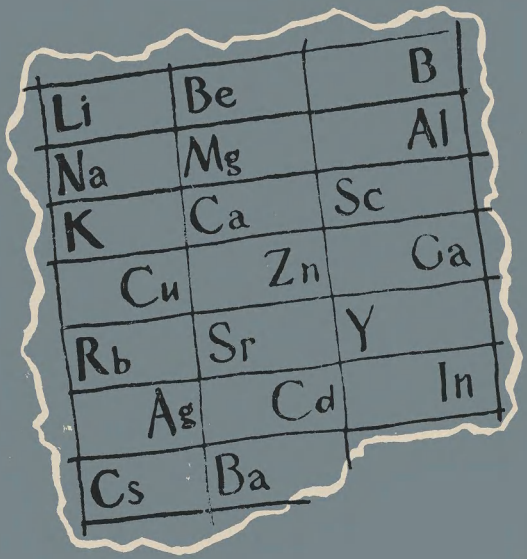
А.И. ПЕРЕЛЬМАН

ГЕОХИМИЯ и ЛАНДШАФТЫ



1961
СЕРИЯ XII
ИЗДАТЕЛЬСТВО ЗНАНИЕ
ГЕОЛОГИЯ и ГЕОГРАФИЯ
19

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

Доктор геолого-минералогических наук
А. И. ПЕРЕЛЬМАН

ГЕОХИМИЯ И ЛАНДШАФТЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1961

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Геохимия и география 3
Геохимия — наука об истории атомов Земли 3
Непредвиденные последствия 6
Наука о ландшафтах 7
Б. Б. Полынов — основатель геохимии ландшафта 9
Атомы в ландшафте 12
Полесский ландшафт 12
Растения-хищники и геохимия 15
В черноземных степях 16
В пустыне 17
Оазис 19
Избыток элементов — враг жизни 21
Редкие ландшафты 23
Биогеохимические провинции 25
Геохимия ландшафта и поиски полезных ископаемых 27
Сокровища Земли 27
Темпы добычи 29
Что такое ореол рассеяния 31
Виды поисков 32
Геологическая роль организмов 34
Растения — накопители солнечной энергии 35
Жизнь под землей и в глубинах океанов 37
Биосфера 39
Большой круговорот веществ в земной коре 40
О геохимии древних ландшафтов 41
Развитие ландшафтов 41
Радиоактивные часы 44
Древнейший этап 44
Развитие лесных ландшафтов 45
Биогенный этап 46
Геохимическая деятельность человечества 47
Литература 48

Автор
Александр Ильич Перельман

Редактор **Н. П. Смирнова**
Корректор **В. М. Климачева**

Техн. редактор **Л. Е. Атрощенко**
Обложка художника **А. Г. Ординарцева**

А 08940. Подписано к печати 11.XI.1961 г. Изд. № 350.
Формат бумаги 60×92¹/₁₆. Бум. л. 1,5. Печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,83.
Цена 9 коп. Тираж 13 200 экз. Заказ 3278.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., 3/4.

ГЕОХИМИЯ И ГЕОГРАФИЯ

Геохимия — наука об истории атомов Земли

В наше время небывалое развитие получили естествознание и техника. На глазах одного поколения возникли десятки новых наук, коренным образом изменивших многие отрасли народного хозяйства. Среди них центральное место занимают науки об атоме. Учение о свойствах атома проникает в самые различные отрасли знаний и обогащает их более совершенными методами, открывает новые области практического применения. Не только физические, химические и технические науки переживают крупные изменения под влиянием открытий в атомной физике — много нового вносят эти открытия и в развитие наук о Земле.

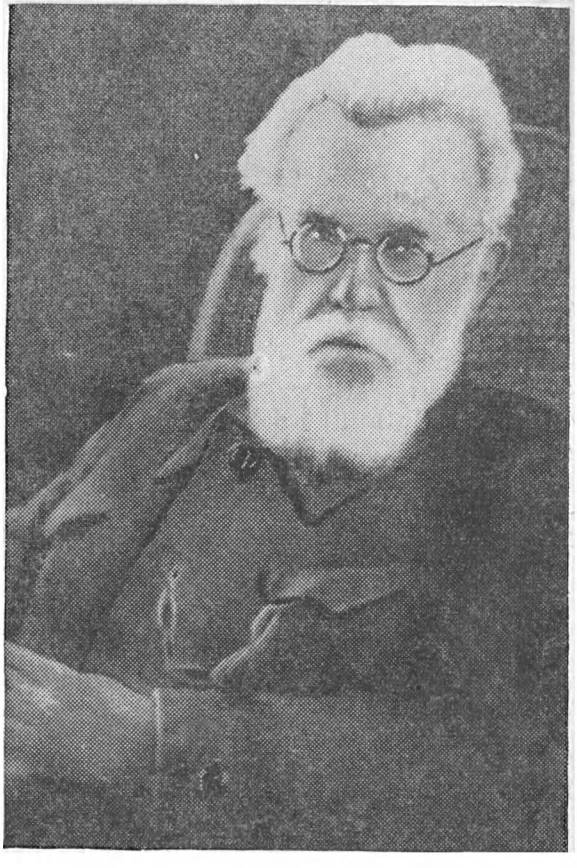
Еще в начале нашего века зародилась геохимия, изучающая историю атомов Земли. Основной задачей геохимии является выяснение законов перемещения (миграции) химических элементов в земной коре, причин их концентрации, в том числе образования промышленных месторождений. Геохимия объясняет, почему в одних местах накапливаются большие запасы железа (например, в районе Курска, Кривого Рога), в других — меди (Урал), свинца, цинка (Алтай), соли (Донбасс, Прикаспий), нефти, фосфоритов и т. д.

Давно уже было замечено, что одни элементы всегда встречаются вместе, а другие никогда не накапливаются одновременно. Так, например, в рудах часто содержится ртуть и сурьма, цинк и свинец, золото и серебро, уран и радий, и, наоборот, почти никогда не встречаются вместе железо и поваренная соль, медь и хром, уран и никель. Причины таких естественных ассоциаций химических элементов также изучаются в геохимии.

Много внимания геохимики уделяют и среднему химическому составу земной коры. Они установили, что на Земле одни элементы распространены очень широко (например, кислород), другие значительно меньше (например, железо),

большая их часть содержится в горных породах, а в водах в крайне незначительных количествах. Например, ртути в земной коре содержится всего семь миллионных долей процента, радия — одна десятимиллиардная доля процента.

В итоге своих исследований геохимики пришли к выводу, что и распространенность химических элементов на Земле и их перемещение теснейшим образом связаны со строением ядра и электронных оболочек атомов.

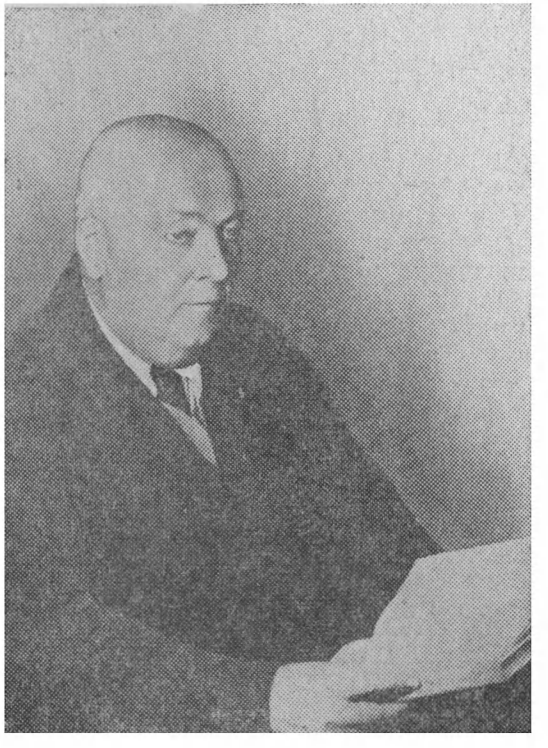


В. И. Вернадский.

Основателем этой науки был профессор минералогии Московского университета, замечательный ученый, академик Владимир Иванович Вернадский (1863—1945). В руководимой им скромной минералогической лаборатории университета в начале XX столетия и зародилась новая наука.

Глубокий и оригинальный исследователь, Вернадский обладал свойством, характерным для многих представителей

русского естествознания, — способностью к научному синтезу, умением видеть за частным проявление общих законов природы. Эти выдающиеся способности удачно сочетались с большой волей, целеустремленностью в работе, верой в науку, в то, что даже отвлеченные теоретические исследования необходимы для развития народного хозяйства и культуры своей страны и всего человечества.



А. Е. Ферсман.

Вокруг Вернадского группировалось много талантливой научной молодежи. И первое место среди них занимал его ближайший ученик и друг, вместе с ним создававший геохимию, выдающийся советский ученый, академик Александр Евгеньевич Ферсман (1883—1945).

Для Ферсмана было особенно характерно умение сочетать самую глубокую и отвлеченную теорию с практикой народного хозяйства. Все его исследования в различных районах нашей страны были целеустремленно направлены на улучшение минерально-сырьевой базы СССР — так было в Средней Азии, на Урале и особенно в Хибинах, изучению которых он отдал много сил.

Крупный вклад в создание геохимии внесли и иностранные ученые, особенно американец Ф. Кларк (1847—1931) и норвежец В. М. Гольдшмидт (1888—1947).

В наши дни геохимия стала одной из важных отраслей естествознания. Много нового в эту «науку XX столетия» внесли труды академика А. П. Виноградова, членов-корреспондентов АН СССР А. А. Саукова, К. А. Власова, профессоров В. В. Щербины, В. И. Лебедева и других советских геохимиков.

В реализации грандиозного плана коммунистического строительства, который намечен Программой Коммунистической партии Советского Союза, примут участие и советские геохимики.

Геохимия оказывает все большее влияние на смежные науки и, в частности, на географию. Широкое приложение геохимических идей и методов к географии привело к развитию нового научного направления — **геохимии ландшафта.**

Термин ландшафт часто встречается в разговорной речи. Мы говорим «степной ландшафт» и представляем себе открытые равнины целинного края, высокое голубое небо, бескрайние поля пшеницы, жаркое сухое лето, пыльные ветры, небольшие речки, лениво извивающиеся по степи. Иные представления возникают при упоминании таежного ландшафта. Это густой труднопроходимый хвойный лес, комары и мошка, изводящие человека, широкие полноводные реки, снежная, морозная зима, встречи с «хозяевами тайги» — медведем и лосем и т. д. Иначе говоря, ландшафт это весь комплекс природных условий земной поверхности.

Ландшафты в основном изучаются географами. Исследуя холодные тундры у берегов Ледовитого океана, бескрайние степи Украины, влажные субтропики Черноморского побережья и другие ландшафты, географы главное внимание уделяют климату, рельефу, растительности, животным, почвам, водам.

Но зачем надо изучать ландшафты? Что́ такое изучение дает коммунистическому строительству?

Непредвиденные последствия

Уже в античную эпоху люди убедились, что их усилия использовать природные ресурсы нередко приводят к вредным последствиям. Для того чтобы обеспечить себя топливом, материалами для постройки кораблей или домов, древние греки и другие народы Средиземноморья начали вырубать леса, растущие на горных склонах. Кто же мог тогда предвидеть, что обезлесенные горы со временем лишатся своего почвенного покрова, который будет смыт бурными потоками, что, в свою очередь, приведет к наводнениям в долинах?

А могли ли, например, древние вавилоняне предвидеть, что, орошая с огромным трудом пустыни, они вызовут засоление полей, возникновение еще более безжизненной, страшной соляной пустыни?

Не менее грустные последствия произошли в области преобразования природы и в царской России. Так, крестьяне черноземных губерний, жалкие наделы которых были сжаты со всех сторон помещичьими землями, старались распахать берега рек, крутые склоны, луга. Эта бессистемная распашка привела к росту оврагов, смыву почвы, еще большему уменьшению пахотных земель, еще большему земельному голоду.

История человеческого общества знает много таких примеров. Особенно пагубными оказались последствия хозяйственной деятельности при капитализме.

Достаточно напомнить о наводнениях, в результате которых затопляются плодородные земли, о пыльных бурях, засыпающих посевы, об эрозии почв, обмелении рек, засухах и т. д.

Но какова причина всех этих бедствий?

В своей хозяйственной деятельности человек, поставив определенную цель, изменяет какую-то часть ландшафта: леса (вырубка), почвы (распашка, орошение), реки (ловля рыбы) и т. д., и на первых порах достигает того, к чему стремился. Но в природе все части ландшафта тесно связаны и взаимообусловлены. Вырубили лес — изменился режим рек, распахали склоны — вызвали рост оврагов, спустили в реки отходы фабрик — погибла рыба и т. д. И даже тогда, когда агрономы, врачи, лесоводы или инженеры-строители изучают какую-то часть ландшафта, они решают лишь определенные частные задачи по орошению и удобрению земель, лесоводству, животноводству, строительству. Поэтому так важна особая наука о ландшафтах.

Наука о ландшафтах

Таким образом, на горьком опыте, ценой многочисленных неудач и разочарований люди убедились, что земная поверхность — это не простое собрание почв, растений, животных, вод. Все эти части географической среды представляют единый комплекс, который мы сейчас именуем ландшафтом.

