.А. Об основных проблемах геологии социосферы. В кн.: Природа и общество. М., 1968.

В у л ь ф с о н В.И. Топливо и проблемы ресурсов свободного кислорода. Мир науки, № 5, 1969.

Г а р м о н о в И.В. Зональность грунтовых вод европейской части СССР. Труды Лаборатории гидрогеол.проблем им.Ф.П.Саваренского АН СССР,т.3,М.,1948.

Г а р р е л с Р.М. Скорости химических реакций при низких температурах и давлениях. В кн.: Геохимические исследования. М.,1961.

Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. М., 1968.

Гедройц К.К. Учение о поглотительной способности почв. М., 1933.

Гельцер Ю.Г. Почвенные простейшие как компонент биогеоценоза. Труды X Международного конгресса почвоведов. М., 1974.

Геология СССР, т.3. М., 1971.

География Белоруссии. М., 1952.

Геохимическая характеристика литогенеза и ландшафтов Белорусского Полесья. Минск, 1966.

Геохимические провинции покровных пород БССР. Минск, 1969.

Геохимия ландшафтов и процессы гипергенеза. М., 1973.

Гертнер Э. В поисках несуществующего выхода. За рубежом, № 41, 1974.

Гиляров М.С., Перель Т.С., Стриганова Б.Р., Чернова Н.М. Роль беспозвоночных в разложении и гумификации растительных остатков. Труды X Международного конгресса почвоведов. М., 1974.

Глазовская М.А. Влияние микроорганизмов на процессы выветривания первичных минералов. Изв. АН КазССР, серия почв., вып.6, № 86, 1950.

Глинка К.Д. Исследование в области процессов выветривания. СПб, 1906.

Годнев Т.Н. Хлорофилл, его строение и образование у растений. Минск, 1963.

Голубцов В.К., Махнач А.С. Фации территории Белоруссии в палеозое и мезозое. Минск, 1961.

Гольдберг Э.Д. Мобилизация вещества через атмосферу человеком. Тезисы докладов на I Международном геохим. конгрессе. М., 1971.

Горелик З.А. Данные по тектонике Белоруссии и проблеме выявления месторождений соли и нефти на ее территории. Минск, 1945.

Горецкий Г.И. О происхождении и возрасте глубоких долинообразных понижений в рельефе постели антропогеновых отложений ледниковых областей. В кн.: Нижний плейстоцен ледниковых районов Русской равнины. М., 1967.

Горецкий Г.И. О взаимодействии антропогеновых отложений и их субстрата. В кн.: Материалы по палеогеографии и геохимии антропогена Белоруссии. Минск, 1974.

Григорьев А.А. О географических радиационных рубежах и характеристиках радиационных условий горизонтальных физико-географических зон. Проблемы физической географии, вып.12, 1946.

Гурский Б.Н. К истории развития рельефа бассейна р.Сож в антропогеновое время. В кн.: Материалы 4-й конференции геологов Белоруссии и Прибалтики. Минск, 1966.

Дабер Р. Проблемы будущего палеоботаники. В кн.: Будущее науки. М., 1970.

Давитая Ф.Ф. Загрязнение земной атмосферы и проблема свободного кислорода. Вестник АН СССР, № 7, 1971.

Девис С., Уист Р.Д. Гидрогеология. М., 1970.

Дегенс Э.Т. Геохимия осадочных образований. М., 1967.

Делвич К. Круговорот азота. В кн.: Биосфера. М., 1972.

Дементьев В.А. Геоморфологические районы БССР. Уч.записки БГУ, серия геогр., вып.3. Минск, 1940.

Дементьев В.А. Геоморфологические районы БССР.Уч.записки БГУ, серия геогр., вып.8. Минск, 1948.

Дементьев В.А. Система физико-географических районов Белоруссии. В кн.: Физическая и экономическая география. Минск, 1960.

Дементьев В.А. География Белоруссии. Минск, 1965.

Дементьев В.А., Шклир А.Х., Якушко О.Ф. Природа Белоруссии. Минск, 1959.

Детри Ж. Атмосфера должна быть чистой. М., 1973.

Диви Э. мл. Круговорот минеральных веществ. В кн.: Биосфера. М., 1972.

Доктуровский В.С. Торфяные болота. М.-Л., 1935.

Докучаев В.В. К учению о зонах природы. Горизонтальные и вертикальные почвенные зоны. Избр. соч., т.3. М., 1949.

Долбик М.С., Федюшин А.В. Птицы Белоруссии. Минск, 1967.

Доминиковский Г.Г., Медушевская И.А. Новые данные о геологии и тектонике докембрия Белоруссии. ДАН СССР, т. 196, №2, 1971.

Дорст Ж. До того как умрет природа. М., 1968.

Дрозд В.В. О карстовых явлениях в Белоруссии. Изв. Всесоюзного геогр. об-ва, т.96, вып.1. М., 1964.

Дубинин Н.П. Общая генетика. М., 1970.

Дювинье П., Танг М. Биосфера и место в ней человека. М., 1968.

Жирмунский А.М. Геологические особенности структур БССР,ч.1. Весці АН БССР, № 5,6, 1948.

Жуков П.И. Рыбы Белоруссии. Минск, 1965.

Жуховицкая А.Л., Замяткина А.А.,Лукашев К.И. Гидрохимические особенности формирования состава вод верхнего Днепра. ДАН БССР, т.10, № 9, 1966.

Жуховицкая А.Л., Замяткина А.А., Лукашев К.И. Микроэлементы в водах верхнего Днепра. ДАН БССР, т.10, № 11, 1966.

