

Российская академия наук

**Е.М. Коробова**

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ  
НООСФЕРЫ**

**монография**

Москва  
2019

УДК 550.4  
ББК 26.301  
К 68

**Автор:**  
Коробова Е.М.

**Рецензенты:**  
академик Галимов Э.М.  
доктор химических наук Рыженко Б.Н.

К 68 **Коробова Е.М.** Эколога-геохимические проблемы современной ноосферы /  
Е.М. Коробова, – М.: РАН, 2019. – 122 с.: 31 ил.

**ISBN 978-5-907036-39-0**

Монография посвящена актуальной проблеме формирования и эволюции ноосферы, а также вопросам возникновения и распространения заболеваний геохимической природы. Автором предложена оригинальная концепция двуслойной структуры современной ноосферы, формируемой в результате взаимного наложения геохимических полей природного и антропогенного генезиса. На основе фундаментальных положений биогеохимии и теоретической экологии, а также с использованием результатов собственных исследований разработан новый методологический подход к выявлению связи эндемических заболеваний животных и человека с геохимическими особенностями окружающей среды. Предложенная концепция апробирована на примере формирования йодных биогеохимических провинций и открывает новые возможности идентификации, прогноза возникновения и профилактики большинства заболеваний геохимической природы, что в перспективе позволит значительно повысить качество и продолжительность жизни. Книга представляет интерес для широкого круга специалистов, работающих в области биогеохимии, медицины, геохимической экологии, а также, несомненно, будет полезна читателям, интересующимся проблемами антропогенной трансформации окружающей среды.

ISBN 978-5-907036-39-0

© Коробова Е.М., 2019

# СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений .....	5
Предисловие.....	7
Введение.....	9
<b>Глава I КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК.....</b>	<b>11</b>
1.1 Биосфера и этапы изучения ее геохимической структуры.....	11
1.2 Живое вещество и его роль в геохимической эволюции биосферы.....	19
1.3 Биогеохимическое картографирование и районирование биосферы.....	22
<b>Глава II ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРВИЧНОЙ БИОСФЕРЫ.....</b>	<b>27</b>
2.1 Геохимическая дифференциация первичной биосферы.....	27
2.2 Первичная биосфера как уравновешенная саморегулируемая система.....	29
<b>Глава III ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРВИЧНОЙ БИОСФЕРЫ.....</b>	<b>33</b>
3.1 Общие принципы геохимической эволюции первичной биосферы.....	33
3.2 Биологический круговорот химических элементов как механизм оптимизации геохимического взаимодействия живого вещества со средой обитания.....	41
3.3 О невозможности длительного существования эндемических заболеваний геохимической природы в условиях первичной биосферы.....	46
<b>Глава IV СОВРЕМЕННАЯ НООСФЕРА И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ.....</b>	<b>53</b>
4.1 Разум как причина качественного изменения первичной биосферы.....	53
4.2 Основные тенденции изменения геохимической структуры ноосферы.....	55
4.3 Этапы формирования ноосферы и возникновение эндемических заболеваний геохимической природы.....	57
<b>Глава V ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ НООСФЕРЫ.....</b>	<b>63</b>
5.1 Эколого-геохимическая функция почвенного покрова и проблема индикации оптимальной среды обитания аборигенных биоценозов.....	63
5.2 Особенности пространственной организации полей техногенного загрязнения.....	70
5.3 Пространственные закономерности геохимической организации ноосферы.....	78
<b>Глава VI ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ НООСФЕРЫ.....</b>	<b>80</b>
6.1 Теория и методология биогеохимического районирования ноосферы.....	80
6.2 Эндемические заболевания геохимической природы и современные биогеохимические провинции.....	82

<b>Глава VII МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ОПЫТ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ</b> .....	<b>87</b>
7.1 Общие принципы картографической оценки эколого-геохимической обстановки ...	87
7.2 Построение карты риска спровоцированных заболеваний щитовидной железы	88
7.2.1 Методика оценки йодного статуса и построение карты йододефицита...	88
7.2.2 Построение карты «йодного удара».....	95
7.2.3 Построение карты сочетанного риска заболеваний щитовидной железой и ее верификация.....	96
Заключение.....	100
Благодарности.....	102
Список литературы .....	103



## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АЭС	– атомная электростанция; NPP – nuclear power plant
БД	– база данных; DB – data base
БИК	– биологический круговорот; BIC – biological cycle
БКДЦ	– Брянский клинично-диагностический центр; BCDC – Bryansk Clinical and Diagnostic Center
ГЕОХИ РАН	– Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук; GEOKHI RAS – Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Rus. Ac. of Sci.
ГОК	– горно-обогатительный комбинат; MPC – Mining and Processing Combine
ГХК	– горно-химический комбинат; MCC – Mining and Chemical Combine
ИМГРЭ	– Институт минералогии и геохимии редких элементов; IMGRE – Federal State Unitary Enterprize “Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements”
КРС	– крупный рогатый скот – cattle
ЛГС	– ландшафтно-геохимическая система; LGS – landscape geochemical system
ЛПХ	– личное подсобное хозяйство; PF – private farm
МАГАТЭ	– Международное агентство по атомной энергии; IAEA – International Agency of Atomic Energy
МГУ	– Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова; MSU – Lomonosov Moscow State University
МКРЗ	– Международная комиссия по радиологической защите; ICRP - International Commission on Radiological Protection
МРНЦ	– Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский радиологический центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации – Tsyb Medical Radiological Scientific Center (affiliated branch of the Federal State Budgetary Institution National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation)
НЗ	– нечерноземная зона; NZ – non-chernozem zone
НП	– населенный пункт – settlement
ПАУ	– полиароматические углеводороды; PAHs – polyaromatic hydrocarbons
ПДК	– предельно допустимая концентрация; MAC – maximum allowable concentration
ПХБ	– полихлорированные бифенилы; PCB – polychlorinated

	biphenyl
ПХДФ	– полихлордифензофураны; PCDF – polychlorinated dibenzofurans
РАО	– радиоактивные отходы; RAW – radioactive waste
РН	– радионуклиды; RN – radionuclides
РНЭЦ	– Российский научно-практический и экспертно-аналитический центр; RSPEAC – Russian Scientific Practical and Expert Analytical Center
РФФИ	– Российский фонд фундаментальных исследований; RFBR – Russian Foundation for Basic Research
РЩЖ	– рак щитовидной железы; ThC – Thyroid cancer
СОЗ	– стойкие органические загрязнители; POPs – persistent organic pollutants
ЧАЭС	– Чернобыльская атомная электростанция; ChNPP – Chernobyl Nuclear Power Plant
ЩЖ	– щитовидная железа; ThG – thyroid gland
ЭЛГС	– элементарная ландшафтно-геохимическая система; ELGS – elementary landscape geochemical system
ЮНИСЕФ	– Детский фонд ООН; UNICEF - United Nations Children’s Fund
EGU	– European Geosciences Union; Европейский союз наук о Земле
ESTABLISH	– Estuarine specific transport and biogeochemically linked interactions of selected heavy metals and radionuclides. Project ICA2 – СТ-2000-10008; международный проект по изучению особенностей переноса и биогеохимических взаимодействий некоторых тяжелых металлов и радионуклидов в эстуарной зоне
IARC	– International Agency for Research on Cancer, World Health Organization; Международное агентство по изучению рака Всемирной организации здравоохранения
WHO	– World Health Organization; ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В своей последней прижизненной публикации «Несколько слов о ноосфере» академик В.И. Вернадский (1944) писал о том, что все живое на планете, включая человека, неразрывно связано с биосферой Земли и физически не может быть независимым от нее ни на минуту. Однако не менее прочно связан с биосферой и порождающий все живое субстрат, который всегда отличался значительным уровнем геохимической неоднородности, наблюдаемой как в вертикальном, так и в латеральном строении всех геосфер.

Настоящая монография посвящена рассмотрению трех важнейших проблем современной экологической геохимии:

- эволюции эколого-геохимического состояния окружающей среды;
- структурным особенностям геохимической организации ноосферы;
- специфике взаимодействия живого вещества со средой обитания в условиях усиливающегося антропогенного воздействия.

Опираясь на теоретические положения биогеохимии и геохимической экологии, сформулированные в трудах В.И. Вернадского, А.П. Виноградова, А.Е. Ферсмана, Б.Б. Полынова, А.И. Перельмана, М.А. Глазовской, В.В. Ковальского, Ю. Одума, Б. Коммонера, Э.И. Колчинского и других исследователей, автором было выявлено наличие двух качественно разных этапов, характеризующих эволюцию геохимического строения ноосферы.

В качестве первого этапа выступает период естественно-природного развития биосферы, характеризующийся ее последовательным усложнением и ростом биогеохимической специализации, что в ходе геологической истории привело, с одной стороны, к росту разнообразия и совершенствованию видов, населяющих биосферу, а, с другой стороны, к росту дифференциации и направленному улучшению геохимических условий, обеспечивающих существование этих видов. На этом этапе функционирование абсолютно всех систем биосферы обеспечивалось предельно эффективным функционированием механизмов самоорганизации и саморегуляции, результатом чего явилось установление динамического равновесия, строго соблюдаемого в процессе круговорота химических элементов и обеспечивающего постоянное наличие оптимальной геохимической обстановки во всех экологических нишах для всех видов и биоценозов, присутствующих в биосфере.

Начало второго этапа связано с появлением разума и качественными изменениями биосферы, вызванными действием именно разума как новой геологической силы, которая, по В.И. Вернадскому, оказалась способной не только существенно нарушить функционирование отлаженных механизмов самоорганизации и саморегуляции, но и направленно трансформировать окружающую среду в интересах всего одного биологического вида - *Homo sapiens*. Прямым следствием такой перемены явилась геохимическая трансформация природной среды, в ходе которой на сформированную за миллиарды лет первичную структуру природных зон, геологических провинций и почвенного покрова был наложен качественно новый слой химических элементов и соединений антропогенного происхождения. Таким образом, геохимическая картина современной ноосферы представляет собой результат

интерференции геохимических полей природного и антропогенного генезиса, следствием чего явилось формирование качественно новой эколого-геохимической обстановки, в условиях которой в настоящее время вынуждено существовать практически все живое вещество.