Иначе говоря, отдельные части ландшафта как бы связаны единой цепью. Поэтому достаточно изменить хоть одно звено этой цепи, чтобы неминуемо произошли изменения и в других.

Вот почему много веков назад возникла необходимость изучения связей между отдельными частями географической среды (почва — растительность — рельеф — воды и т. д.), то есть возникла необходимость создания науки о ландшафтах.

Однако эта наука могла возникнуть лишь в конце XIX столетия, когда были достигнуты большие успехи в области геологии, метеорологии, ботаники, зоологии, гидрологии и в других отраслях знаний, изучающих отдельные части ландшафта. Основы этой новой науки были разработаны великим русским ученым В. В. Докучаевым.

Каково же практическое значение учения о ландшафтах, что может оно дать коммунистическому строительству, программа которого разработана нашей партией? Для этого посмотрим, каков должен быть культурный ландшафт коммунистического общества. Прежде всего в нем будет достигнуто полное использование природных ресурсов и не будет их разрушения. В таком ландшафте благодаря правильной агротехнике и химизации урожаи значительно выше, чем в природных условиях. Леса здесь также дают больше продукции, качество древесины выше, особое внимание уделяется разведению ценных пород деревьев, не свойственных данному природному ландшафту. В водоемах много рыбы. В доступной части земной коры найдены полезные ископаемые. Широко используются энергетические ресурсы, в том числе энергия рек, ветра, приливов, подземного тепла и т. д. Среди ландшафтов коммунистического общества не должно быть так называемых «неудобных земель» — пустошей, болот, пустынь и т. д. Каждый участок земной поверхности должен использоваться наиболее производительно. Вместе с тем в таком ландшафте нет «непредвиденных последствий» — смыва почв, пыльных бурь, роста оврагов, наводнений, заболачивания, засоления и т. д.

В коммунистическом обществе должны быть также созданы условия, обеспечивающие здоровую жизнь людей. В нем полностью используются курортные ресурсы — минеральные воды, грязи. Привозные продукты позволяют улучшить качество питания, обеспечить людей всеми необходимыми химическими элементами и в нужных количествах. В продуктах питания и водах современных ландшафтов нередко наблюдается недостаток или избыток ряда элементов (с точки зрения потребностей человека). В культурном ландшафте при высоком уровне развития производительных сил коммунизма эти недостатки могут быть легко устранены. Это создаст возможность улучшения здоровья, ликвидации многих болезней, повысится продолжительность жизни, улучшится сама физическая природа человека.

Культурный ландшафт должен сочетать в себе достоинства, свойственные многим природным ландшафтам, нередко достаточно удаленным друг от друга. С другой стороны, он не должен обладать недостатками, присущими данному природному ландшафту.

Разработать теорию такого преобразования географиче-

ской среды и должна наука о ландшафтах. Ее роль была сравнительно невелика в условиях капитализма с характерными для него анархией производства и частной собственностью на землю. При социализме роль науки о ландшафтах сильно возрастает, и еще более велика будет роль этой науки при коммунизме, когда особенно усилится воздействие человека на природу. Но для того чтобы решать все эти важные практические задачи, наука о ландшафтах должна находить новые пути и методы исследования. К числу таких новых путей и относится геохимическое изучение ландшафта, основы которого были заложены в трудах Б. Б. Полынова (1877—1952).

Б. Б. Полынов — основатель геохимии ландшафта

В 90-х годах XIX века докучаевские идеи получили уже широкое распространение и признание в среде русских ученых. К Докучаеву и его школе тянулось много талантливой молодежи. И не удивительно, что студент Петербургского лесного института Полынов выбрал своей специальностью не лесоводство, а новую, созданную Докучаевым науку — почвоведение.

Скромная должность земского статистика дала возможность Полынову изучить почвы и ландшафты Черниговской губернии. Потом последовали почвенно-географические работы в амурской тайге, в долине Дона и других районах. В эти предреволюционные годы Полынов еще изучал ландшафты методами почвоведения и физической географии.

Новые горизонты открылись перед ученым после Великой Октябрьской социалистической революции. Перед Полыновым в эти годы встали большие задачи, которые требовали новых методов в изучении природы. Эти методы он нашел в геохимии.

В 1924 году Академия наук СССР командировала Полынова для почвенно-географических исследований в Монголию, где незадолго до этого произошла народная антифеодальная революция. Столетия господства духовных феодалов—лам поставили страну в состояние крайней экономической и культурной отсталости. Монголии предстояло развиваться по социалистическому пути, минуя капиталистическую стадию, и в решении этой сложной, еще небывалой в истории задачи большую помощь народу, конечно, должна была оказать наука. Что предпринять для освоения пустынных пространств на юге страны? Где расположены районы, наиболее пригодные для незнакомого монголам земледелия? Как организовать изучение производительных сил этой огромной, малонаселенной страны? Эти и многие другие вопросы ставила народная Монголия перед советскими учеными.

Полынов посетил и далекую пустыню Гоби, и зеленые склоны Хангайских гор, и волнистые степи окрестностей столицы республики — Улан-Батора. Ученому было ясно, что освоение этих пространств не должно проводиться медленно и стихийно, как это было в прошлом в других странах, а

Б. Б. Полынов.

должно вестись по единому плану, чтобы дать наибольший хозяйственный эффект. Как этого достигнуть? На этот вопрос он отвечает в конце научного отчета об исследованиях ландшафтов Гоби. С целью орошения и обводнения этой засушливой части страны необходимо, говорит ученый, исследовать не отдельные озера и колодцы, а изучать «геохимическую жизнь» всей территории, то есть необходимо геохимическое изучение ландшафтов. Работы Полынова и его учеников помогли в изучении природы Монголии. До последних

лет своей жизни ученый интересовался научными работами, проводившимися в этой стране, он был вице-президентом Монгольской комиссии Академии наук СССР, помогал развитию молодой монгольской науки.

Таким образом, уже в ходе монгольских исследований у Полынова зародилась идея о необходимости геохимического изучения ландшафтов. Но до оформления нового научного направления было еще далеко.

В начале 30-х годов перед сельским хозяйством СССР встала важная задача — орошение сухих степей и полупустынь Заволжья. Длинное лето, ясная солнечная погода очень благоприятны здесь для сельского хозяйства, но недостаток осадков, особенно периодические засухи, сдерживал развитие этих обширных равнин. Кардинальное решение проблемы — орошение. Для его организации требовались большие предварительные научные исследования геологов, экономистов, агрономов, почвоведов, мелиораторов и других специалистов. Б. Б. Полынов участвовал в этих работах, особое внимание он обратил на законы движения солей в почвах и водах, на причины гибели почв при орошении. Так были получены новые данные по геохимии степей и пустынь.

В дальнейшем Полынов ряд лет работал во влажных субтропиках Аджарии, на Черноморском побережье Кавказа. Эти исследования были связаны с решением чайной проблемы. Хорошо известно, что до Октябрьской революции своего чая в России почти не было, его получали из Китая и других стран Востока, на что уходило много валюты. Такое положение стало нетерпимым в годы пятилеток, когда валюта тратилась на приобретение машин и другого оборудования, необходимого растущей промышленности. Встал вопрос о собственной чайной базе. С этой целью и начались исследования Черноморского побережья Кавказа, где еще до революции были поставлены успешные опыты по выращиванию чая.

В решении этой важной практической проблемы принял участие и Б. Б. Полынов со своими учениками. Исследования помогли успешно решить чайную проблему и способствовали дальнейшему развитию геохимии ландшафта.

Постепенно у Полынова накопился большой материал, позволивший приступить к созданию нового научного направления.

«Чем совершеннее становится человеческое общество, чем ближе оно подходит к коммунизму, тем ярче и наглядней становится несоответствие унаследованной от капиталистического строя организации науки новым условиям социальной жизни.

В самом деле, новые условия — это условия великих коммунистических строек, направленные иногда к кардинальной переделке природы. Но для того, чтобы успешно переделы-

вать природу, надо ее рассматривать как единое целое, в котором предметы и явления взаимосвязаны и взаимообусловлены. Однако до настоящего времени мы не располагаем такой наукой, которая бы и сама рассматривала и учила бы нас познавать природу **как единое связное целое»**, — писал ученый в 1952 году.

И далее в этой же работе Полынов пишет:

«И только в самое последнее время накопился некоторый материал и были выработаны приемы исследования, которые, как нам кажется, уже позволяют приступить к построению новой дисциплины»[1].

Полыновым были заложены основы геохимии ландшафта. Ныне в нашей стране данное направление развивается учениками и последователями этого замечательного ученого. Геохимики изучают химические элементы, из которых состоит ландшафт, их миграцию из почв в воды, из вод в растительность, из растительности снова в почвы и т. д. Подобное перемещение элементов связывает между собой различные природные тела в единое целостное образование, определяет многие важные особенности ландшафта.

Так же как географ говорит о «степных», «болотных», «пустынных», «солончаковых» ландшафтах, геохимик различает «кальциевые», «железные», «натриевые» ландшафты, имея в виду наиболее характерные для них элементы.

АТОМЫ В ЛАНДШАФТЕ

Еще в школе мы знакомимся с тайгой, черноземными степями, тундрой, пустыней и другими типами ландшафтов. Теперь посмотрим на некоторые из этих ландшафтов глазами геохимика, посмотрим, как мигрируют в них химические элементы.

Полесский ландшафт

Перед нами один из типичных ландшафтов лесной зоны, получивший название «полесский». На сотнях и тысячах квадратных километров здесь распространены заросшие сосновыми лесами неплодородные пески, торфяные болота, медленные, тихие реки, зарастающие озера. Таковы некоторые районы Белоруссии, Мещерской низины Подмосковья, Верхней и Средней Волги, Приуралья и Западной Сибири.

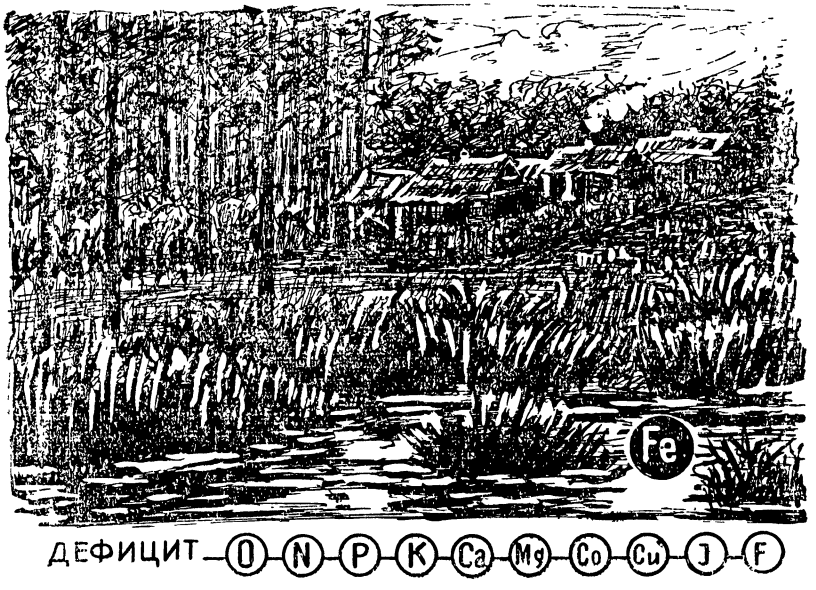
До революции это были типичные «медвежьи» углы с глухими лесами, бездорожьем, редким населением. Миллионы гектаров неосвоенной, неплодородной земли!

В чем же секрет бедности природы полесских ландшафтов?

---

[1] Б. Б. Полынов. Избранные труды. Учение о ландшафтах. Изд-во АН СССР, 1956, стр. 492—493.

Исследования показали, что песок в полесьях более чем на 90% состоит из минерала кварца и содержит очень мало кальция, фосфора, магния, калия и многих других элементов. Поэтому, когда в почву поступают различные органические кислоты и углекислый газ, образующиеся от разложения мертвых растительных остатков, металлов, которые могли бы нейтрализовать эти кислоты, не хватает. В результате почвенные, грунтовые, а иногда и речные воды становятся «кислыми», то есть в них появляется много ионов водорода. Кислую реакцию хорошо переносят далеко не все растения.

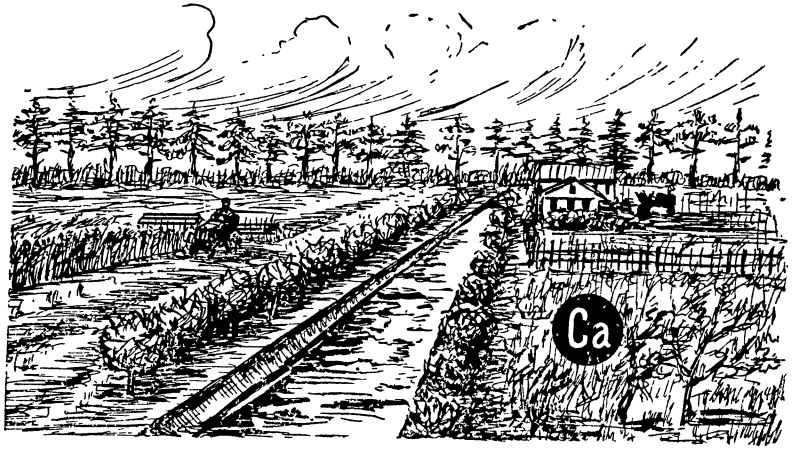


В полесском ландшафте недостает многих веществ

Далее было установлено, что в полесьях живым организмам не хватает ряда важных химических элементов. Особенно резко отражается на животных недостаток кальция. Как известно, кальций является одной из главных составных частей костей. При отсутствии его в должных количествах нарушается прочность скелета. Поэтому у домашних животных полесий нередко наблюдается рахит, птицы здесь несут мало яиц и даже моллюски в реках имеют тонкие раковины.