Жуховицкая А.Л., Лукашев К.И., Хомич А.А. Геохимические особенности современного карбонатообразования в озерных водоемах северной Белоруссии. В кн.: Материалы семинара по геохимии гипергенеза и коры выветривания. Минск, 1969.

Завриев В.Г., Якушко О.Ф. Некоторые особенности глубоких озер Белорусского Поозерья. Изв. Всесоюзного геогр. об-ва, т.98, № 6, 1966.

Замятченский П.А. Выветривание полевых шпатов в связи с почвообразованием. Труды Почвенного ин-та, т.8. Л., 1933.

Замятченский П.А. К вопросу о зависимости характера выветривания от климатических условий. ДАН СССР, № 6, 1939.

Злотин Р.И., Ходашова К.С. Влияние животных на автотрофный цикл биологического круговорота. В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.

Иванов А.В. Происхождение многоклеточных животных. Л., 1968.

Игнатович Н.К. О закономерностях распределения и формирования подземных вод. ДАН СССР, т.45, № 3, 1944.

Индуцированные деревья и кустарники в Белорусской ССР, вып.1-3. Минск, 1959—1961.

Каган Ц.А., Гельфер Е.А. Содержание некоторых микроэлементов в природных водах Белорусской ССР. В кн.: Труды комплексной экспедиции по изучению водоемов Полесья. Минск, 1956.

Калечиц В.А., Махнач Н.А., Якушко О.Ф. Развитие и возраст некоторых голоценовых озер Белорусского Поозерья. В кн.: Материалы II симпозиума по истории озер Северо-Запада СССР. Минск, 1967.

Кальвин М. Химическая эволюция. М., 1971.

Камшилов М.М. Эволюция биосферы. М., 1974.

Каменский Г.Н. Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны. Труды Лаборатории гидрогеол. проблем им. Ф.П.Саваренского, АН СССР, т.6. М., 1949.

Каменский Г.Н. Гидрохимическая зональность в распределении подземных вод. Труды МГРИ, т.26. М., 1954.

Келлер У.Д. Основы химического выветривания. В кн.: Геохимия литогенеза. М., 1963.

Кириллин В.А. О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы рациональному использованию природных ресурсов. В газ. "Известия" от 20 сентября 1972 г.

Клауд П., Джибор А. Круговорот кислорода. В кн.: Биосфера. М., 1972.

Ковалев В.А. К химической характеристике торфов по составу золь ной (части. ДАН БССР, т.10, № 7, 1966.

Ковалев В.А., Бенсман В.Р. Болотные отложения. В кн.:Гео химические провинции покровных отложений БССР. Минск, 1968.

Ковалев В.А., Генералова В.А. О взаимодействии гуминовых и фульвокислот торфяных почв с железом. Почвоведение, № 11, 1966.

Ковалевский А.Л. Основные закономерности формирования химического состава растений. В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, 1969.

Ковальский В.В. Биогеохимические провинции в СССР и методы их изучения. Труды Биогеохимической лаборатории АН БССР, т.11. Минск, 1960 .

Ковальский В.В. Регионы биосферы — основа биогеохимического районирования. В кн.: Биосфера и ее ресурсы. М., 1971.

Ковальский В.В. Некоторые задачи геохимической экологии. В кн.: Очерки современной геохимии и аналитической химии. М., 1972.

Ковальский В.В. Изменчивость обмена веществ у животных, вызываемая естественными химическими факторами среды. Вестник сельскохозяйственной науки, № 1, 1971.

Ковальский В.В. Геохимическая экология. Новое в жизни, науке технике. Серия биол., № 2, 1973.

Ковальский В.В., Крылова Р.В., Летунова С.В. Искусственное изменение кобальтовых пищевых цепей в рыбоводных прудах. Изв АН СССР, серия биол., № 6, 1967.

К о в а л ь с к и й В.В. Геохимическая экология. М., 1974.

К о в д а В.А. Минеральный состав растений и почвообразование. Почвоведение, №1, 1956.

К о в д а В.А. Биосфера и человечество. В кн.: Биосфера и ее ресурсы. М., 1971.

К о в д а В.А. Основы учения о почвах, кн. 1, 2. М., 1973.

К о в д а В.А., Я к у ш е в с к а я И.В., Т ю р ю к а н о в А.Н. Проблема микроэлементов в почвах СССР. Изв. АН СССР, серия биол., № 5, 1958.

К о з л о в М.Ф. Минеральные воды БССР и перспективы использования их в санаторно-курортном деле. В кн.: Физиотерапия и курортология. М., 1952.

К о з л о в М.Ф. Основные типы подземных минеральных вод Белоруссии и перспективы использования их в лечебных целях. В кн.: Вопросы геологии Белоруссии. Минск, 1974.

Комплексное геолого-геофизико-геохимическое и гидрогеологическое изучение земной коры Белоруссии. Минск, 1969.

К р а с и л ь н и к о в Н.А. О взаимодействии микроорганизмов почвы с растениями. Природа, №3, 1941.

К р а с и л ь н и к о в Н.А. Роль микроорганизмов в выветривании горных пород. Микробиология, т.18, вып.4, 1949.

К р а с о в с к и й В.Ф., Л у к а ш е в К.И. Эпохи минерализации в геологических формациях территории Белоруссии. ДАН БССР, т.14. № 6, 1970.

К р у т а л е в и ч В.А. Административно-территориальное устройство БССР. Минск, 1966.

К у д е л ь с к и й А.В., Л у к а ш е в К.И. Образование и миграция нефти. Минск, 1974.

К у з н е ц о в С.И. Роль микроорганизмов в круговороте вещества в озерах. М., 1952.