Отличительной особенностью ноосферного этапа развития биосферы, являются скорости происходящих в ней биологических и геохимических трансформаций. В результате сроки, в течение которых осуществляются изменения геохимической обстановки, оказываются несопоставимыми со временем, которое требуется живому веществу для адаптации к этим изменениям. Закономерным результатом является нарушение сложившейся структуры пищевых цепей и, как следствие, возникновение значительного числа эндемических заболеваний геохимической природы.

Предложенный подход позволил не только доказать антропогенный генезис большинства существующих эндемических заболеваний и объяснить механизмы их возникновения, но и разработать новую методологию картографирования зон эколого-геохимического риска, существенно упростив при этом процедуру контроля и профилактики заболеваний геохимической природы.

## ВВЕДЕНИЕ

Основная проблема геохимической экологии как нового направления, основанного В.В. Ковальским на стыке биогеохимии и экологии (Ковальский, 1974), в предельно общем виде сводится к выявлению закономерностей химического взаимодействия живых организмов со средой своего обитания. А поскольку соответствие между геохимическими параметрами этой среды и видовой принадлежностью отдельных групп организмов было установлено еще трудами В.И. Вернадского и А.П. Виноградова, основная задача новой науки состояла в установлении границ диапазона оптимальных значений, выход за пределы которых гарантированно приводил к патологическим изменениям и формированию территориально выраженных биогеохимических эндемий, трактуемых как ответные реакции организмов на неблагоприятные геохимические условия среды обитания. Такого рода территории охватывали и охватывают миллионы квадратных километров, а специфические заболевания без преувеличения уже стали непосредственной причиной гибели десятков миллионов людей на планете.

Для некоторых заболеваний, таких как цинга или эндемический зоб, были разработаны эффективные меры профилактики, однако по мере развития цивилизации начали не только выявляться новые экологически опасные территории, но и возникать новые типы заболеваний, обусловленные локальным обогащением воды, воздуха и продуктов питания соединениями кадмия, хрома, бериллия, азота, а также большим числом органических соединений и даже радионуклидов. Причина очевидна и состоит в несоответствии между биологически требуемым и реально наблюдаемым количеством элементов и соединений, постоянно циркулирующих в рационе современного населения. Результат такого несоответствия в настоящее время уже отражается на состоянии здоровья и продолжительности жизни практически всего населения Земли. При этом, несмотря на огромное количество работы, проделанной медиками, биологами и геохимиками, усиливающееся техногенное воздействие продолжает неуклонно осложнять существующую экологическую обстановку.

Ситуация усугубляется еще и тем, что на данный момент отсутствуют даже теоретические подходы к обобщенному решению упомянутой выше главной проблемы геохимической экологии. Для этого имеется значительное количество объективных предпосылок, главная из которых заключается в абсолютном доминировании узко эмпирического подхода к оценке биогеохимического состояния среды обитания, благодаря чему работы по минимизации последствий геохимического воздействия сводятся к установлению разнообразных норм предельно допустимых концентраций (ПДК), устанавливаемых по содержанию различных элементов и соединений в почвах, водах, кормах, продуктах питания и т.п. Такая работа, несомненно, дает полезные результаты, но одновременно имеет существенные и непреодолимые недостатки. Первый из них состоит в неуклонном усложнении и росте числа разнообразных технологических процессов, благодаря чему в окружающей среде уже циркулирует свыше 10 тысяч только подлежащих

контролю ксенобиотиков, что не только быстро ведет к запредельному росту объемов и трудоемкости работ по постоянному контролю существующих ПДК, но и радикально снижает возможности оперативного использования полученной информации. Вторым недостатком состоит в том, что большинство экологически значимых геохимических явлений имеет совершенно определенное пространственное простираение, из-за чего корректное использование информации о превышении того или иного ПДК имеет смысл только применительно к предварительно выделенным территориям, что крайне редко имеет место на практике.

Между тем, сам по себе факт доминирования индуктивного подхода к проблеме еще не означает того, что данная проблема не может быть сформулирована и решена дедуктивно - путем создания универсального алгоритма, обеспечивающего корректное решение всех задач данного класса без потери точности и адресности получаемых результатов.

Опыт, накопленный автором в результате многолетних исследований данной проблемы, позволил сформировать теоретически обоснованный подход, в рамках которого задача *фиксации разницы между оптимальным и наблюдаемым эколого-геохимическим состоянием окружающей среды в заданной точке пространства может иметь однозначное количественное решение*. Более того, данное решение может быть представлено в виде соответствующей методической процедуры, позволяющей объективно контролировать уровень риска возникновения эндемических заболеваний геохимической природы в пределах любых антропогенно трансформированных территорий.

Практическое решение данной проблемы потребовало преодоления ряда значительных теоретических и методических трудностей, которые можно сформулировать в виде определенной последовательности подлежащих решению задач:

- разработка подхода к определению параметров геохимического оптимума;
- разработка подхода, позволяющего точно фиксировать величину отклонения наблюдаемых значений от естественного оптимума;
- разработка методики, позволяющей оценивать экологические последствия пребывания организма в пределах исследуемой территории.

Каждая из вышеприведенных задач отличается значительной теоретической и методической сложностью, не имеет явных аналогов в предшествующих исследованиях и требует разработки оригинальных подходов к их решению.

Анализу путей решения указанных проблем и посвящена данная работа, результаты которой в долгосрочной перспективе должны привести к значительному улучшению качества и заметному увеличению продолжительности жизни. Кроме того, знакомство с данной книгой, как надеется автор, привлечет внимание читателей к актуальным проблемам современной биогеохимии, геохимической экологии и эволюционной биологии.

# Глава I КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

## 1.1 Биосфера и этапы изучения ее геохимической структуры

Борьба с болезнями и проблема максимального увеличения продолжительности жизни, без сомнения, являлась главнейшей задачей человечества на всем протяжении его истории, и в этом отношении задача выявления и предотвращения опасных геохимических воздействий всегда оставалась одной из самых важных и актуальных. Исторический парадокс, однако, состоит в том, что, несмотря на множество разнообразных попыток и огромное количество затраченных усилий, решение именно этой проблемы продвигалось чрезвычайно медленно. Связь здоровья с качеством и режимом питания стала очевидной еще 2400 лет назад, когда Гиппократ сформулировал тезис «*Ἐμεῖς εἰμασθε ὁ, τι τρώμε*» (*Мы есть то, что мы едим*). Однако следующий шаг в научном осмыслении этой проблемы был сделан только через 1900 лет, когда Филипп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм (Парацельс) обнаружил, что «Бог создал человека из вытяжки всего сущего в мире», а мера вреда или пользы любого потребляемого вещества определяется не столько его качественными параметрами, сколько дозой и продолжительностью поступления в организм (Всё есть яд и всё есть лекарство; то и другое определяет доза, Paracelsus, 2008). Несмотря на то, что факт связи качества жизни с качеством внешней среды был очевиден, первая попытка описания химических параметров окружающего мира была предпринята почти на 300 лет позже открытия Парацельса, когда Ж.-Б. Ламарку удалось сформулировать общие представления о биосфере и ее химическом составе (Lamarck, 1802). Однако и после этого свое фундаментальное теоретическое толкование данная проблема получила еще на 100 лет позже, когда в начале XX века В.И. Вернадский, опираясь на работы Э. Зюсса, К. Мора, Х.-Ф. Шёнбейна и Ф.У. Кларка, создал геохимию как самостоятельную научную дисциплину и начал рассматривать биосферу как материальный объект, подлежащий предметно-понятийной схематизации.

Взяв за основу идею В.В. Докучаева о генетическом единстве живой и неживой природы и суммировав результаты, достигнутые к этому времени в области физики, химии и биологии, В.И. Вернадский рассмотрел биосферу как область постоянного взаимодействия живого вещества с биокосным субстратом, заложив тем самым базовые основы современной биогеохимии.

Вводя понятие «живое вещество», В.И. Вернадский подчеркивал, что сделал это специально для того, чтобы отделить его от понятия «жизнь». «Живое вещество» есть совокупность живых организмов. Это не что иное, как научное, эмпирическое обобщение всем известных и легко и точно наблюдаемых бесчисленных, эмпирически бесспорных фактов» (Вернадский, 1980, с. 213).

В.И. Вернадский первым сформулировал и основные законы эволюции биосферы, количественно охарактеризовав ее параметры и сформулировав базовые представления о ее организации, структуре и химическом составе. Именно В.И. Вернадский впервые обратил внимание не только на геологическую роль живых организмов, но и рассмотрел их совокупность как осо-



бое, энергетически активное состояние естественно-природного вещества, способного, благодаря интенсивному конкурентному воспроизводству, к постоянному усложнению и саморазвитию, поступательно преобразуя при этом среду своего обитания, что, в конце концов, привело к появлению одного универсально адаптированного вида, дополнительно обладающего решающим конкурентным преимуществом – разумом. По мнению В.И. Вернадского, это явилось силой геологического масштаба, «которая превратила нашу геологическую эпоху, охваченную человеком биосферу, в новое естественное тело по своим геологическим и биологическим процессам – в новое ее состояние, в ноосферу» (Вернадский, 1991).

Развивая и совершенствуя эти идеи, В.И. Вернадский уже в 1918 году начал работу по экспериментальному изучению химического состава «однородного живого вещества» значительно расширив работы, проводимые на уровне отдельных видов живых существ (Вернадский, 1980, Гумилевский, 1967; Levit, 2001; Сытник, 1984; Аксенов, 2001; Галимов, 2013 и др.). В 1923 г. он создал учение о планетарной роли жизни и геохимической значимости живого вещества в геологической истории планеты, показав при этом, что биосфера Земли, как продукт синтеза жизни и среды ее обитания, способна существовать только в сравнительно узком диапазоне концентраций химических элементов, определяющих организацию и функционирование основных систем биосферы (Вернадский, 1926, 1980).

В.И. Вернадский изучал одновременно как процессы формирования химического состава природной среды под влиянием живых организмов (геологический эффект), так и процессы формирования состава самих организмов, длительно обитающих в определенных геохимических условиях.