В полесьях много торфяных болот. От недостатка свободного кислорода в болотистых почвах и водах образуются различные ядовитые соединения, в частности соли железа. В этих, как мы говорим, «железных» ландшафтах многие растения вообще не могут существовать, а те, которые выживают, часто имеют карликовый рост, они как бы «задыхаются» от недостатка кислорода.

Но оказалось, что беда не только в этом. Исследования академика А. П. Виноградова и его последователей показали, что в полесьях не хватает многих редких элементов: кобальта, йода, фтора, меди. Известно, что кобальт входит в состав витамина B_{12}, который участвует в кроветворении. Поэтому недостаточное содержание его в почве вредно сказывается на организме животных. Нередки случаи, когда пасущийся на бедных кобальтом почвах скот заболевает тяжелой болезнью — акобальтозом. Недостаток в воде и пище йода вызывает нарушение функций щитовидной железы — зоб, распространенное заболевание в этих местах.



Наиболее характерен для культурного полесского ландшафта кальций.

Но есть здесь и избыточные соединения, подавляющие жизненные процессы. Это прежде всего вода, заболачивающая землю.

Мы составили геохимическую формулу этого ландшафта в виде смешанной дроби. Место целого числа в такой формуле занимают элементы, или ионы, определяющие наиболее характерные геохимические его особенности — водородный ион (кислые воды). В числителе стоят дефицитные элементы и соединения, а в знаменателе — избыточные. Вот как она выглядит:

$$H_{\text{ион}} \cdot \frac{O, N, P, K, Ca, Mg, Co, Cu, J, F.}{H_2O}$$

Когда были выяснены основные причины низкой продуктивности полесий, стали ясны и пути преобразования их в культурный ландшафт.

Для этого достаточно добавить недостающие элементы и уменьшить содержание избыточных. Применение искусственных удобрений увеличило процент азота, фосфора, калия,

кальция, магния, меди, бора в почвах. Недостаток кальция, йода и кобальта для домашних животных восполняется минеральной подкормкой. Избыток воды в болотах удаляется путем осушения, что ведет к обогащению почвы кислородом.

Таким образом, научно определены предпосылки превращения полесий в районы высоких урожаев, развитого животноводства, культурной и зажиточной жизни.

Растения-хищники и геохимия

Не правда ли, это сочетание звучит странно? Мы привыкли к тому, что животные поедают растения, а отнюдь не наоборот. Но даже если представить себе «хищные растения», то причем здесь геохимия? И все же название данного раздела не случайно.

Верховое болото — ландшафт резкого дефицита большинства химических элементов.

«Хищные растения», питающиеся животными, известны ботаникам уже давно. Таковы, например, травы торфяных болот — росянка и другие. Привлекая порхающих на болоте насекомых, росянка переваривает их с помощью особых выделений. Болота, на которых встречаются эти «насекомоядные растения», называются **верховыми.** Для них особенно характерны белые сфагновые мхи и низкорослая сосна. Таких болот много в северной половине лесной зоны, но встречаются они и под Москвой, и даже южнее.

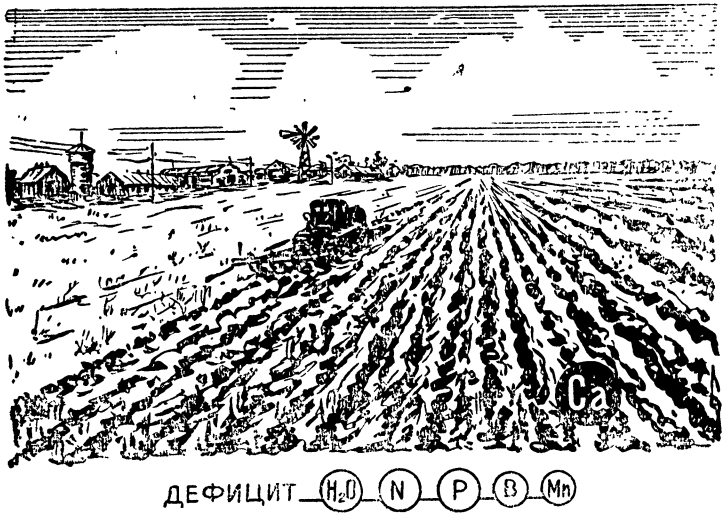
Эти болота расположены обычно на водоразделах, слой торфа нередко превышает несколько метров, и поэтому растения верховых болот не связаны с минеральным грунтом. Питание преобладающего растения — сфагнового мха — фосфором, серой, кальцием, железом и многими другими элемен-

тами осуществляется за счет тех веществ, которые попадают на болото с атмосферными осадками или приносятся в виде пыли. Кислые выделения помогают мхам разлагать пыль и таким образом получать хоть какое-то минеральное питание. В этих условиях рост растений очень подавлен — мох за год вырастает лишь на 1—4 *см*, сосна выглядит настоящим карликом, настолько ничтожен тот паек минеральных веществ, который они получают. Таким образом, многие растения на верховом болоте испытывают сильнейшее **минеральное голодание.** И только растения-хищники, пока на болоте есть комары и мошки, не страдают от недостатка азота и минеральных элементов. Само существование этих растений на верховом болоте является ярким доказательством низкого содержания в почве азота, кальция, калия, натрия и других элементов.

Таким образом, для верхового болота характерен еще более резкий дефицит минеральных элементов, чем в полесьях. Здесь дефицитны почти все элементы и геохимическая формула особенно большая. Это и исключает пока возможность использования верховых болот в земледелии, но зато они — источник прекрасного топлива (торфа) для электростанций.

В черноземных степях

Если в полесьях наблюдается недостаток кальция, то в черноземных степях, раскинувшихся от Карпат до Алтая, этот элемент, наоборот, содержится в большом количестве.



Плодородны черноземные степи, но и здесь наблюдается недостаток ряда элементов.

Почвы, подстилающие грунты и воды, имеют здесь много кальция. Естественно, что, получая богатый кальцием корм, живые организмы хорошо развиваются. У животных прочный скелет, рахит редок, коровы дают много молока.

Хотя черноземные степи содержат большое количество всевозможных химических элементов, в них все же наблюдается дефицит азота, фосфора, а кое-где бора и марганца.

Поэтому и здесь для повышения продуктивности ландшафта используются химические удобрения, а животным для лучшего роста добавляют в рацион минеральную подкормку.

В пустыне

Теперь перенесемся мысленно еще на сотни километров к югу. Мы в среднеазиатских пустынях. Кругом выжженная солнцем равнина, чахлая полынь или редкие кусты саксаула.

Мне вспоминается первое знакомство с песчаной пустыней летом 1946 года, когда наш маленький отряд геохимиков высадился на небольшой станции, расположенной на окраине песчаной пустыни.

Поселились мы в небольшом домике, над крышей которого метров на 10 возвышался песчаный бархан. Основание бархана подошло вплотную к входной двери, и хозяйка дома почти ежедневно отгребала кучи песка, засорявшие террасу. Бархан активно наступал на здание, и судьба последнего была предрешена. В сходном положении находились и некоторые другие дома поселка, часть из них уже была засыпана песком. Пустыня наступала...

В первое же утро я услышал за стеной голос: «Водянка пришла». «Водянка» — товарный поезд, развозящий по станциям пресную воду в больших деревянных бочках. На некоторые станции воду везут за 80—100 *км*. Местная вода не пригодна для питья из-за солености.

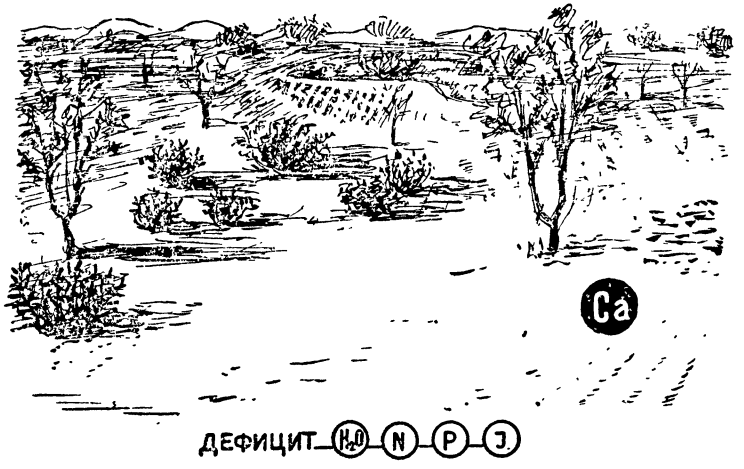
Вскоре мы совершили экскурсию в окрестности станции. Не прошло и получаса после утреннего завтрака, мы еще не дошли до места работы, а во рту уже пересохло, губы обветрились. Солнце, как нам казалось, палило немилосердно, песок обжигал ноги даже через тапочки. Все жаждали тени, но ее не было. Кругом лишь высохшая травка да редкие кусты саксаула. Все залито ярким солнцем.

Мне приходилось читать, что саксаул не имеет листьев и не дает тени. Однако оказалось, что в пустыне и слабая тень от веточек саксаула может пригодиться.

В пустыне кустарники находятся на «голодном водном пайке». Чтобы не умереть от жажды, они должны как можно меньше испарять. Листья с их большой поверхностью в этих условиях представляют роскошь для растения. Функцию листьев у саксаула выполняют мелкие «годичные» веточки, ко-

торые имеют зеленую окраску. Имея меньшую поверхность, они гораздо меньше испаряют воды.

Массовая вырубка саксаула во многих районах пустынь привела к неприятным последствиям. Ранее закрепленные пески стали развеваться, двигаться и кое-где засыпать поля, дороги. И в поселке дома потому засыпаются песками, что местные жители вокруг вырубили саксаул. Теперь эти свойства саксаула хорошо известны и его запрещают вырубать



Недостаток воды определяет облик пустыни.

около поселков и вдоль полотна железной дороги. Во многих местах даже проведены искусственные посадки саксаула, который предотвратил наступление пустыни на плодородные оазисы.

На обратном пути на станцию нас ждало еще одно испытание. Начался сильный ветер, пески «закурились», в воздух поднялись массы пылинок, видимость ухудшилась. Ветер был сухой и не освежал кожу.

Таково было первое впечатление от пустыни. Мы познакомились с особенностями этого ландшафта, о которых раньше читали в книгах: жарой, сухостью воздуха, безоблачным небом, ярким солнцем, безводьем бедной растительностью, сильными ветрами. Еще худшее впечатление производит глинистая пустыня. А ведь почвы в пустыне очень богаты, в них много кальция, фосфора, калия, редких элементов. И все же на них растут лишь редкие кустарники и травы. Отчего?

Дефицит воды определяет геохимию пустыни. В год здесь выпадает в 5 раз меньше осадков, чем в Москве, в то время как испаряемость в условиях летней жары намного больше. Отсюда низкая продуктивность растительного покрова, ко-

торый слабо защищает почву от ветра. Поэтому ветер — важный агент миграции элементов. Песчаные бури, вроде той, что застала нас в окрестностях станции, пыльная мгла в воздухе здесь нередкое явление.

Вместе с песком и пылью ветер переносит огромные массы солей. Целые холмы навеваются ветром, и, наоборот, ветер «выдувает» глубокие котловины. Летняя жара приводит к сильному испарению подземных вод, они постепенно осолоняются и становятся непригодными для питья. Таковы основные черты геохимии пустынь.

Достаточно добавить в такой ландшафт пресную воду, и все вокруг неузнаваемо изменится. Помню, как меня поразила долина Аму-Дарьи, когда я впервые попал туда из песчаной пустыни Каракумы. Вместо бугристых песков с редким саксаулом здесь были густые заросли, состоящие из тополя, тамариска, лоха, ивы и других деревьев и кустарников. На более сырых местах росли гигантские травы, похожие на тростники. В зарослях щебетали птицы, дорогу перебегали фазаны, слышалось кваканье лягушек, нас облепили тучи комаров. Кругом все было полно жизни, была тень, свежая зелень. Мы въехали в естественный оазис, приречной лес в пустыне, так называемый тугай, питающийся грунтовыми водами от реки. Дышать сразу стало трудно, воздух был неподвижным и влажным от испарений, казалось, мы попали в тропическую жару, в джунгли. Кто-то вспомнил, что не так давно в тугаях еще водились тигры.