К у з н е ц о в С.И. Геологическая деятельность микроорганизмов в связи с круговоротом серы. М., 1959.

К у з н е ц о в С.И., Л я л и к о в а Н.Н., И в а н о в М.В. Роль типовых бактерий в выветривании горных пород и сульфидных руд. Изв. АН СССР, серия биол., №2, 1958.

К у з н е ц о в С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. Л., 1970.

К у з н е ц о в В.А. К изучению геохимической роли аллювиальных процессов в современном выветривании на территории Белорусского Полесья. Весці АН БССР, серыя хім. навук, №3, 1966.

К у з н е ц о в В.А. Геохимия аллювиального литогенеза. Минск, 1973.

Л е о н о в и ч П.А. Полезные ископаемые Белоруссии и их использование. В кн.: Охрана природы. Минск, 1972.

Леса Белоруссии. Минск, 1969.

Л и К.Е. Роль почвенных животных в разложении органического вещества и в круговороте минеральных элементов в экосистеме тропических лесов и саванн. Труды X Международного конгресса почвоведов. М., 1974.

Лукашев В.К. Палеогеологические условия образования дюнно-песчаных отложений Белорусского Полесья. Автореферат. канд. диссертации. Минск, 1963.

Лукашев В.К. Палеогеохимические исследования озерно-болотных осадков верхнего плейстоцена на примере Половецко-Купанского болотного массива. ВесцІ АН БССР, серыя хІм.навук, №1, 1967.

Лукашев В.К. Геохимия четвертичного литогенеза. Минск, 1970.

Лукашев В.К. Геохимические индикаторы процессов гипергенеза и осадкообразования. Минск, 1972.

Лукашев В.К. Палеофациальная характеристика кайнозойского литогенеза. В кн.: Вопросы геологии Белоруссии. Минск, 1974.

Лукашев В.К., Кузнецов В.А., Матрунчик Л.И. Литогеохимические фации кайнозоя северо-западной части Русской платформы. Минск, 1974.

Лукашев К.И. К вопросу о геохимической характеристике типов коры выветривания на территории СССР. Природа, №10, 1938.

Лукашев К.И. К вопросу о географической зональности геохимических процессов в коре выветривания. Изв. Всесоюзного геогр. об-ва, т.88, №6, 1956.

Лукашев К.И. К геохимическому изучению ландшафтов Белоруссии. Труды геогр. ф-та Белгосуниверситета, вып.2. Минск, 1958.

Лукашев К.И. Краткий обзор состояния изучения четвертичных (антропогеновых) отложений Белоруссии. Труды Польского геологического ин-та к VI конгрессу ИНКВА. Варшава, 1961.

Лукашев К.И. Некоторые вопросы геохимии гипергенного карбонатообразования. ВесцІ АН БССР, серыя фІз.-тэхн. навук, №3, 1962.

Лукашев К.И. Очерки по геохимии гипергенеза. Минск, 1963.

Лукашев К.И. Поведение главнейших химических элементов в гипергенезе и ландшафтообразовании. В кн.: Геохимическая характеристика литогенеза и ландшафтов Белорусского Полесья. Минск, 1966.

Лукашев К.И. Геохимическое изучение четвертичных отложений и ландшафтов. ВесцІ АН БССР, серыя хІм. навук, №2, 1968.

Лукашев К.И. Геология четвертичного периода. Минск, 1971.

Лукашев К.И., Астапова С.Д. Изменение литолого-минералогического состава морен в процессе почвообразования. Почвоведение, №6, 1970.

Лукашев К.И., Богомолов Г.В., Кузнецов В.А., Хотько Э.П. Комплексное геолого-геофизико-геохимическое и гидрогеологическое изучение территории БССР. Изучение геологического строения и полезных ископаемых. В кн.: Наука в Белоруссии за 50 лет Советской власти. Минск, 1969.

Лукашев К.И., Вадковская И.К. Биосфера и биогеохимические провинции. Минск, 1973.

Лукашев К.И., Вознячук Л.Н. Ледниковые комплексы четвертичной толщи Белоруссии. ДАН БССР, т.12, №5, 1968.

Лукашев К.И., Вознячук Л.Н. Межледниковые комплексы четвертичной толщи Белоруссии. ДАН БССР, т.12, №6, 1968.

Лукашев К.И., Добровольская И.А. О микроэлементах поглощающего комплекса четвертичных пород Белоруссии. Почвоведение, №2, 1969.

Лукашев К.И., Жуховицкая А.Л. Некоторые гидрогеохимические особенности озерных вод Белорусского Полесья. ДАН СССР, т.202, №5, 1972.

Лукашев К.И., Жуховицкая А.Л., Замяткина А.А. Некоторые особенности формирования химического состава вод рек Полесской низменности. В кн.: Материалы 18-го совещания по гидрохимии (тезисы докладов). Новочеркасск, 1963.

Лукашев К.И., Жуховицкая А.Л., Замяткина А.А. Сравнительная гидрохимическая характеристика притоков р.Припяти. ДАН БССР, т.7, №2, 1963.

Лукашев К.И., Жуховицкая А.Л., Замяткина А.А. Некоторые особенности формирования химического состава вод рек Полесской низменности БССР. ДАН БССР, т.7, №7, 1963.

Лукашев К.И., Жуховицкая А.Л., Хомич А.А. Условия современного карбонатонакопления в озерных бассейнах Белоруссии. ДАН СССР, т.193, №3, 1970.

Лукашев К.И., Жуховицкая А.Л., Хомич А.А. Карбонатно-кальциевые равновесия озерного литогенеза в гумидной зоне. В кн.: I Международный геохимический конгресс, т.4, кн.2. М., 1973.