В 1922 году он писал, что «значительная часть видов организмов, в частности растений, является морфологическими видами, созданными благодаря химическим условиям той среды, на которой они живут и того состава, какой они при этом получают» (Вернадский, 1978). Далее, углубляя исследования в этом направлении, он писал в книге «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения» (Вернадский, 1965): «В каждой геологической оболочке, каковой является и биосфера, мы имеем свои замкнутые процессы и свой собственный средний химический состав..., встречаемся с резко выраженной химической неоднородностью, связанной с геохорами (наземной, донной и др. “пленками жизни” (*прим. автора*))». «Мы знаем, что химический состав биосферы не является одинаковым на всем Лике Земли, но резко меняется как функция литологического состава и климатических зон в разных местах биосферы в связи с литологией верхней части планеты» (там же, с. 65). Отмечая, что химический состав живого вещества изменяется не случайно, а «различен закономерен», там же он называл в числе факторов, обуславливающих неоднородность химического состава живого вещества, близость океана, химический состав почв, горных пород, высоту над уровнем моря и др.

Закономерным этапом эволюции живого вещества Вернадский считал и появление разума, о чем он писал как о явлении геологического масштаба, которое отвечает общим тенденциям эволюции биосферы, в ходе которой приоритетом развития обладают организмы, овладевшие наибольшей геохимической энергией и получившие, таким образом, наибольшие конкурентные преимущества.



Основываясь на этих идеях, Эдуард Ле-Руа сделал вывод о том, что с появлением разума биосфера перешла в новое качественное состояние, которое он назвал сферой разума - ноосферой. Принимая этот термин, В.И. Вернадский в 1936 г. писал Б. Личкову: «Ввожу новое понятие «ноосферы», которое было предложено Ле-Руа в 1929 году, и которое позволяет ввести в исторический процесс человечество как продолжение биогеохимической истории живого вещества» (Степанов, Наумов, 2003).

Идеи В.И. Вернадского были развиты его учениками и последователями. Так, А.Е. Ферсман в 1931 году сформулировал теоретические и методологические основы пространственно-временного изучения геохимических явлений и ввел понятия геохимического поля, географии элементов и геохимической эпохи. «В этом химико-географическом подходе мы имеем и в области самой геохимии ряд важнейших задач - дать пространственные соотношения элементов в определенных географических районах, установить «геохимические провинции», как и «геохимические эпохи», и этим самым рассмотреть геохимические проблемы в чисто географическом разрезе» (Ферсман, 1955). Им же был разработан и ряд методических подходов к пространственной интерпретации геохимических объектов. В частности, зональный подход, базирующийся на идеях В.В. Докучаева о широтной зональности природных явлений, и региональный подход, интерпретирующий крупные объекты в пределах природных зон, в рамках которого изучались щиты, пояса, поля, узлы и т.п. геологические объекты азонального характера.

Одновременно с А.Е. Ферсманом А.П. Виноградов продолжил масштабные исследования состава живого вещества, которое, в XIX веке еще именовалось «протоплазмой» и считалось состоящим всего из 4-х главных органогенов - водорода, углерода, азота, кислорода, и содержащим еще 7 обязательных элементов (фосфор, серу, кальций, калий, натрий, железо и магний). Результат этих исследований оказался неожиданным и позволил выявить критическую биологическую значимость сначала 30, а затем все большего и большего числа элементов, считавшихся ранее случайными примесями. При этом была обнаружена и связь биологической значимости элементов с их положением в таблице Менделеева, что позволило А.Е. Ферсману сделать вывод о том, что осредненный элементный состав живого вещества задан периодической функцией атомного номера, а содержание главных биогенных элементов определяется обратно пропорциональной зависимостью от их атомной массы.

Позднее фундаментальные работы по изучению содержания элементов в живом веществе и выявлению закономерностей их распространения в биосфере были выполнены А.П. Виноградовым, который, сравнивая содержание элементов в живом веществе с их кларковым<sup>1</sup> содержанием в геосферах (Виноградов, 1927, 1928, 1931, 1932, 1935, 1945, 1947), сделал важнейший

---

<sup>1</sup> Понятие кларка введено по предложению А.Е. Ферсмана в 1923 г. в честь выдающегося американского геохимика Ф.У. Кларка (Frank Wigglesworth Clarke), который первым рассчитал средний элементный состав земной коры. В настоящее время под кларком элемента понимается среднее содержание химического элемента в любой геохимической системе (земной коре, гидросфере, Земле и пр.) по отношению к общей массе этой системы.

вывод о наличии генетической связи между химическим составом живого вещества и свойствами порождающего субстрата. Им было установлено, что „все химические элементы, находящиеся по распространению в живом веществе в максимумах кривой [концентрации], одновременно являются главным субстратом жизнедеятельности древних форм организмов и их современных потомков” (Виноградов, 1935).

Эти выводы позднее были существенно дополнены трудами В.В. Ковальского (Ковальский, 1957, 1974, 1982 и др.), А. Войнара (Войнар, 1960, 1962), В. Шоу (Shaw, 1960, 1962) и А. Киста (Кист, 1973, 1987). Так, в частности, В. Шоу предложил разделить химические элементы на типы, исходя из предположения о том, что „более важные для организмов элементы относятся к числу наиболее распространенных в морской воде” (Shaw, 1960), образуя комплекс, создающий «структурную и функциональную основу жизни» (там же). А. Войнар, сопоставляя данные А.П. Виноградова о химическом составе почв и литосферы с данными Ф. Лойтарда (Leuthardt, 1941), констатировал, что «содержание элементов в живом веществе пропорционально составу среды, с поправкой на растворимость тех соединений, куда входят эти элементы» (Войнар, 1960, цит. по Э.И. Колчинскому, 1990).

Особую роль в расширении представлений о биогеохимических процессах сыграли работы Б.Б. Польшова, использовавшего исторический подход к геохимической классификации элементов В-М. Гольдшмидта. В результате Польшов выделил пять групп элементов (сидерофильных, халькофильных, литофильных, атмофильных и биофильных), отметив, что элементы разных групп концентрируются преимущественно в разных геосферах. Таким образом, Польшов сделал вывод о том, что данная систематизация отвечает геохимической истории Земли, а состоящая, по его мнению, из 17 элементов биофильная группа, включает именно те из них, которые явно вошли в структуру биологического круговорота (БИК) на более позднем этапе эволюции. Исходя из этой предпосылки, Б.Б. Польшов дополнительно разделил биофильные элементы на две группы, составляющие собственно органогены и примеси. К абсолютным органогенам он отнес элементы, формирующие базовую структуру живых организмов Н, С, О, N, Mg, K, P, S, а к примесям (специфическим органогенам) - элементы, которые значимо накапливаются организмами в процессе их жизненного цикла - Cu, Na, Ca, Fe, Cl, F, Mn, Sr, V, Zn, Be и I. При этом он обратил внимание на то, что в состав группы биофилов одновременно входят как типичные литофилы, так и сидерофилы, и атмофилы. Исходя из предпосылки о первичности субстрата по отношению к порожденному им живому веществу, Б.Б. Польшов сделал вывод о том, что первые живые организмы должны были появиться именно в зоне тесного взаимодействия гидросферы, литосферы и атмосферы, так как получить полный набор перечисленных химических элементов первичные организмы могли только в этих условиях. Причем эти условия оказались аналогичными тем, в которых в настоящее время формируются современные аллювиальные почвы на магматических породах, то есть в зоне контакта этих пород с воздухом и водой. Далее он сделал вывод о том, что примеси хотя и не играли существенной роли на начальных этапах эволюции, но постоянно участвовали в метаболических процессах, из-за чего первичные организмы

позднее превратили их в специфические органогены, которые стали жестко необходимыми для нормального протекания физиологических процессов океанических, пустынных или бореальных видов животных и растений (Полынов, 1926, 1934, 1945, 1946, 1948, 1952 и др.).

Данная теория не потеряла научной актуальности и в настоящее время. Так, В.А. Ковда показал, что реальное отсутствие в круговороте железа, бора, меди и кобальта ведет к однозначным нарушениям развития и гибели 100% особей (Ковда, 1956, 1959, 1973). Геохимическая экология, как наука о закономерностях химического взаимодействия живых организмов со средой обитания, возникла на стыке биогеохимии и экологии, поэтому существенное влияние на формирование её предметно-понятийного аппарата оказали результаты, полученные в области таких естественно-научных дисциплин, как агрохимия, биология, генетика и теоретическая экология. Важнейшими из них являются базовые положения теории минерального питания. К ним относятся: «закон минимума» Юстуса фон Либиха (Liebig, 1859), правило взаимосогласованности сообществ, понятие «биоценоза» Карла-Августа Мебиуса (Möbius, 1877), учение Джозефа Гриннелла (Grinnell, 1917) и Чарльза Элтона об «экологической нише» (Elton, 1927), а также подход А. Тенсли, предложившего понятие «экосистема» (Tensley, 1935). На этой базе в 1934 г. советский ученый А.Ф. Гаузе (1984) сформулировал принцип конкурентного исключения, согласно которому два вида не могут устойчиво существовать в ограниченном пространстве с лимитированным объемом жизненно важных ресурсов (принцип Вольтерры – Гаузе, иногда - закон Гаузе). Позднее этот закон был дополнен правилом толерантности В. Шелфорда (Shelford, 1913, 1931, 1932), а в 1940 г. В.Н. Сукачев ввел понятие биотопа и основал биоценологию как полноценную научную дисциплину (Сукачев, 1942, 1964).

Практически в это же время (в 1935 г.) к В.И. Вернадскому обратился доктор Н.И. Дамперов с просьбой определить причину распространения болезни, поражавшей семьи, селившие поблизости от р. Уров (бассейн р. Амур). Экспедицию в этот район возглавил А.М. Симорин, который первым выдвинул и начал практическую проверку гипотезы о геохимических причинах пространственной локализации этого редкого заболевания, именуемого синдромом Кашина-Бека (Симорин, 1936).