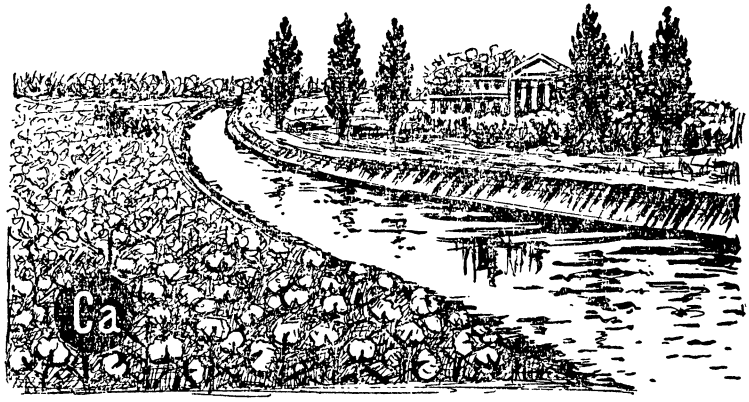
Оазис

Всего несколько метров отделяют пустыню от культурного оазиса, а какой контраст! Кругом зеленые поля, сады, многочисленные поселки, улицы которых утопают в зелени. Тень огромных тополей защищает вас от солнца, в арыках журчит вода. После пустыни оазис производит особенно сильное впечатление. Трудно поверить, что когда-то здесь расстилалась выжженная солнцем пустыня. А ведь это было именно так — только упорный труд многих поколений создал оросительные каналы, по которым вода пришла в пустыню и напоила растрескавшуюся землю.

Жаркое южное солнце, изобилие воды — это все, что нужно для жизни растений. И вот сухие колючки сменились огромными деревьями, пышными травами, всеми сочными плодами благодатного юга. Невольно вспоминается роль орошения в истории Древнего Египта, Вавилонии, Хорезма. Эти государства существовали тысячелетия назад благодаря орошению водами Нила, Тигра и Евфрата, Аму-Дарьи. Даже в условиях примитивной техники и рабского труда орошение вызвало тогда «взрыв» производительных сил, образование

могучих государств, оставивших архитектурные памятники, которые и теперь поражают грандиозностью и красотой.

Но как малы были эти орошенные земли по сравнению с просторами великих пустынь! Недели и месяцы шли караваны, и усталые путешественники не видели ничего, кроме сыпучих песков, солончаков, каменистых равнин да страшных песчаных бурь. Даже крупнейшие древние государства-оазисы — это всего лишь небольшие зеленые пятнышки на карте пустынного пояса, тянущегося широкой полосой от Атлантики через всю Африку и Азию почти до берегов Тихого океана.



Оазис — культурный ландшафт, созданный человеком.

Орудуя лопатой и кетменем, человек мог использовать только самые доступные земли, куда вода текла самотеком. Огромные массивы плодородных земель лежали втуне, и лишь редкий кочевник бродил со своими жалкими стадами по этим выжженным равнинам.

Только в нашей стране в условиях высокой техники социализма и коллективного свободного труда стала реальной задача превращения пустынь в цветущие оазисы. Уже теперь в нашей стране сделано многое. За 40 лет Советской власти в Средней Азии орошено больше чем за 2000 лет предшествующей истории. Мощная землеройная техника позволяет за 2—3 года вырыть канал, на создание которого раньше уходили десятилетия и столетия. Вода пришла и в Каракумы, в Кызылкум и в другие пустыни. Впереди еще более грандиозные дела — перестройка речной сети Союза, поворот северных рек — Печоры, Вычегды и других — на юг, в степи и пустыни.

Пассажир будущего, едущий или летящий из Москвы в Ташкент, к югу от Актюбинска увидит не бесконечные серовато-желтые малонаселенные равнины, а зеленые поля, луга

и леса, города и поселки, он увидит искусственные широкие реки, которые будут, быть может, полноводнее Волги.

В оазисе уже ничего не осталось от прежней пустыни. И почвы, и растительность, и воды, и климат здесь другие, созданные человеком. Это в полном смысле новый, культурный ландшафт со своеобразной геохимией.

Но даже и здесь, на этих сказочно плодородных землях, для высоких урожаев хлопка и других культур необходимы азотные и фосфорные удобрения. Геохимическое изучение пустынь и оазисов только начинается, оно позволит еще лучше организовать сельское хозяйство в этих районах, улучшить здоровье населения.

Избыток элементов — враг жизни

Как-то раз, во время путешествия по пустыне, вдали мы увидели большое озеро, водная гладь которого притягивала к себе взгляды. Увы, хотя это и не мираж, но это и не водоем! Перед нами огромный солончак — котловина, покрытая толстой коркой различных солей. Все безжизненно кругом, ни единой травки, ни кустика.

Солончаки и соленые озера встречаются не только в пустынях, но и в степях. Солончаки — это в известном смысле геохимические антиподы полесских ландшафтов. Там резкий дефицит многих элементов; тут, наоборот, избыток их. Именно высокая концентрация в почвах и водах натрия, хлора, серы губит все живое. Впрочем, оказывается, это не совсем так. Под толстой коркой соли находятся миллиарды бактерий, разрушающих сульфаты и образующих сероводород. Эти «соленые грязи», богатые сероводородом, обладают высокими целебными свойствами. Поэтому на солончаках созданы грязевые курорты, где хорошо излечиваются ревматизм и другие костные заболевания. Таковы Саки в Крыму, Пятигорск на Кавказе, Одесские лиманы и др. Лечебная грязь встречается во многих районах степей и пустынь, ее ресурсы используются еще не полностью.

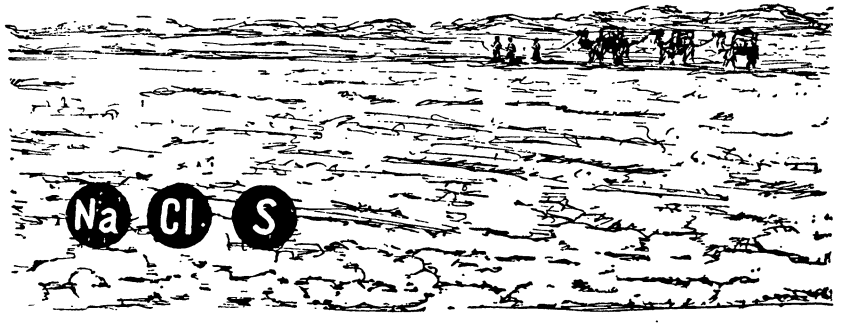
Интересно отметить, что, когда было выяснено, как образуется лечебная грязь, ее научились готовить искусственно. Для этого надо к мокрой глине добавить сернокислых солей, поваренной соли, каких-нибудь органических веществ и «закваску» из культуры бактерий. Через некоторое время бактерии начинают свою работу, в глине появляется сероводород, она превращается в искусственную лечебную грязь.

Но откуда берутся в пустынях и степях соли?

Хорошо известно, что речные и грунтовые воды во всех ландшафтах содержат некоторое количество солей, вымытых из почв и горных пород, а также принесенных с парами и ветрами с океана. Но в странах с влажным климатом, где

выпадает много атмосферных осадков, количество этих солей невелико и вода имеет пресный вкус.

Иное дело в странах с сухим климатом — осадков здесь выпадает мало, лето жаркое, поверхностные и грунтовые воды сильно испаряются, содержание солей в них резко возрастает. Грунтовые воды пустынь часто содержат так много хлористых и сернокислых солей, что даже не пригодны для питья.



Солончак в пустыне.

В низинах, где грунтовые воды залегают близко от поверхности, они поднимаются по капиллярам, испаряются, а содержащиеся в них соли выпадают из раствора и накапливаются на поверхности почвы в виде белой корки. Значительная часть солей пропитывает и всю почву. Так и образуются **солончаки.**

Но в пустыне имеется и еще один источник солей — это соленосные породы, следы былых морских заливов, в которых миллионы лет назад происходило отложение солей. После того как море покинуло эти районы, соли оказались на суше, соленосные породы стали растворяться поверхностными или подземными водами.

Изучение солончаков может быть использовано и для поисков полезных ископаемых. Как показали советские ученые, от нефтяной или газовой залежи кверху распространяется поток углеводородных газов — метана (CH_4) и других, доходящих в ослабленном виде до поверхности. По пути своего движения эти газы изменяют состав вод, горных пород и почв. Из вод постепенно исчезают соли серной кислоты, воды обогащаются йодом, в почвах накапливаются углеводороды в виде битумов. Поэтому если в солончаке содержится много хлора и мало серы, если он богат йодом и битумами, то это часто указывает на залегание на глубине нефти или газа. Так, изучая солончаки, можно сделать вывод о нефтеносности и газоносности района.

Редкие ландшафты

Ландшафты, о которых мы рассказывали до сих пор, распространены очень широко, нередко они тянутся полосами, почти не прерываясь, на сотни и даже тысячи километров. Но на земле много и редких ландшафтов, занимающих малую площадь, встречающихся только в немногих, а иногда и в единственном месте.

Коварный стронций. Далеко на востоке нашей страны, в тайге протекает небольшая река, внешне ничем не отличающаяся от соседних таежных рек. Издавна освоили эту местность русские переселенцы, занимавшиеся охотой и земледелием. В долине возникло несколько небольших селений. Но вот постепенно в некоторых селах у местных жителей стали болеть суставы, происходили деформации костей, формы тела получали уродливые очертания. Нередко «больные» и «здоровые» села были расположены близко друг от друга. Характерно, что и у домашних животных в этих районах наблюдались изменения костной ткани — у животных легко ломались кости, позвоночник у свиней искривлялся и они становились «горбатыми», телята не ходили, кости их резались ножом.

Все попытки открыть микроорганизм — возбудитель этой болезни — окончились неудачей. Болезнь оказалась незаразной, не поддавалась лечению обычными лекарствами. Для выяснения ее причины был необходим новый подход.

Исследования геохимиков показали, что в почвах, водах и продуктах питания этих районов содержится мало кальция и повышенное количество редкого металла стронция. Ученые предполагают, что стронций и служит главной причиной болезни.

Стронций — серебристый легкий металл, разлагающий воду. Он горит ярким малиновым пламенем, и это его свойство широко используется в пиротехнике при устройстве фейерверков, красных сигнальных и осветительных ракет, трассирующих пуль. Недаром академик Ферсман назвал стронций «металлом красных огней».

В чистом виде стронций на Земле не известен, но его химические соединения встречаются довольно часто. Известны красивый голубой целестин, белый стронцианит и другие стронциевые минералы.

По своим свойствам стронций очень похож на кальций, это широко распространенный элемент, входящий в состав скелета большинства животных. Свойства обоих металлов настолько близки, что животные, поглощая из пищи и воды стронций, используют его для построения скелета. Но тут-то и проявляются коварные свойства стронция — он входит только на время в состав кости, не закрепляется в ней и по-

том выходит, удаляясь из организма. В результате кости становятся пористыми и хрупкими, развиваются болезни скелета, ломкость костей.

В черных горах. Однажды, путешествуя в Средней Азии, мы заметили на горизонте силуэты невысоких черных гор, резко выделявшихся на фоне ровной желтой пустыни. Вблизи они оказались небольшой цепью низких скалистых горок, сложенных черными сланцами. Горы имели крайне пустынный облик, даже по сравнению с песками. Кругом была черная щебенка, растительность почти отсутствовала, и только в сухих оврагах росли небольшие кустики полыни.

Сначала в горах попадались одни только черные сланцы; но потом они стали пересекаться белыми кварцевыми жилами. В одном месте наше внимание привлекли небольшие холмики и ямы. Основательно поколотив сланцы и кварц молотком, мы обнаружили в них красивую зеленовато-голубую жилку толщиной в 1 *мм*. Да ведь это бирюза — любимый камень Востока. Считалось, что ношение бирюзы предохраняет от змей и скорпионов, что, глядя на бирюзу, укрепляешь зрение, что подвешенная на шее бирюза устраняет страх, предохраняет от потопления и удара молнии, обеспечивает победу над врагом. В XV веке, во времена Тимура, бирюзой сплошь покрывали конскую сбрую, этим камнем отделывали парадную позолоченную и серебряную утварь. Бирюзу продавали на всех восточных базарах, ее добыча началась еще за тысячи лет до нашей эры. В странах Средней Азии существовало множество бирюзовых рудников.

Один из таких заброшенных рудников, очевидно, был и в черных горах. Ямы — это заплывшие шурфы, а холмики — отвалы древних выработок.

Вероятно, не один десяток лет добывался здесь драгоценный камень. Как назывался этот рудник? Кто здесь работал, куда отправляли бирюзу? Никто этого пока не знает...

В состав бирюзы входят фосфор, кислород, алюминий. Кроме бирюзы, на камнях были видны зеленые пленки медных минералов, желтые и зеленые минералы редкого элемента ванадия.

Растения, которые росли здесь, получали необычную пищу — они, очевидно, вынуждены были поглощать повышенное количество меди, ванадия и других металлов. Вероятно, насекомые и другие мелкие животные также были обогащены этими металлами, возможно, повышено их содержание и в подземных водах. Геохимия этого редкого ландшафта еще не изучена; кто знает, как медь, ванадий и другие металлы влияют на флору и фауну, нельзя ли на этой основе искать месторождение полезных ископаемых и решать другие практические вопросы?

Ландшафты подобного типа известны и в других районах Средней Азии.

Советские историки и археологи доказали, что на территории Средней Азии в древности было широко развито горное дело. Многие местности сохранили названия, свидетельствующие об их рудных богатствах: Хайдаркан (великая руда), Канджол (тропа рудокопов), Кансай (рудный сай), перевал Симоб (ртутный перевал) и т. д.