Лукашев К.И., Киселев П.А. Гидрогеохимические провинции. ДАН БССР, т.8, №5, 1964.

Лукашев К.И., Ковалев В.А. Некоторые особенности минералого-геохимической системы железа в современных торфяниках. ДАН СССР, т.187, №6, 1969.

Лукашев К.И., Ковалев В.А. Современные процессы минералообразования в болотах. Доклад на совещании по проблемам гипергенеза. М., 1973.

Лукашев К.И., Ковалев В.А., Генералова В.А. Некоторые геохимические особенности поведения кальция и железа в болотном процессе. Весці АН БССР, серыя хім.навук, №3, 1971.

Лукашев К.И., Ковалев В.А., Генералова В.А. О содержании и некоторых особенностях дифференциации алюминия и кремния в торфяниках. ДАН БССР, т.14, №7, 1971.

Лукашев К.И., Ковалев В.А., Жуховицкая А.Л. Условия формирования химического состава вод заболоченных территорий и его изменение под влиянием мелиораций. Доклад на IУ Всесоюзном гидрологическом съезде. Л., 1973.

Лукашев К.И., Ковалев В.А., Жуховицкая А.Л., Генералова В.А., Сокловская А.А. Формы и динамика серы в торфах и осадках озер Белоруссии. Литология и полезные ископаемые, №3, 1972.

Лукашев К.И., Ковалев В.А., Жуховицкая А.Л., Хомич А.А., Генералова В.А. Геохимия озерно-болотного литогенеза. Минск, 1971.

Лукашев К.И., Ковалев В.А., Петухова Н.Н., Плоткина Ю.М. Основные тенденции изменения состава минеральной и органической части торфяно-болотных почв при их мелиорации. В кн.: Рациональное использование земельных ресурсов Белоруссии, Прибалтики, Северо-Запада и нечерноземного центра РСФСР. Минск, 1972.

Лукашев К.И., Красовский В.Ф., Богомолов Г.В. Рудоносность недр Белоруссии. В кн.: Комплексное геолого-геофизико-геохимическое и гидрогеологическое изучение территории БССР. Минск, 1969.

Лукашев К.И., Красовский В.Ф. К изучению минералого-геохимических особенностей металлоносности геологических формаций Белорусского массива. В кн.: Геохимия, литология и полезные ископаемые Прибалтики и Белоруссии. Минск, 1970.

Лукашев К.И., Куделъский А.В., Шиманович В.М. Железо в рассолах Припятского нефтеносного бассейна. ДАН БССР, т.16, №12, 1972.

Лукашев К.И., Кузнецов В.А. Характеристика и основные черты формирования химического состава современного аллювия бассейна Днепра. ДАН БССР, т.11, №5, 1967.

Лукашев К.И., Кузнецов В.А. К геохимической характеристике железистых новообразований современных речных отложений Белоруссии. ДАН БССР, т.12, №11, 1968.

Лукашев К.И., Кузнецов В.А. Геохимические исследования антропогена Белоруссии и их палеогеографическое значение. В кн.: Проблемы палеогеографии антропогена Белоруссии (к IX конгрессу ИНКВА). Минск, 1973.

Лукашев К.И., Кузнецов В.А., Лукашев В.К. Геохимические процессы в ландшафтах Белорусского Полесья. ДАН БССР, т.8 №10, 1964.

Лукашев К.И., Кузнецов В.А., Лукашев В.К. Литогеохимические фации современных аллювиальных отложений бассейна Припяти. ДАН БССР, т.12, №4, 1968.

Лукашев К.И., Лапуть В.А., Семячко Р.Я., Буянов Н.И. Нефть Белоруссии (потенциальные нефтегазоносные районы). Минск, 1969.

Лукашев К.И., Лукашев В.К. Геохимические особенности моренных отложений различных оледенений. ДАН БССР, т.11, №12, 1967.

Лукашев К.И., Лукашев В.К. Теоретические основы геохимических поисков, кн.I. Минск, I967.

Лукашев К.И., Лукашев В.К. Теоретические основы геохимических поисков, кн.2. Минск, I967.

Лукашев К.И., Лукашев В.К. Геохимические особенности пограничного третично-четвертичного глинистого литогенеза. Генезис и классификация осадочных пород. В кн.: Материалы к XXIII Международному геологическому конгрессу в Праге. Доклады советских геологов. М., I968.

Лукашев К.И., Лукашев В.К. Геохимическое изучение голоцена Белоруссии. Голоцен. К УП конгрессу ИНКВА. М., I969.

Лукашев К.И., Лукашев В.К. Геохимия ландшафтов. Минск, I972.

Лукашев К.И., Лукашев В.К. К проблеме классификации геохимических ландшафтов. В кн.: Применение ландшафтно-геохимических методов исследований в Прибалтике и Белоруссии. Минск, I972.

Лукашев К.И., Лукашев В.К. Научные и практические аспекты геохимического изучения ландшафтов. В кн.: Применение ландшафтно-геохимических методов исследований в Прибалтике и Белоруссии. Минск, I972.

Лукашев К.И., Маркова А.П. Некоторые результаты гидрогеохимического изучения рассолов и пород по разведочным скважинам Припятского прогиба. ДАН БССР, т.2, №8, I958.

Лукашев К.И., Маркова А.П. Некоторые результаты гидрогеохимического изучения рассолов и пород из разведочных скважин Припятского прогиба. В кн.: Совещание по вопросам нефтегазоносности и газоносности Припятского прогиба. Тезисы докладов. Минск, I959.