Новое направление исследований получило развитие в БИОГЕЛ (биогеохимической лаборатории, основанной В.И. Вернадским в 1926 г.) и уже в июне 1936 г. В.И. Вернадский и А.П. Виноградов представили на собрании Московского терапевтического общества доклад «Биохимические провинции и болезни», в котором говорилось о том, что некоторые болезни имеют выраженную пространственную локализацию и приурочены к территориям с выраженным избытком или недостатком определенных химических элементов (Bailes, 1990, с. 169), а в 1938 г. вышла публикация А.П. Виноградова, который предлагал рассматривать «области на поверхности Земли, различающиеся по содержанию (в их почвах, водах и т.п.) элементов (или соединений), с которыми связаны определенные биологические реакции со стороны местной флоры и фауны», как особые биогеохимические провинции, имеющие специфическое пространственное простираение. Указывая причину возникновения таких

провинций, А.П. Виноградов писал: «Недостаточность или избыточность того или иного элемента в среде - в почвах разного типа, в почвенных и подпочвенных растворах, водах, растениях и т.д. - по сравнению с их обычным кларком вызывает своеобразные изменения во флоре и фауне данного района или биогеохимической провинции» (Виноградов, 1938).

Позднее, в 1963 году, в работе «Биогеохимические провинции и их роль в органической эволюции» А.П. Виноградов подробно рассмотрел физиологическую роль I, Br, B, S, Se, Mn, Fe, Cu, Zn, Co, V, Mo, Al и показал, что химические элементы закономерно входят в обмен веществ определенных групп и видов организмов, например, йод постоянно содержится в щитовидной железе высших животных, бром - в морских губках, селен - в составе белков астрагалов, медь - в дыхательных органах низших животных, ванадий - в крови оболочников *Ascididae* и т.д. В результате он пришел к выводу о том, что «химический состав организмов является их видовым признаком» (Виноградов, 1963, с. 20). В той же работе А.П. Виноградов рассмотрел процесс накопления элементов живыми организмами уже в «филогенетическом», т.е. эволюционном разрезе. В соответствии с этим подходом в живых организмах содержатся практически все химические элементы таблицы Менделеева, однако они присутствуют в концентрациях, значительно отличающихся от кларкового содержания этих элементов в окружающей среде. Исследования химического состава многих, в том числе и морских, организмов показали, что эти отличия определяются подвижностью элементов и структурой пищевых цепей, присущей как современной, так и прошлым эпохам. А.П. Виноградов отметил специфическую аккумуляцию отдельных элементов определенными группами организмов и таким образом выявил семейства и виды, отличающиеся повышенным содержанием тех или иных микроэлементов, в частности, лития (*Thalictrum*), алюминия (отдельные виды *Lycopodiaceae*, *Theaceae*, *Symplocaceae*), йода (*Laminaria*, *Fucus*, *Cladophora*, *Phodomelia*), селена (*Astragalus*, *Oonopsis*, *Cruciferaea*), марганца (муравьи, моллюски *Onodonta*).

В этой же работе А.П. Виноградов сформулировал и убедительно доказал важную гипотезу о том, что в химическом составе каждого биологического вида зафиксированы те параметры содержания биофильных элементов в среде обитания, которые присутствовали в ней на момент формирования этого вида. Исходя из этой предпосылки, А.П. Виноградов предложил использовать химический состав организмов для реконструкции геохимической обстановки в геологическом масштабе времени, что позже позволило разработать и новый подход в области поисковой геохимии (Ткалич, 1959; Малюга, 1963; Brooks, 1972; Ковалевский, 1975).

Следующий период развития экологического направления в биогеохимии тесно связан с именем В.В. Ковальского. В 1941-1943 гг. выходят его первые публикации, посвященные биологическому значению химической изменчивости организмов и изучению биохимических факторов эволюции (Ковальский, 1941, 1943). Во многом благодаря этим работам, начиная с середины 50-х годов, геохимическая экология оформляется как самостоятельная научная дисциплина, в число задач которой входит выявление причин внутривидового и внутривидового полиморфизма, пороговой чувстви-

тельности организмов к изменению концентраций химических элементов, изучение механизмов адаптации и т.п. (Ковальский, 1957, 1974; Ковальский, Летунова, 1974; Ковальский, Блохина, 1972).

Наибольшее развитие работы в области геохимической экологии получили в 60-70-е годы прошлого века, поскольку обнаружилось их важное практическое значение для выявления и профилактики ряда эндемических заболеваний, присущих не только человеку, но также животным и растениям. Эти работы положили начало изучению пространственной специфики эколого-геохимических особенностей биосферы.

В результате был существенно расширен список заболеваний именно геохимической природы, в котором выделяются:

- эндемический зоб, которым из-за хронического недостатка йода в воде и пище страдает на данный момент около 190 млн. человек в разных странах мира и еще 740 млн. находится в группе риска по йододефициту (de Benoist, 2002);
- Уровская болезнь, вызванная дефицитом кальция при избытке стронция и бария (Ковальский и др., 1978);
- уролитиаз (мочекаменная болезнь), распространение которой приурочено к степным и полупустынным районам с повышенной жесткостью воды (Ковальский, 1974);
- молибденовая подагра, распространенная в некоторых районах Армении и связанная с избыточным содержанием молибдена в пище (Ковальский, 1974);
- обнаруженная в Японии болезнь итай-итай (Авцын, Жаворонков др., 1999).

Выявление большого числа заболеваний человека, животных и растений, связанных с избытком либо недостатком химических элементов, потребовало разработки геохимических критериев качества (благоприятности) среды обитания. Первая успешная попытка решения этой задачи была предпринята В.В. Ковальским в 1957 году (Ковальский, 1957), который пошел путем сопоставления содержания химических элементов в почвах и рационах с негативными биологическими реакциями, наблюдаемыми у животных и человека. Одновременно были продолжены работы, связанные с развитием идеи эволюционной адаптации живых организмов, суть которой состояла в том, что каждому из существующих видов свойственен определенный диапазон геохимических условий, в пределах которого он чувствует себя относительно комфортно. По мнению В.В. Ковальского, выход за пределы этого диапазона должен быть либо закончиться гибелью организма, либо его адаптацией к новым условиям окружающей среды. Далее, руководствуясь законом Либиха об ограничивающем действии каждого из ведущих биогенных элементов, он установил диапазон оптимальных концентраций биологически важных микроэлементов для большинства сельскохозяйственных животных (Ковальский, 1974), предложив новые, биологически верифицированные, критерии избыточности и недостатка химических элементов в культуральных средах, пищевых рационах (рис. 1) и почвах (табл. 1).



Рисунок 1 - Принципиальная биогеохимическая модель (а-в) гомеостатических регуляторных процессов организма (А) в зависимости от недостаточного (1), нормального (2) и избыточного (3) содержания микроэлементов в пищевом рационе животных (Б) или во внутренних средах в условиях биогеохимических провинций. Пороговые концентрации микроэлемента: нижняя (4), верхняя (5). Вероятная оптимальная (б) и физиологически минимальная (б1) потребности; емкость гомеостатических регуляторных систем (X - X1) (Ковальский, 1982)

Таблица 1 - Пороговые концентрации химических элементов в почвах (Ковальский, 1974)

Химический элемент	Число исследований	Пределы содержания элементов (мг/кг)		
		недостаточное (нижние пороговые концентрации)	норма (в пределах нормальной регуляции функций)	избыточное (верхние пороговые концентрации)
Со	2400	< 2 - 7	7 - 30	> 30
Сu	3194	< 6 - 15	15 - 60	> 60
Мn	1629	до 400 (?)	400 - 3000	> 3000
Зn	1927	до 30	30 - 70	> 70
Мо	1216	до 1,5	1,5 - 4	> 4
В	879	< 3 - 6	6 - 30	> 30
Sr	1269	Не установлено	до 600	600 - 1000
I	491	< 2 - 5	5 - 40	> 40

Продолжение исследований показало, что полученные выводы справедливы и применительно к некоторым видам сельскохозяйственных растений, которым также оказались свойственны особые диапазоны приемлемости, выход за пределы которых вызывал значительные отклонения от их нормального развития, приводя к таким морфологическим и физиологическим нарушениям, как: укорачивание междоузлий, недоразвитие генеративных органов, хлорозы, нарушения плодо- и семяобразования, некрозы и т.д. (Ковальский и др., 1965; Ковальский, 1982).

Позднее, констатируя наличие непосредственной связи заболеваемости



с интенсивностью геохимического воздействия, В.В. Ковальский (Ковальский, 1963) отметил и тот факт, что незначительная часть популяции даже в явно некомфортных экологических условиях сохраняла способность к вегетации и воспроизводству. Опираясь на эти данные и разделяя ранее высказанное мнение А.П. Виноградова (Виноградов, 1960) о том, что рост геохимического разнообразия "запускает механизм возникновения новых эндемичных видов и подвидов", В.В. Ковальский, обратил внимание на работы Н.И. Вавилова (Вавилов, 1926), который относил центры происхождения культурных растений к горным районам, в которых разнообразие геохимических обстановок было максимальным, а наличие горообразовательных процессов способствовало не только пространственной изоляции популяций в соседних долинах, но и стимулировало вовлечение в биологический круговорот (БИК) больших масс разнообразных горных пород, создавая благоприятные условия для быстрого видообразования.

Биогеохимические исследования, широко развернутые в 50-60-е годы XX века как в СССР, так и за рубежом, позволили подтвердить, во-первых, наличие острой реакции живого вещества на любые значимые изменения геохимической обстановки и, во-вторых, значимость геохимического состава среды как действенного фактора эволюции (Bradshaw, 1952; Rune, 1953; Canningham, 1946; Duvigneaud et Tanghe, 1962; Whittaker, 1970; Russel and Dunkan, 1956; Warren, 1980; Bowen, 1966; Fleming, Walsh, 1957 и др.).

Большой вклад в понимание экологической значимости биогеохимических параметров среды внесли фундаментальные работы Юджина Одума (Odum, 1971), а также работы Й. Иллиеса, который, на базе введенного ранее «правила викариата» (Jordan, 1895), сформулировал в 1988 г. принцип видо-родового представительства, в соответствии с которым два близкородственных вида не могут занимать экологические ниши в одном биотопе и, соответственно, должны быть представлены в экосистеме единственным своим представителем. Значительный вклад в решение проблемы экологического районирования внесли работы Г. Вальтера (Walther, 1893), Л. Берга (Берг, 1922), А. Уатта (Watt, 1947) и др.