Геологи при поисках руд всегда обращают внимание на местные названия, которые позволяют обнаруживать древние выработки, еще хранящие на глубине значительную часть своих богатств. Особенный расцвет переживало горное дело в Средней Азии в раннем средневековье. Существовавшие в то время рудники были широко известны далеко за пределами этой страны. Так, монеты, чеканившиеся из серебра, добытого в VIII веке на рудниках древнего Шаша (район Ташкента), находили в Финляндии, Дании, Армении. Но последующие исторические события не благоприятствовали развитию горного дела. Волна монгольского нашествия уничтожила древние рудники, многие из них вплоть до Великой Октябрьской революции оставались заброшенными. И только в наши дни, в советских условиях, на иной технической базе и в неизмеримо грандиозных масштабах начались новые поисковые работы, разведка и добыча полезных ископаемых. Снова в Средней Азии гремит слава многих древних рудников, к которым прибавились сотни новых, открытых советскими геологами.

Каждое рудное месторождение — это особый редкий ландшафт, с особой флорой и фауной, особыми почвами и водами, своеобразной геохимией, изучение которой имеет большое научное и практическое значение.

Биогеохимические провинции

Мы уже убедились, что многие ландшафты характеризуются недостатком ряда химических элементов, и это тяжело отражается на растениях, животных и даже на здоровье человека. Местами организмы страдают от избытка элементов. Нередко недостаток или избыток того или иного элемента наблюдается на большой площади, включающей в себя различные ландшафты.

Так, известны целые области материков, почвы и воды которых бедны кальцием. В этих местах кальция мало и в кормах, и поэтому животные болеют рахитом и подвергаются другим заболеваниям скелета. Горные районы Альп, Центральной Азии, Анд бедны йодом, здесь распространена зобная болезнь у домашних животных и даже у людей.

Среди жителей вулканических областей (Италия, Камчатка) и районов фосфоритовых месторождений (Северная Африка) давно было отмечено своеобразное поражение зубной эмали, выражавшееся в ее потемнении, растрескивании и разъедании. Химический анализ показывал, что в больных зубах содержится приблизительно в 2,5 раза больше элемента фтора, чем в здоровых. Напомним, что фтор находится в той же седьмой группе периодической системы Менделеева, что и йод. В нормальных условиях это бесцветный газ, имеющий резкий раздражающий запах. В природе фтор встречается главным образом в виде минерала флюорита (CaF_2), он входит также в состав многих апатитов и фосфоритов. Среднее его содержание в земной коре составляет 0,027%. В человеческий организм фтор в основном попадает с питьевой водой. В районах современного вулканизма фтор входит в состав вулканических газов, которые повышают содержание этого элемента в почвах и водах. Также повышено содержание фтора в водах районов фосфоритовых месторождений. Повышенное поступление фтора в человеческий организм и вызывает заболевания зубов.

В местностях с резко пониженным содержанием фтора в водах среди населения также развито заболевание зубов — кариес. В нормальных зубах содержание фтора составляет 11 *мг* на 100 *г*, а в больных только 6 *мг*.

В США и на Гавайях встречаются районы, характеризующиеся повышенным содержанием в почвах редкого элемента селена (до 0,01% против 0,00006% — среднего содержания в земной коре).

Повышенное содержание в кормах этого элемента вызвало своеобразное заболевание домашних животных. Наблюдения показали, что лошади, крупный рогатый скот, овцы быстро привыкают к этим кормам и начинают предпочитать прочим. Однако этот корм оказывается губительным для скота: постепенно разрушаются рога, копыта, вылезают волосы, лошади становятся апатичными, пугливыми, у овец и крупного рогатого скота заболевают легкие и т. д. В некоторых районах Монтаны, Колорадо, Небраски и других штатов США из-за этого почти невозможно выпасное содержание лошадей. Избыток меди и молибдена приводит также к тяжелым заболеваниям. Например, некоторые формы подагры у людей связаны с повышенным содержанием молибдена в водах и почвах на участках молибденовых месторождений.

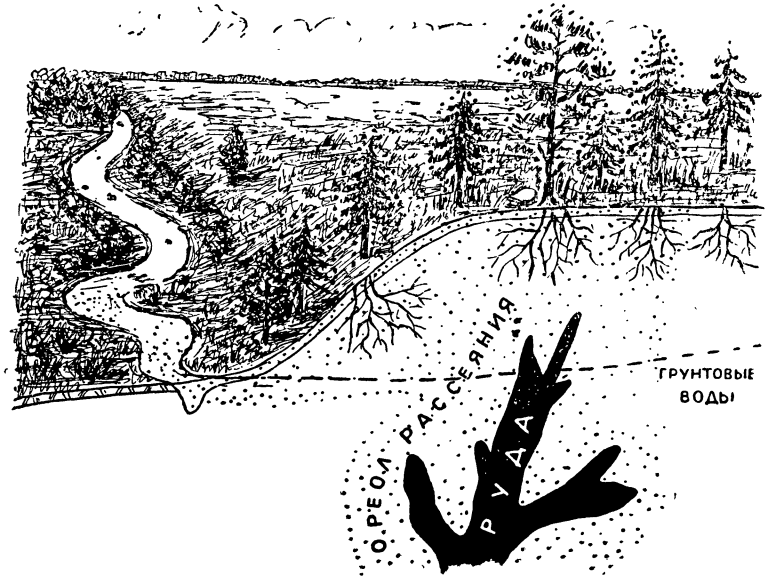
Такие области и районы, характеризующиеся повышенным или пониженным содержанием определенных химических элементов, оказывающих влияние на живые организмы, были названы академиком А. П. Виноградовым **биогеохимическими провинциями.** Изучение этих районов в нашей стране в по-

следние годы продвинулось далеко вперед; результаты исследований помогают решать сложные проблемы медицины и сельского хозяйства.

ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТА И ПОИСКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Сокровища Земли

Большинство известных месторождений полезных ископаемых, залегающих в недрах земной коры, было найдено по различным признакам, обнаруженным на земной поверхности. Обычно это обломки руды или яркие, хорошо заметные рудные минералы и их спутники. Так, о золоторудных месторождениях говорят находки крупинок золота в речных песках; алмазам почти всегда сопутствуют их спутники — пиропы; уголь, нефть, соль нередко залегают близко от поверхности.

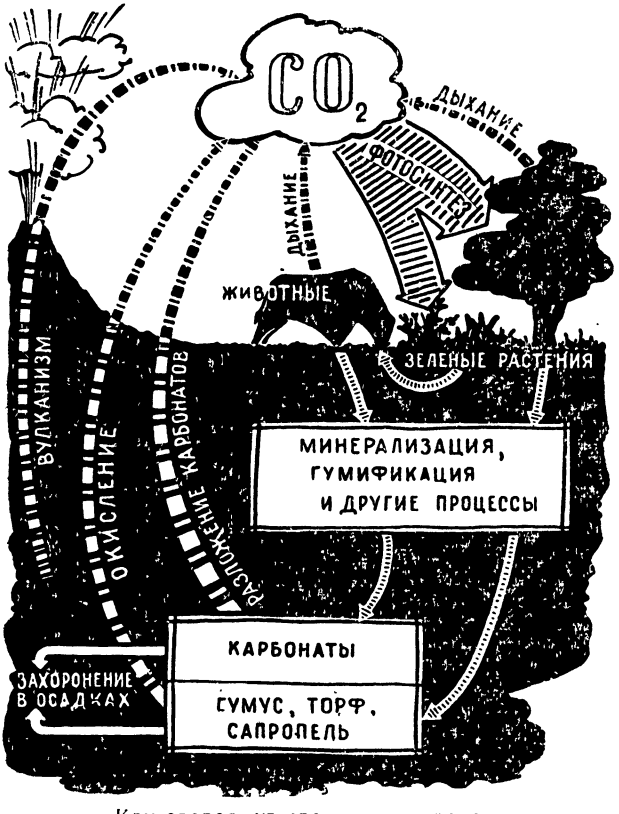


Вокруг рудного месторождения в почве, поверхностных водах, в растениях наблюдается повышенное содержание рудных элементов, или, как говорят геологи, ореол рассеяния месторождения.

Но есть месторождения, которые не имеют выходов на поверхность. Такие полезные ископаемые залегают на глубине десятков и сотен метров и перекрыты слоем так называемой пустой породы, например морскими известняками, ледниковыми глинами, сыпучими песками.

За время своего существования земная кора пережила чрезвычайно сложную и богатую событиями историю. Во

многих районах нашей страны сотни миллионов лет назад развивались горообразовательные процессы, извергались вулканы, по трещинам в горных породах поднимались горячие растворы, несущие серебро, медь, никель, свинец, цинк, молибден и другие металлы, соединения которых образовали рудные жилы. Такую историю, например, пережили Урал и Центральный Казахстан, горы Средней Азии и многие районы Сибири, в которых мы сейчас обнаруживаем рудные месторождения.



Круговорот углерода в природе.

Не менее характерны были и наступления (трансгрессии) морей, заливавшие в разные эпохи такие обширные территории, как Западно-Сибирская низменность, равнины Средней Азии, европейской части СССР, Западного Казахстана. В береговой зоне этих морей накапливались руды железа, марганца, алюминия, возникали месторождения солей, угля, серы и других полезных ископаемых. Известны и иные процессы, приводившие в прошлом к образованию вблизи земной поверхности месторождений полезных ископаемых. Но

прошли миллионы лет, моря отступили, горы постепенно разрушились водой и ветром, и там, где прежде высились скалы, образовались равнины, засыпанные песками или покрытые ледниками. Так, во многих местах рудные тела оказались перекрытыми различными наносами и на поверхности не осталось видимых признаков месторождений.

Можно ожидать, что и под песками пустыни, и под ледниковыми отложениями нашего Севера, и на дне таежных рек залегают большие запасы ценных полезных ископаемых. Наконец, имеются, вероятно, месторождения, которые вообще никогда не выходили на земную поверхность. Все они относятся к числу трудноотрываемых обычными геологическими методами.

Геологи полагают, что количество таких «скрытых» полезных ископаемых чрезвычайно велико и во всяком случае превосходит число месторождений, найденных до сих пор. Но есть ли необходимость в поисках таких «тайных сокровищ» Земли? Ведь геология до сих пор неплохо обеспечивала народное хозяйство за счет месторождений, легко открываемых обычными геологическими методами.

Для того чтобы ответить на этот вопрос, посмотрим, какими темпами идет извлечение полезных ископаемых из земных недр.

Темпы добычи

Растущая социалистическая экономика СССР требует с каждым годом все больше металла, угля, нефти, минеральных удобрений и других полезных ископаемых. Тысячи геологических партий ежегодно обследуют различные районы нашей страны — от ледяных гор Арктики до жарких пустынь Средней Азии и от густо населенных равнин европейской части до мало обжитых лесистых гор побережья Тихого океана. Эти многолетние исследования дали замечательные результаты — СССР вышел на первое место в мире по запасам железа, марганца, угля, калийных солей и многих других ископаемых.

За последние годы открыты, разведаны и уже частично введены в эксплуатацию крупные месторождения алмазов в далекой Якутии. На юге этой автономной республики обнаружены большие запасы коксующихся углей и железных руд, что позволяет создать здесь новую крупную металлургическую базу. В пустынях Западного Узбекистана обнаружены грандиозные запасы газа, который по новому газопроводу уже питает и древнюю Бухару, и Самарканд, и столицу республики Ташкент. Скоро узбекский газ по газопроводу пойдет на север, за 2000 *км,* через степи и пустыни Казахстана на индустриальный Урал. Здесь же в пустынях обнаружены

крупные артезианские бассейны пресной воды, что позволит обводнить пастбища, снабдить водой новые промышленные центры, развить орошаемое земледелие. Даже в старых, хорошо изученных районах сделаны крупные открытия. Почти в центре европейской части нашей страны, в районе Курской магнитной аномалии, обнаружены новые крупные месторождения прекрасных железных руд, которые уже используются на металлургических заводах.

Сейчас перед советскими геологами возникли новые задачи. Необходимо правильное географическое размещение месторождений, чтобы крупные экономические районы имели на месте основные виды сырья. Необходимо исключить нерациональные перевозки угля, металла, нефти, удобрений. Большое значение приобретают поиски полезных ископаемых в восточных районах СССР, народное хозяйство которых развивается особенно быстрыми темпами.

Семилетний план развития народного хозяйства на 1959—1965 годы предусматривает увеличить разведанные запасы нефти в 2 с лишним раза, газа на 340%, угля на 50%, железных и медных руд на 40%, свинцовых и никелевых руд на 60% и т. д. [1].

Но за последние годы изменяются не только масштабы геологических работ — изменяется сам характер добываемого сырья. Многие редкие виды сырья, ранее не известные, теперь приобретают огромное хозяйственное значение. Такие новые отрасли техники, как реактивная авиация, ракетостроение, радиотехника, телевидение, атомная промышленность, автоматизация производства, счетно-вычислительные машины и многие другие, невозможны без использования циркония, ниобия, тантала, лития, бериллия, рубидия, германия, галлия, селена и других редких и рассеянных элементов, которые еще недавно почти не использовались в народном хозяйстве нашей страны.

Если в средние века было известно примерно 26 химических элементов, а в 1915 году, по подсчетам академика В. И. Вернадского, использовались 69 элементов, то в наше время используются почти все химические элементы периодической системы Менделеева. Характерно, что еще недавно, например, в промышленности не использовался такой редкий металл, как германий, а сейчас он необходим для радиотехники. Каких-нибудь 20 лет назад почти не находил применения уран, в то время как ныне он является сырьем для атомной промышленности.