Лукашев К.И., Маркова А.П., Жуховицкая А.Л. Химический состав рассолов девонских отложений Стреличевской площади (скважина Р-I). ДАН БССР, т.4, №I2, I960.

Лукашев К.И., Маркова А.П., Замяткина А.А. Распространение микроэлементов в природных водах БССР. Тезисы докладов совещания по изучению геохимических и биогеохимических провинций территории БССР. Минск, I960.

Лукашев К.И., Маркова А.П., Замяткина А.А. К гидрохимии природных вод Новогрудско-Кореличского района БССР. ДАН БССР, т.3, №5, I959.

Лукашев К.И., Махнач А.С. Припятская впадина сокровищница недр Белоруссии. Минск, I966.

Лукашев К.И., Петухова Н.Н. Геохимия марганца в почвах Белорусского Полесья. В кн.: Материалы к совещанию по геохимии гипергенеза (тезисы докладов). Минск, I964.

Лукашев К.И., Петухова Н.Н. Геохимические особенности поведения микроэлементов в почвенно-растительном комплексе Белорусской ССР. В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Труды У Всесоюзного совещания. Иркутск, I969.

Лукашев К.И., Петухова Н.Н. Педогеохимические провинции Белорусской ССР. ВесцІ АН БССР, серыя с/г навук, №4, 1969.

Лукашев К.И., Петухова Н.Н. Химические элементы в почвах. Минск, 1970.

Лукашев К.И., Петухова Н.Н. Геохимическая характеристика минеральных почв Белорусского Полесья. В кн.: Проблемы Полесья, т.2. Минск, 1973.

Лукашев К.И., Петухова Н.Н. Химические элементы в естественной растительности Белорусской ССР. В кн.: Материалы по палеогеографии и геохимии антропогена Белоруссии. Минск, 1973.

Лукашев К.И., Петухова Н.Н., Ковалев В.А. Почвенные процессы в гипергенной миграции химических элементов (в ландшафтах Белоруссии). В кн.: Материалы семинара по геохимии гипергенеза и коры выветривания. Минск, 1969.

Лукашев К.И., Сачок Г.И., Лукашев В.К. Влияние палеогеологических условий образования четвертичных глин БССР на их химический состав. ДАН БССР, т.9, №5, 1965.

Лукашев К.И., Сачок Г.И., Лукашев В.К. Геохимические провинции глин по их химическим показателям. ДАН БССР, т.9, №6, 1965.

Лукашев К.И., Сачок Г.И., Лукашев В.К. Литолого-геохимические особенности глин БССР разных генетических типов. ДАН БССР, т.9, №8, 1965.

Лукашев К.И., Хомич А.А. Основные черты хемостратификации современных озерных отложений Белорусского Поозерья. ДАН БССР, т. 7, №1, 1963.

Лукашев К.И., Хомич А.А. К вопросу об образовании карбонатов в современных водоемах Белорусского Поозерья. ДАН БССР, т.7, №4, 1963.

Лукашев К.И., Хомич А.А., Жуховицкая А.Л. Основные гидрохимические характеристики как показатели озерного осадконакопления. ДАН БССР, т.11, №6, 1967.

Лукашев К.И., Хомич А.А., Жуховицкая А.Л., Замяткина А.А. Геохимическое поведение Са в современных водоемах Белоруссии. В кн.: Материалы П симпозиума по истории озер северо-запада БССР. Минск, 1967.

Лукашев К.И., Хомич А.А., Жуховицкая А.Л., Замяткина А.А. К геохимии железа в озерных водоемах Белоруссии с неустойчивой окислительно-восстановительной средой. ДАН БССР, т.12, №8, 1968.

Лукашев К.И., Хомич А.А., Жуховицкая А.Л., Замяткина А.А. Генетический смысл отношения Са/Мо в отложениях современных озерных водоемов. ДАН БССР, т.13, №5, 1969.

Лукашоў К.І., Малаглавец В.Г., Петухова Н.Н. Мікраэлементы ў акрыўных пародах і глебах БССР. ВесцІ АН БССР, серыя с/г навук, №3, 1963.

Лукашоў К.І., Шкляр А.Х. Аб хістаннях клімату Беларусі ў

гІстарычны час. ВесцІ АН БССР, серыя с/г навук, №2, 1970.

Макфедьен Э. Экология животных. М., 1965.

Малюга Д.П. Биохимический метод поисков рудных месторождений. М., 1963.

Материалы республиканского научно-технического совещания по изучению, комплексному использованию и охране водных ресурсов, вып. 1--6. Минск, 1963.

Махнач А.С. Древнепалеозойские отложения Белоруссии. Минск, 1958.

Махнач А.С. Геологическое описание. В кн.: Геология СССР, т.3. Белорусская ССР. М., 1971.

Махнач А.С., Вазнячук Л.М. Геалагічнае мінулае Белару - сі. Мінск, 1959.

Махнач А.С. и др. Литология и геохимия девонских отложений Припятского прогиба в связи с нефтегазоносностью. Минск, 1966.

Махнач А.С. и др. Железорудные формации докембрия Белоруссии. Минск, 1974.

Махнач А.С., Левых Н.Н. Литология и геохимия кор выветривания, развитых на кристаллическом фундаменте Белоруссии. Минск, 1973.

Махнач Н.А. Этапы развития растительности Белоруссии в антропогене. Минск, 1971.

Махнач Н.А. и др. Схема стратиграфического расчленения четвертичных (антропогеновых) отложений Белоруссии. ДАН БССР, т.14, № 1, 1970.

Медведев А.Г. Почвенный покров Белоруссии. В кн.: Охрана природы. Минск, 1969.

Мейсон Б. Основы геохимии. М., 1971.