Характерно, что несмотря на то, что практически все перечисленные исследователи ссылались на работы В.И. Вернадского и констатировали лимитирующую роль геохимического фактора в развитии большинства существующих биоценозов, они же, как, например, И.И. Шмальгаузен и С.С. Шварц, отмечали и то, что данная проблема рассмотрена пока еще на уровне только самых общих решений, а объяснение механизма геохимических адаптаций невозможно без знания законов общей эволюции биосферы (Шварц, 1980).

## **1.2 Живое вещество и его роль в геохимической эволюции биосферы**

Жизнь с момента своего возникновения представляла собой непрерывный процесс метаболизма химических соединений, связанный с воспроизводством живого вещества и получением энергии. Результатом явилось формирование БИК, обеспечивающего не только неуклонную эволюцию живых организмов, но и специфическую трансформацию неорганического

субстрата. А поскольку неотъемлемым свойством живого вещества явилось максимально полное использование всего доступного ему ресурса, развитие биосферы постоянно осуществлялось в направлении увеличения числа видов, способных в наибольшей мере использовать потенциал любых экологических ниш, присутствующих во всем разнообразии существующих природных обстановок, что могло осуществляться только путем направленной эволюции, сопровождающейся неуклонным ростом специализации отдельных видов и биоценозов.

К началу 40-х годов А.П. Виноградов, опираясь на теоретические положения В.И. Вернадского о том, что «не только среда определяет состав живого вещества, но и само живое вещество глубоко преобразует геохимический состав среды», на богатом фактическом материале показал, что длительное присутствие определенных групп организмов не только способствовало формированию специфических геологических отложений, но было способно менять и химический состав всей биосферы, перераспределяя в ней заведомо ограниченные запасы, например, кальция, фосфора или углерода (Виноградов, 1932, 1935; Зенкевич, 1951; Шидловский, 1980).

Одновременно А.П. Виноградов (Виноградов, 1960), продолжая работы А.Е. Ферсмана, изучил проблему геохимического районирования и выделил палеобиогеохимические провинции, образующиеся в ходе длительных геологических процессов, таких как орогенез, трансгрессии и регрессии моря, вулканизм и т.п. Формируя литосферный фундамент современной биосферы, эти процессы во многом обуславливали и геохимическую историю современных биоценозов. При этом следует особо отметить, что А.П. Виноградов не считал геохимическое воздействие единственным фактором, определяющим формирование структурных параметров биосферы. Результаты, полученные им в 40-50-х годах, отчетливо свидетельствовали, что «химический элементарный состав, как показывают нам тысячи анализов, не является простым отражением, повторением химического состава среды, а складывается в ходе длительного развития, путем взаимодействия организмов одновременно со всеми факторами эволюции» (Виноградов, 1944). Более того, А.П. Виноградов многократно подчеркивал, что выживаемость вида может быть обеспечена не только его «узкой специализацией», но и повышением общей толерантности, поскольку «естественный отбор является главной причиной приспособления организмов к химическим особенностям среды» (1960).

Расширив спектр работ, А.П. Виноградов (Виноградов, 1960) выяснил, что по мере развития биосферы влияние геохимических факторов среды на эволюцию химического состава организмов, пребывающих в этой среде, было главным образом опосредовано деятельностью комплекса регуляторных механизмов, контролирующей специфику взаимодействия этих организмов с окружающей средой. Результатом явилось не только увеличение общего числа видов, вызванное, в том числе и разнообразием геохимических условий, но и формирование значительного числа узкоспециализированных подвидов-эндемиков, возникновение которых, по мнению А.П. Виноградова, произошло в ходе естественного отбора, направленного в сторону последовательной адаптации флоры и связанной с ней фауны именно к пара-



метрам специфической геохимической неоднородности (Виноградов, 1960; 1963). Изучение популяций *Scrophularia variegata*, *Hypericum perforatum* в молибденовых, *Cynodon dactylon*, *Glycyrrhiza glabra* в кальциево-стронциевых провинциях, а также ряда других растений, произрастающих на почвах с повышенным содержанием никеля, меди, кобальта или свинца, показало, что даже для выраженных концентраторов внутри вида существует значительная физиологическая изменчивость, причем в подавляющем большинстве случаев закрепленная генетически.

В.В. Ковальский, считая, что внутривидовая изменчивость химического состава организмов представляет собой основу для построения всей сравнительной биохимии, решил выяснить ее причины и продолжил исследования в этом направлении. Он писал, что „вместе с филогенетическими изменениями организмов... менялась роль организмов в миграции атомов в биосфере” (Ковальский, 1963). Углубляя эту работу, В.В. Ковальский начал изучать и влияние циклических процессов в биосфере, так как считал, что изменчивость химического состава организмов, помимо его „видовой” истории (филогенеза), обусловлена и его адаптацией к сезонной изменчивости среды, поскольку в этих условиях и характер, и интенсивность внутривидового естественного отбора способны значительно интенсифицироваться, расширяя, таким образом, диапазон адаптации и позволяя видам и организмам устойчиво существовать в меняющихся условиях среды. В результате В.В. Ковальский так сформулировал главные задачи изучения факторов биогеохимической эволюции: «Установление связей между химическими элементами среды и приспособительной изменчивостью организмов, а также перестройка обмена веществ в условиях различных биогеохимических провинций позволяют создавать геохимическую экологию растений и животных, которая выясняет закономерности приспособляемости организмов к различному содержанию химических элементов в среде, химической и морфологической их изменчивости, расселения организмов. Изучение этих вопросов служит важной основой развития эволюционной физиологии и биогеохимии, задачами которых являются не только познание закономерностей химических и физиологических изменений организмов, но и выяснение химических и физиологических закономерностей эволюционного процесса – изменчивости, приспособляемости, видообразования и естественного отбора» (Ковальский, 1960).

Оригинальную попытку решить проблему взаимодействия процессов эволюции организмов с процессами эволюции биосферы предпринял и создатель популяционной экологии животных С.С. Шварц, который установил, что в геохимическом отношении процесс адаптивного преобразования видов осуществляется в биоценозах и имеет общепланетарное простираение, но вынужден был признать, что «хотя возможности ответить на главный вопрос пока нет, но целесообразно выделить те вопросы, решение которых будет способствовать решению проблемы в целом» (Шварц, 1973). Позже в книге «Экологические закономерности эволюции» он писал: «Проблема вида может быть решена только как комплексная биологическая проблема, рассматривающая процесс видообразования как этап прогрессивного освоения жизнью нашей планеты» (Шварц, 1980).

Среди публикаций, посвященных философскому и общенаучному осмыслению проблемы биогеохимической эволюции биосферы следует особо выделить монографию Э.И. Колчинского, содержащую глубокий и разносторонний анализ истории развития идей и современного состояния проблемы (Колчинский, 1990).

### 1.3 Биогеохимическое картографирование и районирование биосферы

Ранее уже указывалось, что вопрос о геохимическом картографировании биосферы был впервые рассмотрен В.И. Вернадским, а первая собственно геохимическая карта СССР была построена А.Е. Ферсманом в 30-е годы прошлого века (рис. 2, Ферсман, 1953).

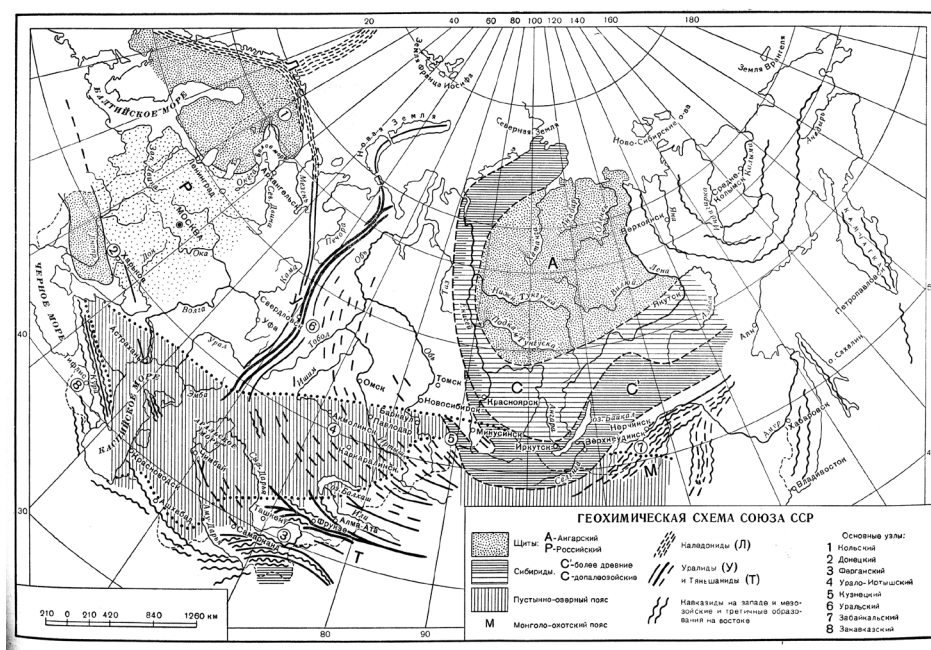


Рисунок 2 - Схема геохимического районирования Союза ССР А.Е. Ферсмана (1931)

При этом А.Е. Ферсман особо подчеркивал роль живых организмов в формировании геохимической специфики природных зон и предлагал рассматривать «широтные климатические зоны со всей совокупностью вызванных ими специфических особенностей миграции элементов почвенного покрова и биосферы» (Ферсман, 1953. Т. 2.). Так, им были выделены *тундровая, подзолисто-лесная и пустынная геохимические зоны*, в пределах которых зональная структура почвенного покрова рассматривалась как закономерное геохимическое образование, отображающее особенности биогенной миграции химических элементов. Подчеркивая практическое значение методов

полевой геохимии и геохимического районирования, он сформулировал и принципы создания общих геохимических карт, дающих по отношению к глобальному и литосферному кларку наглядное представление о характере пространственного распределения химических элементов. В частности, он писал: «Ряд таких карт, построенный на большом количестве анализов для различных элементов, может дать необычайно наглядную и отчетливую картину взаимоотношений этих элементов в пространстве и поможет решить ряд интересующих нас геохимических проблем» (Ферсман, 1955). Поскольку области равных концентраций на таких картах предполагалось выделять изолиниями, такой подход не только открывал возможности пространственной интерпретации геохимических явлений, но и давал возможности для разработки как моноэлементного, так и комплексного (полиэлементного) подходов к геохимическому картографированию.