Вот почему так важно научиться обнаруживать и труднооткрываемые месторождения. Обычные геологические методы в этих случаях часто не подходят: они очень медленны и

[1] См. П. Я. Антропов. Перспективы освоения природных богатств СССР. Госполитиздат, 1959.

дороги. Необходимо было найти более совершенные и эффективные способы. Так родились новые, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Что такое ореол рассеяния

В земной коре протекают разнообразные химические процессы, атомы находятся в движении. В результате такой миграции и происходит их накопление в определенных участках земной коры, приводящее к образованию месторождений полезных ископаемых. Но нельзя ли использовать явление миграции для поисков месторождений, не могут ли сами мигрирующие атомы указывать на руду? Оказывается, могут. Вот на этом-то свойстве и основаны геохимические методы поисков полезных ископаемых. Теоретические основы этих методов заложены в трудах основоположников геохимии В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана. Впервые геохимические методы поисков стали разрабатываться в нашей стране в начале тридцатых годов советскими учеными А. П. Солововым, Н. И. Сафроновым, Е. А. Сергеевым и другими. Однако широкое развитие и полное признание они приобрели только в самые последние годы.

Словно своеобразный насос «перекачивают» растения необходимые им элементы из нижних горизонтов почвы в верхние.

Оказывается, с образованием месторождений полезных ископаемых миграция атомов не прекращается. Представим себе, что где-нибудь недалеко от поверхности находится рудное тело, содержащее соединения (минералы) какого-либо металла. Понятно, что в месте выхода рудного тела почвы будут обогащены этим металлом: ведь они образовались за счет разрушения руды. Но и рядом расположенные отложения также будут обогащены таким металлом, так как почвы постепенно размываются текучими водами и почвенные частицы откладываются на более низких частях рельефа (см. рис. на стр. 27).

Просачиваясь через руду, атмосферные воды частично растворяют рудные минералы и выносят металл. В результате образующиеся подземные воды содержат повышенное

количество металла; они могут выйти на поверхность и дать начало ручью или речке, воды которых также будут обогащены металлом. Наконец, корни деревьев и трав обладают способностью поглощать эти элементы вместе с влагой.

Так, вокруг рудного месторождения в почвах, водах, речных отложениях, растениях будет наблюдаться повышенное содержание данного металла, образуется так называемый **ореол рассеяния месторождения.**

Понятно, что площадь ореола рассеяния будет во много раз больше площади рудного выхода. В ряде случаев рудное тело вообще может не достигать поверхности, в то время как ореол рассеяния достигает ее. Так, например, руда может быть скрыта на большой глубине, а вода, промывающая эту руду, выходит на поверхность в виде источника. Точно так же руда может с поверхности быть перекрыта слоем наносного песка, а корни растений достигают ее и обогащаются при этом металлом.

Таким образом, геохимические методы поисков основаны на изучении ореолов рассеяния. Раз площадь ореола больше рудного выхода, то понятно, что и обнаружить при поисках ореол гораздо легче.

Как же это делается?

Виды поисков

Оказывается, для того чтобы найти ореол рассеяния, надо определять содержание металлов в речных отложениях, почвах, водах, растениях, и там, где это содержание выше среднего для данного района, там и будет ореол. Ну, а если найден ореол, то найти само месторождение гораздо легче: ведь искать нужно уже не на большой площади, а на маленьком участке.

Различают четыре основных вида поисков: металлометрию, когда при поисках определяют содержание металлов в твердых продуктах (почвах, породах); гидрохимические методы, при которых определяется содержание металлов и других элементов в водах; биогеохимические методы, основанные на анализе растений, и атмохимические методы, использующие анализ газов.

Естественно, для того чтобы применять геохимические методы поисков месторождений, необходимо знать законы образования ореолов рассеяния, то есть законы миграции химических элементов в земной коре. Но помимо этого необходимо еще уметь определять незначительные количества металлов и других элементов, так как содержание многих рудных элементов в породах и водах измеряется тысячными и десятитысячными долями процента.

Итак, для геохимических поисков необходимы исключи-

тельно точные и чувствительные методы анализа. Кроме того, они должны позволять быстро анализировать тысячи образцов пород, вод, растений. Здесь на помощь геологам пришли физики и химики, разработавшие немало таких способов исследования.

Основное значение в настоящее время имеет спектрографический метод, который позволяет быстро определять содержание металлов в почве. С помощью этого метода в спектральных лабораториях геологических экспедиций за сутки определяют содержание металлов в тысячах проб. Сейчас удается определить до 0,001% свинца, меди, олова, 0,0001% серебра, 0,000001% ртути. Большое значение имеют и химические методы. Так, например, советские ученые разработали метод определения меди в водах. При этом удается обнаружить в 100 *г* воды 0,00001 *г* меди, то есть одну стотысячную долю грамма.

Применение геохимических методов дало уже много положительных результатов. С помощью металлометрии открыты новые месторождения свинца, меди, цинка, вольфрама, молибдена и других металлов. В последние годы ежегодно подвергались анализу миллионы проб рыхлых пород. В результате было открыто много участков «перспективных» на цветные и редкие металлы. Десятки лет назад определение содержания металлов в миллионах проб показалось бы фантастичным. Геохимические методы используются также для поисков нефти и газа. Анализ почвенного воздуха позволяет местами «почувствовать» нефтяную или газовую залежь, лежащую на глубине 1 *км*.

Невозможно изложить результаты всех этих исследований. Расскажем лишь о некоторых из них. Вот как было найдено, например, месторождение олова в одном из таежных районов.

Как известно, основным рудным минералом олова является оловянный камень, или касситерит, тяжелый минерал, зерна которого вблизи месторождений обычно находят в речных отложениях. Промывая их, можно легко удалить более легкие минералы и таким образом обнаружить зернышки касситерита. Этим путем был найден ряд оловянных месторождений. Но в некоторых оловянных рудах касситерит находится в столь мелких кристаллах (сотые доли миллиметра), что при промывке речных отложений он механически удаляется вместе с мутью. Когда других видимых признаков оловянного оруденения в районе поисков нет, тогда применяют металлометрические методы поисков, которые позволяют обнаружить в почвах и речных отложениях повышенное количество олова, то есть «невидимый ореол».

Хорошо известно, какое огромное значение имеют поиски урановых руд.

Среди разнообразных методов большой интерес представляет гидрохимический метод. Основы этого метода были изложены в докладе советского геохимика А. А. Саукова на Женевском совещании по мирному использованию атомной энергии.

Геохимиками доказано, что уран — очень «подвижный» в земной коре элемент. Он легко выщелачивается водой из горных пород, и поэтому все подземные и поверхностные воды содержат некоторое количество этого металла. Особенно много урана в водах, промывающих урановые месторождения. Небольшие ручьи и источники в этом случае содержат его во много раз больше, чем воды безрудного района. Это явление и используется при гидрохимических поисках.

Геохимик отбирает пробы воды из всех источников и ручьев в районе поисков и определяет в них содержание урана. Если обнаружен участок, воды которого резко обогащены ураном, то весьма вероятно, что здесь поблизости находится урановая руда. Так устанавливается место для разведочных работ, которые позволяют вскрыть новое месторождение и подсчитать его запасы.

Широкое использование геохимических методов только начинается. С помощью геохимии геологи смогут открыть еще немало «слепых рудных тел» и глубоко залегающих месторождений, полностью обеспечить на много лет нашу страну необходимым минеральным сырьем.

В тундре, тайге, пустыне и других ландшафтах ореолы рассеяния образуются по различным законам, в связи с чем и геохимические поиски необходимо проводить по-разному. Например, при поисках месторождений одного и того же металла в одном ландшафте пробу почв надо брать почти с поверхности (с глубины 10—20 *см*), а в другом с глубины около 0,5 *м*, в некоторых ландшафтах особенно эффективно опробование поверхностных вод, в других оно не дает положительных результатов и т. д. Поэтому успешное проведение геохимических поисков требует знания геохимии ландшафта. Особенно важно изучать редкие ландшафты — участки месторождений полезных ископаемых.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ОРГАНИЗМОВ

Геологические явления всегда поражают воображение своей грандиозностью. Вулканические извержения и поднятия со дна океана Гималаев, Кавказа и других мощных горных цепей, затопление морями целых континентов, реки и ледники, разрушающие горные страны, — таков масштаб процессов, с которыми имеют дело геологи.

Микроорганизмы, растения, животные по сравнению с этими грозными силами мертвой природы не идут ни в какое

сравнение. Казалось бы, что и влияние их на окружающую природу поэтому ничтожно: они как бы находятся в плену у этих сил и вынуждены только к ним приспосабливаться. Так ли это?

Вспомните морских животных — кораллов. Современные коралловые рифы тянутся на тысячи километров. Геологическая работа этих живых организмов, начавшаяся сотни миллионов лет назад в теплых морях палеозойской эры, продолжается непрерывно и до сих пор. За это время кораллы и другие животные с известковыми скелетами накопили на земле мощные толщи известняковых пород.

Что это, случайность? Частное явление в геологических процессах или определенная закономерность?

Растения — накопители солнечной энергии

Куда бы мы ни кинули взор, повсюду перед нами зеленые растения. Огромными зелеными полосами простираются на материках тропические леса, саванны, степи, тайга, тундра. Океаны и моря изобилуют растительностью. Водоросли, заселяющие верхние слои моря, размножаются местами, например в Саргассовом море, в таком количестве, что даже затрудняют движение судов. И только в ледяных просторах Антарктики, в снегах высокогорий да в некоторых пустынях нет растительности.

Каждое зеленое растение — это миниатюрная фабрика, которая, поглощая солнечную энергию, синтезирует из углекислого газа воздуха и воды различные органические соединения. При этом в атмосферу выделяется кислород. Этот замечательный процесс называется фотосинтезом.

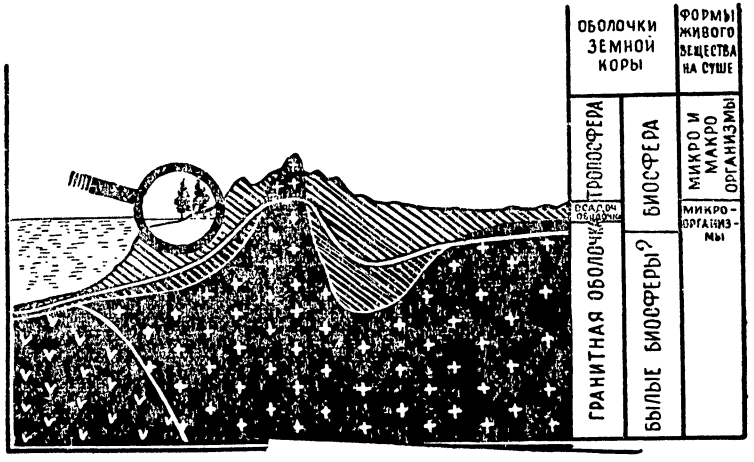
Но почему же все-таки в современной атмосфере имеется углекислый газ, если зеленые растения так энергично поглощают его? Объясняется это тем, что наряду с фотосинтезом есть процессы, возвращающие углекислый газ в атмосферу. Это дыхание растений, животных и микроорганизмов, вулканические извержения и некоторые другие процессы.

Так на земной поверхности протекает круговорот углерода: он входит в состав органических веществ в процессе фотосинтеза и снова, при дыхании и разложении мертвых остатков организмов, образует минеральные соединения — углекислый газ, карбонаты. Аналогичные круговороты претерпевают кислород, азот и другие элементы. Все они энергично мигрируют на земной поверхности за счет солнечной энергии, накопленной растениями (см. рис. на стр. 28).

Однако растения состоят не только из углерода, водорода, кислорода — они содержат почти все химические элементы, известные на Земле, даже самые редкие, как, например, радий, золото. Источником этих элементов служат горные породы.

Особенно необходимы растительным организмам фосфор, сера, калий, кальций. Но в горных породах значительно больше кремния, алюминия, железа. Вот почему растения, как своеобразный насос, с помощью корневой системы «перекачивают» наиболее необходимые им питательные вещества из глубоких горизонтов в поверхностные. В результате после их смерти почва обогащается фосфором, серой, калием и другими важными для жизни элементами (см. рис. на стр. 31).

В процессе дыхания растений и животных и при разло-



Строение биосферы. Под океанами гранитная оболочка отсутствует, ее заменяют базальты (помечено галочками).