Мещеряков Ю.А., Федорова Р.В. О возрасте и происхождении террас Западной Двины. Труды Всесоюзного совещания по изучению четвертичного периода, т.1. М., 1961.

Микроэлементы в почвах и эффективность микроудобрений. Минск, 1970.

Мишустин Е.Н. О роли сероносных бактерий в почвенных процессах. Микробиология, т.18, вып.3, 1948.

Мишустин Е.Н., Панкратова Е.М. Свободноживущие азотфиксирующие микроорганизмы почв СССР. Труды X Международного конгресса почвоведов, т.9. М., 1974.

Моисеева А.Б. Охраняемые растения Белорусской флоры. Минск, 1969.

Наумов Н.П. Взаимодействие со средой единичных организмов и популяций животных. В кн.: Философские вопросы биологии. М., 1956.

Нейштадт М.И. История лессов и палеогеография СССР в голоцене. М., 1957.

Нейштадт М.И. О нижней границе голоцена. В кн.: Палинология голоцена. М., 1971.

Нееф Э. Теоретические основы ландшафтоведения. М., 1974.

Нестерович Н.Д., Чекалинская Н.И., Сироткин Ю.Д. Плоды и семена лиственных древесных растений. Минск, 1967.

Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность и первичная продуктивность фитоценозов на современном этапе эволюции биосферы. В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.

Новогрудский Д.М. Микрофлоры выветривающихся горных пород в неполных почвах Терской Алатау. Труды Ин-та географии АН СССР.М., 1950.

О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов (постановление Верховного Совета СССР). "Известия" от 21 сентября 1972 г.

Одум Е. Экология. М., 1967.

Омельянский В.Н. Основы микробиологии. М., 1941.

Оорт Э. Круговорот энергии на Земле. В кн.: Биосфера. М., 1972.

Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. М., 1957.

Опарин А.И. Биология грядущего. В кн.: Будущее науки. М.,1970.

Органическое вещество современных и ископаемых осадков. М., 1971.

Охрана природы (природные ресурсы Белоруссии и их рациональное использование). Минск, 1972.

Памятники природы Белоруссии. Минск, 1970.

Пап А.М. Основные итоги и некоторые особенности изучения докембрийского основания Белоруссии. В кн.: Проблемы осадочной геологии докембрия, вып.2. М., 1967.

Парфенова Е.И. Опыт изучения минерального обмена между почвой и растением. Проблемы советского почвоведения, сб.12. М., 1941.

Парфенова Е.И. Некоторые вторичные минеральные образования в растениях и почве. Проблемы советского почвоведения, сб.15. М., 1949.

Перельман А.И. Геохимия ландшафтов. М., 1966.

Пидопличко А.П. Торфяные месторождения Белоруссии. Минск, 1961.

Полынов Б.Б. Кора выветривания. М., 1934.

Полынов Б.Б. Руководящие идеи современного учения об образовании и развитии почв.

Полынов Б.Б. Геохимические ландшафты. В кн.: Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. М.-Л., 1946.

Полынов Б.Б. О геологической роли организмов. Вопросы географии, вып.33. М., 1953.

Пономарева В.В. Теория подзолообразовательного процесса. М., 1964.

Почвы БССР. Минск, 1952.

Прасолов Л.И., Розов Н.Н. Типы почв и мировое земледелие. Труды Юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В.В.Докучаева. М., 1949.

Проблемы использования водных ресурсов Белорусской ССР. Минск, 1962.

Проблемы палеогеографии антропогена Белоруссии (к IX конгрессу ИНКВА). Минск, 1973.

Растительный покров Белоруссии. Минск, 1969.

Рациональное использование земельных ресурсов Белоруссии, Прибалтики, Северо-Запада и нечерноземного центра РСФСР. Минск, 1972.

Ремезов Н.П. Биологический круговорот и почвообразовательный процесс. Труды Воронежского государственного заповедника, вып.5. Воронеж, 1954.

Ремезов Н.П., Смирнова К.М., Быкова Л.Н. Некоторые итоги изучения роли лесной растительности в почвообразовании. Вестник МГУ, №6, 1949.

Ресурсы поверхностных вод СССР, т.5. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Л., 1966.

Роговой П.П. Водный режим почвогрунтов на территории Белоруссии. Минск, 1972.

Сборник законов Белорусской ССР и указов Президиума Верховного Совета Белорусской ССР. 1938--1973 гг., т.1. Минск, 1974.

Сержанин И.Н. Млекопитающие Белоруссии. Минск, 1961.

Советский Союз, т.3. Белоруссия. М., 1967.

Современные проблемы эволюционной теории. Л., 1967.

Современная структура и история тектонического развития Припятской впадины. М., 1968.

Сукачев В.Н. Соотношение понятий биогеоценоз, экосистема и фация. Почвоведение, №6, 1960.

Тимирязев К.А. Избранные работы по хлорофиллу и усвоению света растениями. М., 1948.

Тимофеев-Ресовский Н.В., Яблоков А.В., Глотов Н.В. Очерк учения о популяции. М., 1973.

Томмэ М.Ф., Ксанфопуло О.И., Сементовская Н.М. Минеральный состав кормов СССР. М., 1948.

Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск, 1974.

Трусов Б.П. Понятие о ноосфере. В кн.: Природа и общество. М., 1968.

Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения и их разведка. М.-Л., 1949.

Тюрин И.В. О биологическом накоплении кремнекислоты в почвах. Проблемы советского почвоведения, сб.4. М., 1937.

Тюрин И.В. Основные закономерности гумусообразования. Труды Юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В.В.Докучаева. М.-Л., 1949.