Таким образом, уже к началу 30-х годов XX века были сформулированы первые теоретические представления об условно однородных геохимических провинциях и геохимических зонах, формирование которых было тесно связано со спецификой миграции химических элементов в биосфере.

С другой стороны, собранный А.П. Виноградовым обширный материал по географической изменчивости химического состава организмов, свидетельствовал о том, что даже незначительные особенности химического состава окружающей среды накладывают существенный отпечаток на химический состав всех видов, обитающих в этой среде. «В геологическом прошлом, – писал А.П. Виноградов, – биогеохимические провинции... должны были играть значительную роль в преобразовании флоры и фауны» (Виноградов, 1963) и «...это влияние распространяется на целые области, образуя зоны в которых морские организмы имеют сходные черты в химическом составе» (Виноградов, 1937).

К этим работам несколько позже подключился В.В. Ковальский и ряд других сотрудников биогеохимической лаборатории ГЕОХИ РАН: Р.И. Блохина, С.В. Летунова, Т.Ф. Боровик-Романова, М.И. Густун, Д.П. Малюга, Н.С. Петрунина, Г.А. Андрианова, В.В. Ермаков и др. А поскольку А.П. Виноградов считал эволюцию живого вещества обоюдонаправленным геологическим процессом, он, предлагал изучать геохимическую неоднородность биосферы с точки зрения влияния факторов биогенной миграции, отмечая, что виды с высоким содержанием, например, натрия и хлора должны были первоначально возникнуть на морских побережьях, растения с высоким содержанием алюминия – формироваться на латеритах, а ареалы образования злаков должны были тяготеть к пескам и вулканическим почвам, создавая, таким образом, характерные биоценозы в отдельных климатических регионах биосферы.

Одновременно развитие получило и еще одно важное научное направление, имеющее прямое отношение к решению проблем геохимической экологии – геохимия ландшафта, основатель которого Б.Б. Польнов и его ученики и последователи – М.А. Глазовская, А.И. Перельман – показали, что однотипность циклических химических процессов в ландшафте может быть критерием его геохимической однородности. Б.Б. Польнов предложил решение вопроса об элементарной таксономической единице геохимическо-

го ландшафта, которая выделялась на основе стратификации элементарной ландшафтно-геохимической системы (ЛГС) типа вершина-склон-замыкающее понижение (Полынов, Крашенинников, 1926, цит. по: Полынов, 1952). Предложенный подход универсален и позволяет характеризовать как вертикальную, так и латеральную составляющие миграционных потоков любой территории, являясь одновременно удобной основой для крупномасштабного почвенно-геохимического районирования и картографирования (Глазовская, 1964; Перельман, 1966, 1975; Перельман, Касимов, 1999).

Позднее на этом же принципе Дж. Милном (Milne, 1935) была построена теория почвенной катены, в рамках которой аналогичное сочетание элементарных ландшафтов рассматривалось уже применительно к упорядоченной системе почвенных контуров, объединенных однонаправленным потоком латеральной миграции.

Предложенную схему значительно развила и расширила М.А. Глазовская, объединив ЛГС в более сложные каскадные и бассейновые системы, названные ей геохимическими аренами (Глазовская, 1981, 1983).

Появление крупных зон техногенного загрязнения и обнаружение новых очагов эколого-геохимической опасности потребовало разработки специальной методики для решения задач картографирования и районирования антропогенно трансформированных территорий, что скоро привело к формированию двух методических подходов к решению этой задачи.

В первом случае критерием пространственной дифференциации выступал сам факт наличия геохимической неоднородности, а картографированию подлежала вся исследуемая территория, тогда как во втором случае оконтуривались только участки, в пределах которых отчетливо наблюдалась отрицательная биологическая реакция отдельных видов и популяций на эту неоднородность. Таким образом, обнаружилась разница в трактовке самого понятия «биогеохимическая провинция». В первом случае, это был геохимический подход, основанный на идеях общепланетарной и региональной дифференциации взаимодействия живого и косного вещества (химико-географический в терминах А.Е. Ферсмана), а в другом случае подход был эколого-геохимическим, акцентирующим внимание на выявлении только геохимически неблагоприятных территорий.

Практическая реализация обоих этих подходов была теоретически и методически оформлена в рамках исследований, проводимых под руководством В.В. Ковальского. В пределах планеты он выделил четыре биогеохимические зоны, внутри которых выделялись ареалы зональных и азональных провинций, понимаемых как области проявления эндемических болезней, обусловленных избытком или недостатком определенных химических элементов и соединений в почвах, водах и растительности.

Формируя типологическую основу биогеохимического районирования, В.В. Ковальский предложил разделить биосферу на таксоны разного ранга (Ковальский, 1960; 1973; 1978) со следующей иерархией: биосфера – регион – субрегион – биогеохимическая провинция (фоновая, потенциальная, типичная). В пределах региона при этом выделялись субрегионы как объекты, геохимически различающиеся между собой на уровне пороговых величин, а биогеохимические провинции было предложено рассматривать

как таксоны, входящие в составе субрегионов, но выделяемые по признаку присутствия достоверно наблюдаемых отрицательных биологических реакций, обусловленных химическим составом любого из компонентов среды обитания. При этом В.В. Ковальский выделял как естественные, так и техногенные биогеохимические провинции, возникающие в зонах воздействия промышленности, применения удобрений и пр.

Несколько иной подход к ландшафтно-геохимическому районированию был сформулирован А.И. Перельманом (1964, 1965). Созданная им ландшафтно-геохимическая карта СССР (Физико-географический атлас мира, 1964) рассматривалась как природная основа для выделения специфических биогеохимических районов, а поскольку при ее составлении учитывались господствующие геологические формации, характер биологического круговорота, класс водной миграции и теснота связи между автономными и подчиненными ландшафтами (Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды, 1983), такое сочетание параметров позволило построить карту, на которой каждый таксон получил характеристику в виде геохимической формулы, с помощью которой стал возможным учет средней обеспеченности живых организмов важнейшими элементами минерального питания (Перельман, 1975).

Быстрое изменение экологической обстановки в областях развития современных промышленных производств, при наличии очевидной связи с заболеваниями населения, привело к значительной интенсификации исследований, посвящённых исследованию эволюции и картографированию именно антропогенных биогеохимических провинций (Касимов, 1995, 2013, Fordyce et al, 2005 и др.). Причем в большинстве случаев уровень возникшего загрязнения оценивался путем сравнения наблюдаемых средних значений с величиной глобального или регионального кларка (Ревич, Саэт, Смирнова, Сорокина, 1982; Саэт и др., 1983, 1990; Касимов, Власов, 2015).

На протяжении последних десятилетий XX века бурное развитие массовых методов химического анализа, формирование обширных баз данных и широкое внедрение разнообразных ГИС-технологий, позволило существенно расширить возможности геохимического картографирования. Были выпущены новые геохимические и биогеохимические атласы, дающие представление о региональной и локальной специфике распределения отдельных химических элементов в породах, почвах, отдельных почвенных горизонтах, разных видах растений, подтвердившие связь распространённости некоторых заболеваний с геохимическими условиями среды (Балтийский регион - Reimann et al., 1998; 2019; атлас Шотландии - Paterson, 2011; Geochemical Atlas of Australia, Whilford et al., 2011; Caritat, Reinmann, 2012; Geochemical Atlas of Sweden, 2014; Atlas of Endemic Diseases and Environment, 1989; Atlas of Soil Environmental Background Value in the People's Republic of China, 1994; Li, Xi, Xiao, 2014). При этом отдельные эколого-геохимические задачи, такие как, например, выявление природных и техногенных очагов микроэлементозов, стали решаться в рамках таких новых научных направлений, как медицинская география (Шошин, 1962; Жаворонков, Михалева, Авцын, 1999 и др.), географическая патология (Авцын, 1972, 1991) или медицинская геохимия (Steines, 2009; Medical Geochemistry: Geological Materials and Health, 2013).

Из-за отсутствия соответствующих научных школ биогеохимическое на-



правление научных исследований долго развивалось в основном в СССР – России, однако анализ наблюдаемых мировых тенденции геохимического изучения ноосферы указывает на очевидный рост научного интереса к данной проблеме, в том числе и за рубежом. Эколого-геохимические исследования начали активно проводиться в Европе Дж. Боррасом Бекон (Барселонский университет, Испания, Béch et al., 2011, 2014), А. Кабата-Пендиас (Польша, Kabata-Pendias, Pendias, 2001), А. Виоланте (2002), Б. де Виво (Университет Неаполя, Италия, de Vivo et al, 2018), Манфредом Анке (Германия, Anke, 1993; 2004). Интерес к проблеме проявляется также в Великобритании (Thornton, 2012), США (Adriano, 2001), Канаде (Fortescue, 1992), Китае (Гун Цзи Тун, Ляо Губао, 1999; Liu C.-Q et al., 2003) и др.

Однако, несмотря на широкое применение передовых геоинформационных методов, наличие значительного числа публикаций, посвященных частным задачам биогеохимического районирования и изучению новых эндемий геохимической природы, можно уверенно констатировать, что как в теоретическом, так и в методическом отношении принципиально новые подходы к решению базовых проблем геохимической экологии на данный момент в зарубежных исследованиях отсутствуют.

В этом отношении разработанные российскими и советскими учеными теоретические положения о специфике геохимической неоднородности биосферы не только имеют важное значение для понимания закономерностей биогеохимической эволюции видов, но и позволяют сделать новые шаги в понимании общих механизмов геохимической эволюции биосферы.