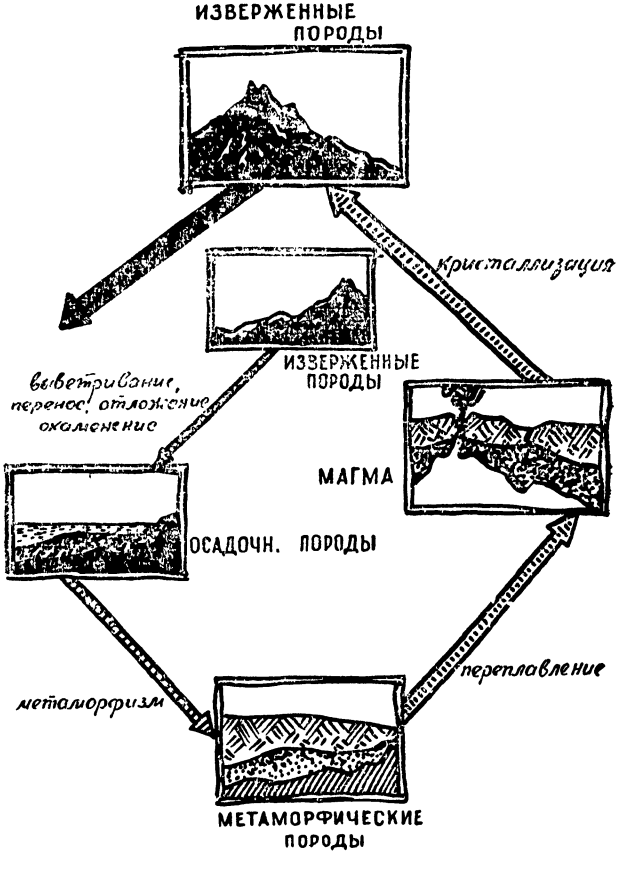
жении их мертвых остатков часть углерода, азота, серы и других элементов, входящих в состав организмов, снова окисляется, переходит в атмосферу и в почву. В результате меняется состав почвенных и грунтовых вод: они становятся кислыми, легко разрушают горные породы и минералы.

Так под влиянием живых организмов горные породы значительно меняют свой химический состав и свойства, они превращаются в почву и залегающую под ней кору выветривания. Особенно энергично эти процессы протекают во влажных тропиках, где изобилие тепла и влаги благоприятствует развитию жизни.

Верхние горизонты почв постоянно смываются водами и сдуваются ветрами. Мельчайшие почвенные частички откладываются в реках, морях, образуя речные, озерные и морские илы. Речные и морские отложения так же, как и почва, насыщены микроорганизмами. Поэтому осадочные горные породы (глины и другие) многими своими свойствами обязаны деятельности живых существ.

После смерти растений их остатки изменяются и захороня-

ются в горных породах. Местами большие скопления их образуют залежи каменных и бурых углей, торфа, а местами просто отдельные обуглившиеся веточки, листья, гумус. Но и те и другие представляют собой продукты фотосинтеза прошлых геологических эпох. Большинство ученых считает, что и нефть является продуктом жизни, что это тоже переработанные продукты фотосинтеза. Таким образом, все это как бы законсервированная солнечная энергия, которую человечество использует в своих целях.



Большой круговорот веществ в земной коре. Черной стрелкой показано начало нового цикла круговорота.

Жизнь под землей и в глубинах океанов

Фотосинтез возможен только на земной поверхности и в верхней части моря, куда проникают солнечные лучи. Возможна ли геологическая деятельность организмов там, где нет света, в «вечном мраке»? Оказывается, возможна.

Уголь и нефть залегают местами на глубинах в сотни и тысячи метров. Они являются пищей для микроорганизмов, живущих в подземных водах.

Хорошо известно, что жизнь невозможна без дыхания: организму необходим кислород, с помощью которого органические вещества окисляются, превращаются в углекислый газ, воду и другие простые химические соединения. Выделяющуюся при этом энергию организмы используют для жизненных процессов.

Для того чтобы питаться, микроорганизмам также необходим свободный кислород, который они частично поглощают из подземных вод, где этот газ находится в растворенном состоянии. Но кислорода в воде, как правило, не хватает, и тогда микроорганизмы начинают «отнимать» его у различных кислородных соединений. Напомним, что этот процесс в химии называется восстановлением. В природе он почти всегда обязан деятельности микроорганизмов, среди которых имеются живые существа различных «специальностей»: одни восстанавливают соединения серы, другие — азота, третьи — железа и т. д.

Легче всего поддаются этому процессу сульфаты. В результате этой реакции в морях и океанах появляется сероводород. Восстанавливаются также соединения марганца, меди и других элементов. Окисляющийся углерод при этом обогащает воду углекислым газом.

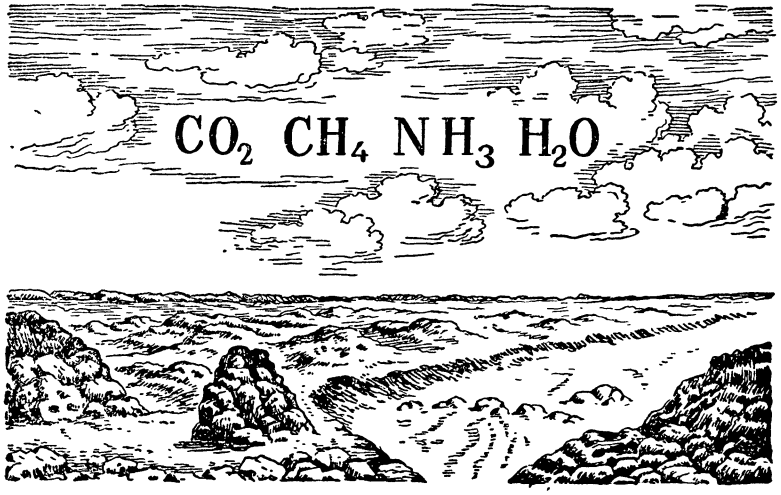
Так в результате деятельности микроорганизмов меняется химический состав подземных вод. Они теряют свободный кислород, расходуемый на окисление органических веществ, в них появляется много углекислого газа и других продуктов обмена веществ микроорганизмов — сероводорода, аммиака, метана.

Постепенно подземные воды приобретают высокую химическую активность и, в свою очередь, глубоко изменяют горные породы. Последние часто обесцвечиваются, их минералы разрушаются, возникают новые минералы. Таким путем могут образоваться новые горные породы, а местами и месторождения полезных ископаемых.

Нередко следы былой деятельности подземных вод и микроорганизмов отмечены появлением среди пород, окрашенных в красный цвет, сизых и зеленых пятен и полос. Это результат восстановления железа.

Общий эффект деятельности микроорганизмов колоссален. Известны случаи, когда ими «съедены» целые нефтяные месторождения. Многие подземные воды, состав которых изменен деятельностью микроорганизмов, имеют важное лечебное значение. Там, где залегают подобные воды, строятся водолечебницы, как, например, всемирно известная Мацеста на Черноморском побережье Кавказа.

Итак, живые организмы — не второстепенные агенты в земной коре, они важнейшее звено в механизме планеты. Поглощая солнечную энергию и превращая ее в энергию геохимических процессов, они изменяют и ускоряют движение атомов. Это мощная геологическая сила, преобразующая химический состав земной коры. Живые организмы создали современную атмосферу, во многом преобразовали состав



Миллиарды лет назад на Земле не было жизни и свободного кислорода.

горных пород, поверхностных и подземных вод. Поэтому область развития жизни представляет особую оболочку Земли, где химические процессы протекают или под непосредственным влиянием живых организмов, или в физико-химических условиях, созданных жизнью. Такая оболочка получила наименование **биосферы.** Она включает в себя нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу и значительную часть литосферы (не менее нескольких сотен метров) (см. рис. на стр. 36).

Известно, что различные жизненные процессы изучают медицина, зоология, ботаника и другие биологические науки. Теперь мы видим, что геологические науки также изучают жизнь, причем те ее стороны, которые обычно не интересуют биологов. Если в центре внимания биологов находится отдельный живой организм и его составные части — органы, клетки, то геологи, как мы убедились, рассматривают всю совокупность живых организмов как единое целое. В. И. Вернадский назвал эту совокупность «живым веществом». Имен-

но при подобном подходе выявляется огромная роль жизни в земной коре. «На земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом», — писал Вернадский. Им были заложены основы новой ветви геологической науки — биогеохимии, изучающей жизнь в геологическом аспекте.

Биогеохимики установили, что почти все химические элементы в ходе геологической истории многократно поглощались живым веществом и выходили из него. Так совершался сложный круговорот, источником энергии которого в конечном счете являлся солнечный луч, поглощенный зеленым растением.

Но круговорот атомов в биосфере не бесконечное повторение одних и тех же положений, равномерное развитие по кругу. Он совсем не означает возвращения биосферы в исходное положение. Наоборот, в результате подобных явлений биосфера все время изменяется, происходит ее поступательное развитие. Так, например, мы уже убедились, что в каждом цикле круговорота не весь углерод снова возвращается в атмосферу, что часть его атомов задерживается в виде залежей угля и нефти. Поэтому в ходе геологической истории происходит прогрессивное накопление в земной коре угля и нефти, а следовательно, и усиление геохимической деятельности подземных вод.

Таким образом, постоянный приток солнечной энергии к земной поверхности обусловливает накопление этой энергии в горных породах земной коры — биосфера изменяется, природа развивается. Символом круговорота, следовательно, является не круг, а спираль. Так биогеохимия дает прекрасные примеры диалектического развития природы — по спирали.

Большой круговорот веществ в земной коре

На протяжении геологической истории осадочные породы— известняки, глины, пески неоднократно погружались на большие глубины, где господствуют высокие температуры. Это и некоторые другие соображения привели ученых к выводу о существовании большого круговорота веществ в земной коре. Во время этого процесса осадочные породы, погружаясь на большие глубины, переплавляются, образуют жидкую магму, из которой происходит кристаллизация так называемых магматических пород — гранитов и других.

В ходе горообразовательных процессов изверженные породы могут снова оказаться на поверхности и подвергнуться выветриванию. В результате образуются новые толщи осадочных пород, которые, погружаясь, снова могут явиться материалом для образования изверженных. Таким образом, воз-

можно, что в земной коре происходит грандиозный круговорот веществ с длительностью отдельного цикла в десятки и сотни миллионов лет.

Быть может, возникновение гор, образование гранитов и другие геологические процессы так тесно связаны с развитием жизни, что все они представляют только различные стороны единого грандиозного по своей сложности процесса развития биосферы (см. рис. на стр. 37).

О ГЕОХИМИИ ДРЕВНИХ ЛАНДШАФТОВ

Развитие ландшафтов

Изучение известняков, песчаников, глин, гранитов и других горных пород, ископаемых остатков растений и животных позволило восстановить облик земной поверхности прошлых геологических эпох, отдаленных от нас на десятки и сотни миллионов лет. Картины исчезнувших ландшафтов поражают воображение необычайными формами жизни, грандиозными явлениями затопления целых материков, вулканизма и горообразования. Эти знания служат мощным подтверждением теории эволюции Дарвина, наносят сильный удар по религиозному мировоззрению, помогают решать практические вопросы.

Давно уже установлено, что многие полезные ископаемые строго приурочены к определенным типам ландшафтов. Так, во влажных тропиках геологического прошлого накапливались руды железа, никеля и алюминия, угли, каолиновые глины и другие минеральные богатства; в озерах древних пустынь образовались мощные толщи поваренной соли и гипса, в речных долинах возникали россыпи золота, олова, платины. Поэтому восстановление картины древних ландшафтов в первую очередь важно для поисков полезных ископаемых.

Многие черты природы былых материков аналогичны современным ландшафтам. В древности, так же как и в современную эпоху, текли реки, существовали озера и ледники, извергались вулканы. Поэтому изучение современных геологических явлений дает ключ к познанию ряда процессов прошлого. Однако этот принцип актуализма, установленный в XIX веке крупным английским геологом Ч. Ляйелем, не универсален. Многое из того, что было в прошлые эпохи, неизвестно теперь на Земле и, наоборот, некоторые черты современного облика земной поверхности никогда не встречались на древних материках и океанах. Вымирали одни виды и появлялись другие — необратимо менялись формы жизни, а с ними и геологическая деятельность организмов.

То же происходило и со средним химическим составом

Геохронологическая таблица

Миллионы лет назад	Наименование отрезков времени: эры	Наименование отрезков времени: периоды	Некоторые характерные геологические события на территории СССР	Некоторые характерные ландшафты на суше СССР
0—1	Кайнозойская	Четвертичный	Великое оледенение Русской и Западно-Сибирской равнин; поднятие Кавказа, Тянь-Шаня и других горных хребтов	Образование современных ландшафтных зон — тундры, тайги, степей, пустынь
1—25		Неоген	Складчатость и образование гор на Кавказе, в Крыму, на Карпатах	Саванны на Украине и в Средней Азии
25—70		Палеоген	Море периодически затопляет Украину, Поволжье, Западную Сибирь, Среднюю Азию	Леса на месте современных степей Казахстана и Северной Азии
70—140	Мезозойская	Меловой	Затопление морем многих районов СССР	Безлесные равнины с реками и озерами на месте нынешних пустынь и степей Казахстана и Средней Азии
140—185		Юрский	Складчатость, вулканизм, образование гор и рудных месторождений на Дальнем Востоке и северо-востоке Азии	Лесисто-болотистые равнины на месте современных гор и пустынь Средней Азии и Казахстана
185—225		Триасовый	Большая часть территории СССР представляет собой сушу, море в Крыму, на Кавказе, Дальнем Востоке	

Миллионы лет назад	Наименование отрезков времени: эры	Наименование отрезков времени: периоды	Некоторые характерные геологические события на территории СССР	Некоторые характерные ландшафты на суше СССР
225—270	Палеозойская	Пермский	Складчатость, вулканизм, образование гор и рудных месторождений на Урале, Алтае, в Центральном Казахстане, Тянь-Шане	Сухие равнины с соляными озерами и лагунами в Приуралье
270—320		Каменноугольный	Море затопляет большую часть СССР. В Подмосковье и Донбассе образуются угольные залежи	Влажные тропические леса в Подмосковье, Донбассе и других районах
320—400		Девонский	Море затопляет почти всю европейскую часть СССР, Кавказ, Среднюю Азию, Западную Сибирь, Дальний Восток	Появление первых лесных ландшафтов на Земле
400—570		Силурийский, Ордовикский, Кембрийский	Складчатость, вулканизм и горообразование в Саянах. Море покрывает Сибирь и Среднюю Азию	Примитивные пустыни с бедной растительностью
570—3500	Докембрий (несколько эр)		Складчатость и вулканизм, образование высоких горных хребтов в Карелии, Забайкалье, на Кольском полуострове	Примитивные пустыни с водорослями, в более ранние эры возможно отсутствие жизни

нашей планеты. В ходе радиоактивного распада на Земле уменьшилось содержание урана, тория, калия, рубидия и, наоборот, возросло содержание таких конечных продуктов их распада, как свинец, кальций, стронций, аргон. Из космоса непрерывно поступает на Землю метеоритное вещество, также изменяющее химический состав земной коры.