Тюрюканов А.Н. Биосфера и человечество. Серия "Биология", №12, 1973.

Ферсман А.Е. О характере гипергенных процессов в местностях с пустынным климатом. ДАН СССР, т.20, 1924.

Ферсман А.Е. Геохимия и минералогия полярных областей. ДАН СССР, №8, 1938.

Ферсман А.Е. Энергетическая характеристика геохимических процессов. ДАН СССР, т.2, №4, 1935.

Флора БССР, т.1--5. Минск, 1949—1959.

Халличер В. Природа в научной картине мира. М., 1966.

Хатчинсон Дж. Биосфера. В кн.: Биосфера. М., 1972.
Холодный Н.Г. Железобактерии. М., 1953.
Хомич А.А.

Хотько Ж.П., Бондаренко Б.В. Основные структурные элементы Белорусской ССР по геофизическим данным. ДАН БССР, т.106, №4, 1956.

Хромов С.П. Метеорология и климатология для географических факультетов.

Цапенко М.М. Стратиграфия четвертичных (антропогеновых) отложений Белорусской ССР. Труды регилнального совещания по изучению четвертичных отложений Прибалтики и Белоруссии, т.4. Вильнюс, 1957.

Цапенко М.М. К геоморфологической карте и геоморфологическому районированию территории Белоруссии. Труды регионального совещания по изучению четвертичных отложений Прибалтики и Белоруссии, т.4. Вильнюс, 1957.

Цапенко М.М., Махнач Н.А. Антропогеновые отложения Белоруссии. Минск, 1959.

Цапенко М.М. Структурные и скульптурные формы доантропогеновой поверхности Белоруссии и их влияние на мощность и строение антропотолщи. В кн.: Вопросы географии Белоруссии, вып.1. Минск, 1960.

Цапенко М.М., Шевяков Б.В., Мандер Е.П. Рельеф Белоруссии и некоторые особенности его формирования. В кн.: Материалы по антропогену Белоруссии. Минск, 1961.

Шкляр А.Х. Климат Белоруссии и сельское хозяйство. Минск, 1962.

Шкляр А.Х. Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве. Минск, 1973.

Шлык А.А. Метаболизм хлорофилла в зеленом растении. Минск, 1965.

Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. Записки Геогр. об-ва СССР, т.16, новая серия. М.-Л., 1957.

Эколого-физиологические особенности взаимоотношений растений в растительных сообществах. Минск, 1968.

Энгельгард В.А. Проблема жизни в современном естествозна - нии. В кн.: Ленин и современное естествознание. М., 1969.

Эренфельд Д. Природа и люди. М., 1973.

Юркевич И.Д., Гельтман В.С. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии. Минск, 1965.

Юркевич И.Д., Гельтман В.С., Ловчий Н.В. Типы и ассоциации черноольховых лесов. Минск, 1968.

Юркевич И.Д., Голод Д.Д., Парфенов В.И. Типы и ассоциации еловых лесов. Минск, 1971.

Юркевич И.Д., Ярошевич З.П. Биологическая продуктивность типов и ассоциаций лесов. Минск, 1974.

Якушко О.Ф. Белорусское Поозерье. Минск, 1971.

B r a b y n H. Man and the biosphere. In: Impact of Science on Society. UNESCO, Vol. 24, No 3, 1974.

C l a r k F.W. The data of geochemistry. U.S. Prof. Paper, 1924.

D o b z h a n s k y Th. Genetics and the origin of species. New York, 1953.

D u v i g n e a u P. La synthese écologiquel. Paris, 1974.

F o r r e s t e r J.W. World dynamics. Cambridge, 1971.

G o l d s c h m i d t V.M. Geochemistry. Oxford, 1954.

G u e r r i n A. Humanité et Subsistances, Dunod Editeur. Paris, Editions du Griffon Neuchatel, 1957.

K o n d r a t y e v K.Ya. Observations from space in a global ecology programic. In: Impact of Science on Society. UNESCO. Vol. 24, No 3, 1974.

L o v e r i n g T.S. Significance of accumulator plants in rock weathering. In: Bul. Geol. Soc. Amer., Vol. 70, No 6, 1959.

L u k a s h e v K.I. The problem of teachnical progress and mineral resources. In: Impact of Science on Society. UNESCO. Vol. 24, No 3, 1974.

M e a d o w s D.H., R a n d e r s W.W., B e h r e n s . The Limits to growth. New York, 1972.

Proceedings on significant results obtained from Earth Resources Technology Satellite 1, Vol.3. Discipline summary reports. Greenbelt. Md. NASA Goddard Space Flight Center, 1973.

Proposed content of the international Geological Correlation Programme. Intergovermental Conference of experts to prepare an International Geological Correlation Programm (IGCP). UNESCO, Paris, 19-29 October 1971.

R e i d K. et aj. Man, nature and ecology. London, 1974.