## Глава II ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРВИЧНОЙ БИОСФЕРЫ

Обладея высокой физиологической пластичностью, живое вещество всегда играло в биосфере двойную роль, участвуя одновременно и в создании, и в функционировании этой глобальной системы. Живые организмы одновременно выполняли в ней как функцию действующего агента, так и функцию чувствительного регулирующего элемента, способного за счет развитой системы обратных связей, менять как интенсивность, так и специфику функционирования общего механизма миграции. Так, повсеместное распространение богатых хлорофиллом зеленых растений способствовало поглощению более чем 90% длинноволновой (красной и инфракрасной) части солнечного излучения, что, в свою очередь, влекло за собой не только изменение общих характеристик планетного альбедо и температурного режима планеты, но закономерно меняло многие, связанные с ним показатели, в том числе и такие, как общее содержание и соотношение  $O_2$  и  $CO_2$  в атмосфере, содержание азота, фосфора и калия в почвах, соленость морской воды, цикл углерода и даже площади материковых оледенений.

### 2.1 Геохимическая дифференциация первичной биосферы

В пределах планеты резко неоднородными являются не только физико-географические условия. В разных природных зонах почвы, растения и животные существенно различаются между собой не только по внешнему виду, но и по химическому составу. Причиной являются даже не столько физико-химические условия протекания отдельных реакций или процессов, сколько специфика формирующихся в этих условиях биологических круговоротов, избирательно охватывающих миллиарды тонн различных химических элементов и формирующих слои биогенных горных пород иногда более чем километровой мощности. Э.М. Галимов писал: «собственно биосфера – не просто геологическая оболочка, являющаяся вместилищем жизни. Биосфера преобразует геологическую среду таким образом, что она приобретает свойства, которые она не имела бы в отсутствии жизни. Живое вещество порождает процессы, которые идут с необычайно высокой скоростью, в необычном направлении» (Галимов, 2007). При этом важнейшим результатом геологической деятельности биосферы является создание системы геохимических полей, отличающихся выраженной фрактальной организацией и специфической структурной упорядоченностью. В этом отношении В.И. Вернадский считал биосферу «особым геологическим телом», представляющим собой подлежащий исследованию материальный объект, строение и функции которого определяются базовыми параметрами нашей планеты, которая, в свою очередь, также представляет собой только часть окружающего космоса. Таким образом, очевидно, что структурная организация биосферы изначально не могла быть пространственно однородной, поскольку условия существования жизни (условия миграции химических элементов) в пределах этой системы всегда тоже были резко неоднородными.

Характерно, что, несмотря на наличие множества форм миграции, все они осуществляются под действием всего трех основных, но постоянно действующих факторов, одновременно определяющих иерархию всех геохимических систем биосферы. И хотя все эти факторы являются внешними по отношению к живому веществу, их одновременное воздействие имеет настолько специфическое пространственное простирание, что это позволяет производить районирование биосферы, выделяя в ней условно однородные участки как на глобальном, так и на локальном уровне организации.

**Первым** и главенствующим является, *астрономический (энергетический) фактор*, определяющий специфику взаимодействия внешнего источника энергии (Солнца) с поверхностью Земли и, соответственно, конфигурацию климатических зон. Под действием этого фактора на планете циклически осуществляются колоссальные по объему перемещения вещества и энергии, формирующие природные зоны с условно однородными (в рамках широтной и высотной зональности) условиями миграции химических элементов. В результате чего в разных частях планеты формировались схожие коры выветривания, схожий набор зональных почв и схожие комбинации растительных сообществ (степи, леса, тундры и т.д.).

**Вторым**, независимо существующим и тоже всеобъемлющим фактором, способным определять геохимическую неоднородность территории, является ее *геологическая история*, трактуемая как последовательность тектонических событий, имевших место на всем протяжении существования планеты. Под действием этого фактора исчезали и образовывались горные системы, происходили трансгрессии океанов и оледенений, формировались рудные тела, залежи нефти, многометровые толщи солевых отложений и т.п. Результатом действия этих процессов является наличие вертикальной зональности в горах, специфическая конфигурация границ минералогических и биогеохимических провинций, часто соответствующих ареалам распространения, например, таких сидерофильных и халькофильных (по В-М. Гольдшмидту) химических элементов, как железо, молибден, цинк, мышьяк, ртуть и др.

**Третьим**, также общепланетарным фактором геохимической дифференциации компонентов биосферы, является *гравитация*, под действием которой, осуществляется процесс вертикального и латерального перераспределения воды. Являясь одновременно и универсальным растворителем, и главным рабочим телом механизма миграции, вода непрерывно осуществляет на всей поверхности суши колоссальную работу по переносу вещества в элементарных ландшафтно-геохимических системах типа: вершина-склон-замыкающее понижение. Под действием этого фактора в пределах всех зон и провинций формируется повторяющаяся в пространстве, упорядоченная структура почвенного и растительного покрова, неизменно обладающая еще и специфической геохимической неоднородностью.

Биосфера, как объект, сформировавшийся в результате сочетанного воздействия всех этих разномасштабно проявляющихся факторов, закономерно обладает свойством пространственно упорядоченного фрактала, читающегося на уровне ее зональной, провинциальной и локальной структурной организации. Все эти иерархически упорядоченные уровни, отчетливо



отображаемые на тематических (геологических, почвенных и др.) картах, одновременно характеризуются и выраженной геохимической неоднородностью, поскольку в почвах тропических областей Земли специфическое соотношение тепла и влаги способствует аккумуляции хлоридов и карбонатов и, наоборот, в приполярных районах интенсивно способствует их выносу, что закономерно сказывается на величине приходно-расходных параметров БИК и, соответственно, ведет к формированию разных типов биоценозов, способных длительно поддерживать равновесное состояние каждой из названных систем.

Очевидно, что наличие в системе столь значимой первичной неоднородности не могло не сказаться на структуре и параметрах биологических сообществ, формируемых в ходе геологической эволюции этой системы. Таким образом, на планете сформировалась устойчивая система природных зон, регионов и провинций, которые, закономерно повторяясь в пространстве, существенно различаются между собой по ряду геохимических параметров. О размере такой гетерогенности свидетельствуют данные В.В. Ковальского, который констатировал, что содержание меди в разных почвах мира различается в 1500 раз, цинка в 1000 раз, в сотни раз различается содержание кобальта, бора, марганца, стронция, молибдена и других элементов. Зональная неоднородность прослеживается и в поверхностных водах суши: в них в 300 раз меняется содержанию кобальта, в 33 раза - бора, в 40 раз - меди и в 222 раза цинка (Ковальский, 1982).

Таким образом, *наблюдаемые геохимические различия биосферы закономерно пространственно упорядочены, имеют признаки фрактальной организации и являются как результатом, так и причиной эволюции зональных биоценозов. При этом в силу цикличности тектонических, седиментационных и климатических процессов, имевших место в ходе геологической истории, пространственная неоднородность химического состава биосферы в значительной мере отражает и изменения, произошедшие с ней во времени.*

## 2.2 Первичная биосфера как уравновешенная саморегулируемая система

В.И. Вернадский, а затем и А.П. Виноградов, в своих работах убедительно доказали справедливость утверждения о том, что, являясь результатом длительного взаимодействия со средой обитания, любой из существующих видов животных и растений не только приобретает геохимическое сродство с этой средой, но и должен быть максимально адаптирован к геохимическим условиям этой среды. Такая ситуация представляется не только логичной, но и единственно возможной, поскольку жизнь, которая по выражению Ф. Энгельса, *«ест способ существования белковых тел»* (Engels, 1878), может длительно существовать только в ничтожно узком, по космическим меркам, диапазоне физических и химических параметров, постоянно потребляя из окружающей среды жестко определенный набор химических элементов и соединений. В таких условиях, как сказал об этом академик Б.С. Соколов,

«наиболее удивительным является не сам факт возникновения [жизни], а факт неуничтожения возникшего» (Соколов, 1983). Вероятность того, что жизнь, однажды возникнув, могла случайным образом сохраняться в течение длительного времени практически равна нулю, во-первых, потому, что в замкнутой системе отдельной планеты ресурсы элементов минерального питания конечны при любом их начальном количестве, а, во-вторых, потому, что физико-химические параметры планеты регулярно подвергались и подвергаются значимым внешним и внутренним воздействиям.

Устойчивое существование жизни возможно только в том случае, если живое вещество, независимо от способа его возникновения, было способно так противостоять внешним воздействиям, что образовывало со своим субстратом эффективно работающую систему, способную функционировать в соответствии с принципом Ле-Шателье, согласно которому любое воздействие на уравновешенную систему должно вызывать в ней такую внутреннюю трансформацию, которая обеспечивает максимально быстрое восстановление нарушенного равновесия. Именно такую систему имел в виду В.А. Ковда, когда писал, о том, что нужно «понимать биосферу Земли как крайне сложную, многокомпонентную, общепланетарную, термодинамически открытую, саморегулирующуюся систему живого вещества и неживой материи, аккумулирующую состав и динамику земной коры, атмосферы и гидросферы» (Ковда, 1985).

Подчеркивая наличие системы круговоротов и важность сохранения баланса вещества в биосфере, В.И. Вернадский так характеризовал параметры этого процесса: «в каждый момент в биосфере существует  $n \cdot 10^{20}$  —  $n \cdot 10^{21}$  г живого вещества. Это вещество вечно разрушается и создается главным образом не ростом, а размножением. Поколения создаются в промежутках от десятков минут до сотен лет. Ими обновляется вещество, охваченное жизнью. То, которое находится в каждую минуту в наличности, составляет ничтожную долю созданного в году, так как колоссальные количества создаются и разрушаются даже в течение суток. Перед нами *динамическое равновесие*. Оно поддерживается трудно охватываемым мыслью количеством вещества. Очевидно, что даже в сутки создаются и разрушаются смертью, рождением, метаболизмом, ростом колоссальные массы живого вещества» (Вернадский, 2001).