Все это позволяет наметить в истории ландшафтов ряд этапов с различными условиями миграции атомов.

Радиоактивные часы

Итак, геологи давно уже научились восстанавливать облик древней природы. Но как узнать, когда это было, сколько прошло лет? Тысячи, десятки тысяч, миллионы, миллиарды? На помощь опять пришла геохимия. Оказывается, в земной коре имеются часы, которые очень точно отсчитывают время, часы, которые всегда идут правильно, никогда не отстают и не уходят вперед.

Еще в начале нашего века физики установили, что в результате радиоактивного распада элемента урана образуется свинец, причем чем дольше протекает этот процесс, тем больше образуется такого «радиогенного» свинца. Скорость распада урана оказалась постоянной, она не зависит ни от температуры, ни от давления, ни от других условий. Поэтому, определяя количество радиогенного свинца в урановых минералах, можно определить, когда образовался этот минерал и включающие его породы. Определение возраста пород и минералов может быть основано и на изучении продуктов радиоактивного распада калия, рубидия и других элементов. Использование всех этих методов позволило разработать хронологию истории Земли.

Древнейший этап

Многие соображения указывают на то, что древнейшая атмосфера Земли не содержала кислорода. В ней преобладали такие газы, как CO_2, CH_4, NH_3, H_2O. Химические процессы на земной поверхности в то время резко отличались от современных. Окисления свободным кислородом не происходило, и поэтому не были столь распространены желтые, красные, бурые тона осадков и пород, связанные с окислами железа; ныне же эти окраски привычны нашему глазу. Атмосфера была богата углекислым газом, и поэтому воды рек и озер имели углекислый состав, что приводило к легкой миграции в них железа и марганца. В современных же ландшафтах их поведение резко иное — образуя соединения MnO_2, Fe_2O_3 и другие, эти металлы становятся малоподвижными.

Косвенные соображения позволяют предполагать, что жизнь отсутствовала в то время (см. рис. на стр. 39).

Такова была земная поверхность несколько миллиардов лет назад, в период раннего докембрия.

О возникновении жизни на Земле и о первых этапах ее развития мы знаем еще очень мало. Но все же совместные усилия биологов, геологов, химиков и других специалистов позволили создать первую обоснованную теорию зарождения жизни. Живая клетка, возникнув из элементов окружающей среды, на первых порах, вероятно, особенно сильно зависела от этой среды.

В дальнейшем эволюция организмов протекала в тесном взаимодействии со средой, причем постепенно стало развиваться и все более усиливаться обратное воздействие организмов на среду.

Одно из наиболее ранних свойств живых организмов — способность к фотосинтезу, то есть к синтезу органических веществ за счет энергии солнечного луча.

На протяжении сотен миллионов лет фотосинтез, вероятно, осуществляли простейшие организмы — водоросли, жившие в верхних слоях морей и океанов и, возможно, тонкой пленкой покрывавшие поверхность суши. Суммарный эффект деятельности первых организмов был грандиозен. Вероятно, уже к концу докембрия (то есть около 600 млн. лет назад) они почти полностью очистили атмосферу от углекислого газа и обогатили ее кислородом. В результате атмосфера стала окислительной, свободный кислород стал важнейшим агентом на земной поверхности. При этом в ландшафтах развились реакции окисления, резко ослабла миграция железа и марганца, почвы и наносы приобрели знакомые нам бурые, красные и желтые тона. Вся геохимия земной поверхности подверглась резкой перестройке.

В ландшафтах докембрия, вероятно, не происходило значительного накопления мертвого органического вещества, так как мы не знаем залежей углей этого возраста. После смерти тела растений быстро разлагались с образованием CO_2, H_2O и других окисленных соединений.

В начале палеозойской эры, 400—600 млн. лет назад, на суше уже были более высокоорганизованные растения, так называемые псилофиты, плауны, папоротники. Но их было еще мало, они росли по сырым местам, мертвое органическое вещество не накапливалось.

Развитие лесных ландшафтов

В конце девонского периода палеозойской эры появились первые лесные ландшафты. Полное развитие они получили в каменноугольном периоде, около 250 млн. лет назад. Это были настоящие леса из древовидных папоротников, хвощей и плаунов высотой в несколько десятков метров. Таким об-

разом, к середине палеозоя эволюционным путем у растений выработалась способность в условиях хорошего увлажнения создавать путем фотосинтеза большую массу органического вещества. Они полностью освоили ресурсы тепла, влаги, углекислого газа. Однако это привело к возникновению нового противоречия между организмами и средой. Большая масса живого вещества в лесах, отмирая, давала много гумуса и CO_2, которые создавали резко кислую реакцию в почве, благоприятствующую выносу из нее с просачивающимися атмосферными осадками многих подвижных элементов. Особенно большое значение имел вынос фосфора, калия, азота, серы, кальция и других важных элементов минерального питания. Прогрессивное развитие растительности привело к резкому дефициту элементов минерального питания. Чем больше растения накапливали органических веществ, чем полнее они использовали окружающие ресурсы тепла, света, влаги и CO_2, тем хуже становились условия их минерального питания, тем сильнее они испытывали минеральное голодание.

Правда, в ходе эволюции растения вырабатывали у себя способность противостоять прогрессивному выщелачиванию почв. Уже со второй половины мелового периода пышно развились покрытосеменные растения (цветковые), которые более энергично поглощали из почвы минеральные элементы, содержали больше золы и таким путем боролись с выщелачиванием. Однако это не могло полностью препятствовать обеднению почв, а только замедляло его. Противоречие оставалось в силе, что, несомненно, задерживало развитие жизни и рост продукции живого вещества. И в современную эпоху в районах влажного климата в ландшафтах создается много живого вещества, разложение мертвых остатков которого приводит к обеднению почв. Таковы кислые, сильно выщелоченные почвы нашей северной тайги, почвы лесов влажных тропиков и субтропиков.

За время существования жизни на Земле растительность так и не смогла преодолеть этого противоречия. Мы не знаем, как бы пошла эволюция растительного мира в дальнейшем и смогли ли бы растения в конце концов выработать механизм, препятствующий выщелачиванию почв. Решение указанного противоречия пришло совсем с другой стороны — оно стало возможно благодаря вмешательству человека, в результате его разносторонней хозяйственной деятельности.

Биогенный этап

Мы рассмотрели только одну особенность развития ландшафтов, связанную с эволюцией живого вещества. Большую роль играли и другие факторы. Например, периодически

усиливающийся вулканизм обогащал атмосферу CO_2 и тем самым мог благоприятствовать накоплению известняков в морях и органического вещества на суше. Горообразовательные процессы выводили на земную поверхность глубинные породы и руды, обогащенные такими элементами, как медь, цинк, свинец, уран и др. Наконец, периодические изменения климата, в том числе грандиозные оледенения, распространившиеся в конце докембрия, конце палеозоя и четвертичном периоде на огромные площади, — все это оказывало большое влияние на миграцию атомов, на геохимические особенности ландшафтов.

Однако анализ этих особенностей геологической истории показывает правоту гениальных идей В. И. Вернадского о важнейшем значении геологической деятельности организмов.

Поэтому этап развития ландшафтов с момента зарождения жизни до начала развития человеческого общества можно назвать **биогенным.** В некоторых местах земного шара, например в малонаселенных джунглях Амазонской низменности, этот этап продолжается и в настоящее время.

Геохимическая деятельность человечества

Человек появился около 1 млн. лет назад, в конце неогена. Почти все это время его геохимическая роль была невелика, и только несколько тысяч лет назад на отдельных локальных участках (долины рек Нила, Аму-Дарьи, Тигра и Евфрата, Хуанхэ и др.) человек в этом отношении стал себя проявлять более активно. Его роль стала неудержимо расти, и в современную эпоху на большей части суши человеческое общество преобразовывает природные ландшафты в культурные. Человек не только резко ускорил миграцию атомов на Земле, он создал новые пути этой миграции, невиданные ранее состояния и сочетания атомов. Так, природные ландшафты не знали в свободном состоянии железа, алюминия, цинка, свинца, никеля, кобальта и других металлов. Теперь же с каждым годом промышленность все больше выплавляет их из руд.

В культурном ландшафте совершаются грандиозные перемещения атомов, их рассеяние и концентрация. В течение немногих лет в результате разработок рассеиваются металлы, ранее заключенные в месторождениях, накопленных природой в течение миллионов лет, и, наоборот, в промышленных центрах и крупных городах создаются новые концентрации элементов в чуждых природе комбинациях. Исключительно велик и геохимический эффект инженерной деятельности. Осушая болота, строя плотины, каналы, дороги, распахивая миллионы гектаров, человек коренным образом изменяет условия миграции атомов. Наконец, в ядерных реак-

торах создаются новые элементы, отсутствовавшие раньше в земной коре.

В культурном ландшафте ликвидируется и то противоречие в развитии лесных ландшафтов, о котором говорилось выше. Используя удобрения, человек создал богатое минеральное питание для растений и в условиях влажного климата. Это создало возможность невиданного повышения биологической продуктивности ландшафта, создания новых ценных сортов растений и пород домашних животных.

Новые пути миграции атомов наряду с развитием производительных сил могут приводить и к их разрушению. Вредные для общества природные процессы нередко ускоряются (например, эрозия), возникают новые процессы, особенно опасные для человечества (ядерные взрывы и другие). Геохимический анализ человеческой деятельности дает еще одно подтверждение необходимости плановой организации народного хозяйства, свойственной социалистическому обществу.

Таким образом, человеческое общество превратилось в самую мощную геохимическую силу на Земле, человек создал новые ландшафты со своей особой геохимией.

ЛИТЕРАТУРА

Геохимия

Ферсман А. Е. Занимательная геохимия. Химия земли. М., Изд-во АН СССР, 1959. 399 стр., с илл.

Ферсман А. Е. Путешествия за камнем. М., Изд-во АН СССР, 1960. 392 стр., с илл.

Ферсман А. Е. Очерки по минералогии и геохимии. М., Изд-во АН СССР, 1959. 200 стр., с илл.

Ферсман А. Е. Воспоминания о камне. М., Изд-во АН СССР, 1958. 167 стр., с илл.

В этих трех книгах дано изложение основ геохимии и описание увлекательных путешествий. Их автор — один из основателей этой науки, крупный советский ученый и блестящий популяризатор науки.

Сауков А. А Геохимия. Учебное пособие для студентов вузов геолог. специальностей. М., Госгеолиздат, 1959. 383 стр., с илл.

Геохимия ландшафта

Полынов Б. Б. Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1956. 751 стр., с илл.

В этой книге помещены статьи Б. Б. Полынова, излагающие основы геохимии ландшафта. Книга рассчитана на специалистов.

Перельман А. И. Геохимия ландшафта. Географгиз, 1961. 496 стр., с илл.

Систематическое изложение геохимии ландшафта, рассчитанное на студентов и специалистов.

---

9 коп.

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

Уважаемые товарищи!

Не забудьте своевременно подписаться на брошюры издательства «Знание» на 1962 год.

«НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ»

Таково будет общее название выпускаемых в 1962 году 12 серий. Пропаганда материалов XXII съезда КПСС, главные события в нашей стране и в международной жизни, последние открытия в различных областях науки, новейшие достижения техники — таково будет содержание брошюр.

Они будут написаны живо, доходчиво, убедительно, содержать необходимый справочный материал.

Рассчитаны серии брошюр на лекторов и пропагандистов, а также на самый широкий круг читателей, специалистов различных отраслей народного хозяйства, занимающихся самообразованием.

Выпускаться в 1962 году будут следующие серии:

I — история.
II — философия.
III — экономика.
IV — техника.
V — сельское хозяйство.
VI — литература и искусство.
VII — международная.
VIII — биология и медицина.
IX — физика, химия, математика, астрономия.
X — молодежная.
XI — педагогика.
XII — геология и география.

По каждой серии подписчики получат 24 брошюры в год, каждая средним объемом 2,5 печ. листа. Подписная цена на год — 1 р. 80 к., на полугодие — 90 к., на квартал 45 к., на месяц — 15 к.

Подписка принимается на весь 1962 год, на полугодие, на квартал и с любого месяца до конца года всеми без исключения пунктами подписки «Союзпечать» и общественными распространителями печати.

Подпишитесь, товарищи, сами! Привлекайте новых подписчиков!

Издательство «Знание».