U.N. Conference on Human Environment and Land degradation. FAO, Rome, 1971.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Глава 1. *Общая характеристика условий и факторов, определяющих геохимические процессы в ландшафтах* 6

1. Взаимозависимость между развитием ландшафтов и геохимическими процессами 6

2. Современные и палеогеографические факторы, определяющие геохимические процессы в ландшафтах Белоруссии 8

3. Геологические факторы 8

4. Геоморфологические особенности ландшафтов 11

5. Климатический режим ландшафтов 14

6. Гидрологический режим ландшафтов 21

7. Почвы, растительный и животный мир ландшафтов 25

8. Геохимические продукты гипергенеза и ландшафтов 33

Глава П. Геологические и литологические факторы геохимических процессов в ландшафтах 37

1. Белорусский кристаллический массив 37

2. Припятская впадина 40

3. Брестская впадина 43

4. Оршанская впадина 43

5. Геохимические аномалии, связанные с глубинными породами . . . 44

6. Геологические и литологические особенности четвертичного покрова Белоруссии 48

7. Литогеохимические особенности отдельных генетических комплексов отложений 50

8. Отражение геохимических процессов в специфике ландшафтно-геохимических провинций 53

9. Геохимические индикаторы концентрации и рассеяния химических элементов в четвертичных отложениях 58

10. Специфика современных геологических и геохимических процессов в ландшафтах 62

11. Некоторые вопросы изучения геолого-геохимических процессов в ландшафтах 64

Глава Ш. Геоморфологические факторы геохимических процессов в ландшафтах 65

1. Геоструктурные формы рельефа Белоруссии 65

2. Геоморфологические и генетические особенности современного рельефа Белоруссии 67

3. Зависимость между литогеохимическим составом отложений и генетическими формами рельефа 71

4. Некоторые вопросы изучения геохимических процессов в связи с рельефом и его преобразованием 76

Глава 1У. Атмосферно-климатические факторы геохимических процессов в ландшафтах 77

1. Общая характеристика геофизической и геохимической роли атмосферы 77

2. Отражение современных климатических условий в геохимических процессах в ландшафтах 81

3. Некоторые особенности геохимических процессов гипергенеза в зависимости от климатических условий Белоруссии 90

4. Отражение палеоклиматов плейстоцена в осадочных процессах в ландшафтах 93

5. Отражение палеоклимата в развитии природы голоцена 97

6. Техногенные факторы загрязнения атмосферы. Геохимические изменения 101

7. Техногенез и изменение баланса кислорода, углекислоты и азота в атмосфере 104

8. Некоторые аспекты геохимического изучения атмосферно-климатических факторов 110

Глава У. Гидрологические факторы геохимических процессов в ландшафтах 113

1. Геохимическое значение воды в ландшафтах 113

2. Гидрогеохимические процессы и продукты речного стока 114

3. Гидрогеохимические провинции речного стока 118

4. Гидрогеохимические процессы и продукты озерного стока и аккумуляции 123

5. Гидрогеохимические процессы и продукты болотообразования 128

6. Гидрогеохимические процессы и продукты подземных вод 131

7. Некоторые вопросы изучения гидросферы Белоруссии в связи с техногенезом 135

Глава У1. Почвообразовательные факторы геохимических процессов в ландшафтах 137

1. Почва — наиболее активная сфера геохимических процессов 137

2. Генетические особенности почв, формирующихся на различном литологическом субстрате 141
3. Остаточно-аккумулятивные и подвижные геохимические продукты почвообразования 144
4. Техногенные факторы геохимических процессов в почвенном покрове 160
5. Некоторые вопросы изучения генетических и геохимических процессов почвообразования 162
Глава VII. Фитоэкологические факторы геохимических процессов в ландшафтах 164
1. Растительные сообщества ландшафтов 164
2. Химические элементы в естественной растительности Белоруссии 166
3. Роль фитоценозов в абиотическом и биотическом круговоротах химических элементов в ландшафтах 173
4. Биогеохимическая деятельность фитомикроорганизмов 175
5. Биогеохимические эндемии растений 182
6. Роль геохимических процессов в образовании биомассы и органического вещества 187
7. Некоторые вопросы фитоэкологического изучения ландшафтов . . . 191
Глава VIII. Зооэкологические факторы геохимических процессов в ландшафтах биосферы 193
1. Сообщества животного мира и экосистемы 193
2. Роль зооценозов в абиотическом и биотическом круговоротах химических элементов в ландшафтах 196
3. Ландшафтно-геохимические эндемии и заболевания 200
4. Основные вопросы изучения зооэкологических процессов в ландшафтах 205
Глава IX. Антропогенные факторы геохимических процессов в ландшафтах 206
1. Ноосфера — новое геохимическое и биологическое состояние биосферы и ландшафтов 206
2. Угроза экосистемам биосферы 209
3. Пути увеличения биологических ресурсов ландшафтов 214
4. Расширение земельных ресурсов планеты 215
5. Химические средства повышения биологической продуктивности ландшафтов 217
6. Биологические средства повышения продуктивности ландшафтов . . 218
7. Создание специфических геохимических ландшафтов 221
8. Социальные и биологические аспекты антропогенной экосреды . . . 221

9. Возможности научно-технического прогресса в области управления природными процессами и развитием ландшафтов 225

Глава X. Некоторые проблемы глобального и регионального изучения и охраны ландшафтов и биосферы 228

1. Международная программа ЮНЕСКО "Человек и биосфера" 228

2. Основные направления изучения биосферы в БССР 230

3. Геохимическое изучение биосферы и ландшафтов 230

4. Необходимость дальнейшей разработки теоретических и методических вопросов геохимии ландшафтов 232

Заключение 234

Литература 240

К.И.Лукашев, И.К.Вадковская

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ БЕЛОРУССИИ

Редактор Е.Г.Волкинд
Художеств.-техн.редактирование Г.А.Кузьмиченко
Корректор Г.Е.Старобинец
Ответственная за выпуск М.И.Безладнова

АТ 09585. Подписано к печати 4/УП-75 г. Бумага тип. №I.
Формат 70xI08/I6. Печ.л.I6,5. Уч.-изд.л. I9,0. Изд.зак. I68.
Тип.зак. 75. Тираж 350 экз. Цена Iр.90 к.

Ротапринт Института геохимии и геофизики АН БССР.
Минск, Ленинский проспект, 68

1 руб. 90 коп.

1309