Характерно, что утверждение о наличии именно динамического равновесия справедливо не только применительно ко всей массе вещества, участвующего в биологическом круговороте (БИКе), но и к объемам каждого из биогенов и микроэлементов, поскольку в любом местном биоценозе автоматические осуществлялся отбор и взаимная адаптация только тех видов, которые были способны длительно сохранять в местном круговороте достаточное количество абсолютно всех химических элементов и соединений, необходимых для оптимального существования местных биоценозов. А.П. Виноградов (1931), Н.П. Наумов (Наумов, 1964), Дж. Вудвелл (1972) и др. писали, что любое нарушение этого правила должно немедленно сказываться на численности отдельных видов и структуре растительных сообществ, что, в свою очередь, вело к быстрому восстановлению равновесия уже в соответствии с новым набором параметров БИК.

Таким образом, динамически уравновешенное состояние биосферы Зем-

ли, является абсолютным условием ее стабильного существования, которое физически обеспечивается функционированием круговорота воды, энергии и химических элементов, постоянно действующего в каждой точке пространства и обеспечивающего живому веществу непрерывное возобновление всего комплекса необходимых ему ресурсов.

Говоря о динамическом характере равновесия, наблюдаемого между живой и косной частями биосферы, В.И. Вернадский имел в виду тот факт, что в масштабах исторического времени параметры приходной и расходной части БИКа от цикла к циклу могли колебаться только вокруг точки равновесия, тогда как в геологическом масштабе времени направленно меняться могло уже и само положение этой точки. Благодаря этому, любой круговорот всегда оказывается в той или иной степени незамкнутым, а динамическая система биосферы, оставаясь перманентно стабильной, в то же время может испытывать определенный тренд, обеспечивающий, в том числе и геохимическую, эволюцию этой планетной системы. «Непрерывный обмен атомов в ходе геологического времени стремится к динамическому равновесию. Но это равновесие постоянно смещается по мере насыщения биосферы живым веществом, захвата им новых зон, общего усложнения биотического круговорота. В своем развитии биосфера никогда не возвращается по существу к прежнему состоянию» (Вернадский, 1937). Развивая эту мысль, В.В. Ковальский писал, что «Единство процессов жизни и геохимической среды является важнейшим условием, определяющим развитие, строение и функции биосферы - динамическое равновесие многолетних параметров приходной и расходной части БИК устанавливается применительно ко всем частям биосферы, несмотря на то, что абсолютные величины концентраций, относительно которых устанавливается данное равновесие могут различаться в десятки даже сотни раз» (Ковальский, 1979). Одновременно он считал, что организмы сохраняют нормальную жизнеспособность и сбалансированность всех своих физиологических и биохимических процессов только в пределах определенного диапазона геохимических условий. По его мнению, такого рода сбалансированность должна была физиологически обеспечиваться регуляторными механизмами и закрепляться генетически.

Вывод о наличии близкого к нулевому балансу вещества в биосфере справедлив и применительно к отдельным ее частям, поскольку он однозначно следует из предпосылки о том, что условно равновесное состояние является единственно возможным следствием закона Вернадского - Бауэра о «всюдности» и максимальной плотности жизни (Вернадский, 1926), что, безусловно, стимулировало предельно жесткую конкуренцию всех существующих видов за территорию, ограниченные ресурсы питания и свет на всей обитаемой поверхности планеты.

Представляя собой открытую термодинамическую систему, биосфера энергетически связана с окружающей ее космосом. В этом отношении функционирование общего механизма миграции, включая БИК, осуществляется главным образом за счет постоянно циркулирующих в ней потоков внутренней (тектоника) и внешней (Солнце) энергии, интенсивность которых не постоянна во времени. Такие изменения могли бы стать критическими для живого вещества биосферы, однако оно, как уже указывалось,

обладало важным свойством, благодаря которому любое изменение энергетического баланса немедленно вызывало адекватное изменение параметров БИК и таким образом вся система круговоротов располагала возможностями либо медленно (при эволюционном характере изменений), либо быстро (в случае катастрофических трансформаций) смещаться в сторону новой точки равновесия (Шноль, 1979; Титов, 1961). Характерно, что трансформации подвергалось не только само живое вещество, но и все связанные с ним элементы окружающей среды, включая климат и геохимические характеристики коры выветривания (Страхов, 1938; Польшов, 1934; Галимов, 2017).

Сказанное позволяет констатировать, что гармонизированное динамическое равновесие есть естественное состояние любой из стабильно существующих систем биосферы, выход из которого был возможен только на исторически ничтожный срок. При этом даже в тех случаях, когда речь шла об изменениях глобального масштаба и связанных с ними, например, оледенениями, скорость трансформации БИК всегда оставалась соразмерной скоростям, достаточным для сохранения зональных параметров динамического равновесия.

Таким образом, *глобальная система первичной биосферы, будучи саморегулируемой и сбалансированной в целом, одновременно должна была быть сбалансирована и в отдельных ее частях, причем применительно к любому из элементов, так или иначе участвующих в синтезе и круговороте живого вещества.*

## Глава III ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРВИЧНОЙ БИОСФЕРЫ

В процессе формирования Солнечной системы на Земле как на планете, специфически позиционированной по отношению к светилу, в какой-то момент возникли условия, пригодные для устойчивого существования белка, после чего на ней появилась органическая жизнь и относительно тонкий слой вещества, прилегающий к поверхности планеты, приобрел особые свойства, превратившись в биосферу. Этот момент обретения нового качества одновременно можно считать началом эпохи поступательной эволюции всей планетной системы.

### 3.1 Общие принципы геохимической эволюции первичной биосферы

Биосфера практически с момента возникновения уже должна была представлять собой достаточно сложноорганизованную систему, отдельные части которой по условию не могли существовать и развиваться автономно, эта система сразу начала функционировать как единый механизм, способный направленно трансформировать не только химическое, но и геологическое строение планеты.

Под действием этого механизма биосфера Земли прошла несколько циклов развития, неуклонно создавая все более сложные и совершенные формы жизни, одновременно формируя для каждого из возникающих сообществ все более комфортную среду обитания.

В 1928 году В.И. Вернадский, анализируя этапы развития биосферы, отметил и противоречие, возникающее между «материально-энергетической устойчивостью» биосферы и направленной эволюцией живого вещества, постоянно осуществляющейся в рамках этой системы. Разрешение данного противоречия позволило ему сделать ряд выводов, имеющих важнейшее значение для понимания сущности эволюционного процесса. Он писал по этому поводу: «Живое вещество охватывает и перестраивает все химические процессы биосферы, действенная его энергия по сравнению с энергией косного вещества... огромна. Живое вещество есть самая мощная геологическая сила, *растущая с ходом времени*» (Вернадский, 1965). При этом В.И. Вернадский настаивал именно на статистическом характере действия биогеохимических процессов в биосфере, когда писал в книге «Живое вещество»: «...жизнь выражается совместным действием отдельных организмов, их совокупностью. Мы в ней изучаем лишь статистические законы и обобщения, связанные с жизнью, а элементарным носителем эволюции выступает не особь, а сообщество организмов», и далее: «Статистическое представление о живом... проникает в дарвинизм и эволюционное мировоззрение. Это то значение, какое в них получает вид, заменяющий индивид» (Вернадский, 1927). Данный подход позволил ему сделать определяющий вывод о том, что «биогенная миграция эволюционного процесса в масшта-

бе исторического времени не меняется, но резко меняется в аспекте геологического времени» (Вернадский, 1965). Таким образом, устранялось возникшее противоречие и это одновременно означало признание того факта, что, *оставаясь стабильной и уравновешенной в историческом масштабе времени, иерархически организованная система первичной биосферы как в целом, так и в отдельных своих частях, постоянно и направленно трансформировалась как «геологическое тело».*

В основе этого вывода лежат три сформулированных В.И. Вернадским биогеохимических принципа, отражающих не только фундаментальные свойства живого вещества, но и общие законы его эволюции.

Биогенная миграция атомов биосфере постоянно стремится к своему максимальному проявлению.

Эволюция видов приводит к созданию все более геохимически активных форм жизни и идет в направлении, увеличивающем проявление биогенной миграции элементов.

В каждый период *именно геологического* времени «заселение планеты должно было быть максимально возможным для всего живого вещества, которое тогда существовало» (Вернадский, 2013).

Различая несколько направлений (областей проявления) эволюции биосферы, В.И. Вернадский указывал на то, что этот процесс неизменно сопровождается:

- 1) освоением новых зон обитания;
- 2) усилением биогенного воздействия на неорганические компоненты биосферы;
- 3) общим ускорением темпов миграции элементов;
- 4) появлением новых форм миграции и усложнением общей структуры БИК;
- 5) значительным усилением биогеохимических функций биосферы;
- 6) концентрацией биогенных энергоносителей в поверхностной оболочке Земли;
- 7) появлением новых направлений миграции элементов.

Подчеркивая уникальность земной биосферы, В.И. Вернадский указывал на то, что все изменения, произошедшие на планете под воздействием живого вещества, необратимы, будь то изменение химического состава геосфер, образование почв или формирование цивилизации. «Необратимость эволюционного процесса является проявлением характерного отличия живого вещества в геологической истории планеты от ее косных естественных тел и процессов... В косной среде биосферы нет необратимости» (Вернадский, 1991).

О том, что филогенез, как однонаправленный процесс внутренней дифференциации и развития биосферы, осуществлялся с ускорением, со всей очевидностью свидетельствует изменение продолжительности геологических эпох, трактуемых как этапы развития органической жизни в фанерозое. Так, если протерозой охватывал период 1600–2000 млн. лет, то палеозой - уже 289 млн., мезозой - 186 млн., а кайнозой - всего 56–66 млн. лет (Давиташвили, 1948).

Одновременно гипотеза О. Шиндевольфа (Schindewolf, 1950; Шинде-



вольф, 1975) о закономерно циклическом характере филогенеза, что он связывал с «возрастом» отдельных видов (рис. 3), на протяжении последних лет все больше и больше подтверждается данными палеонтологии.

Так, самые разные исследователи (Красилов, 2001; Веймарн, Найдин, Копяевич, и др., 1998; Татаринев, 1987; Пономаренко, 1984 и др.) выделяют в истории фанерозоя (называя разные причины) до 6 *массовых вымираний*, во время которых число видов растений и животных, обитающих на планете резко снижалось, теряя от 30 до 70% общего разнообразия. По истечении кризиса утраченное видовое разнообразие быстро восстанавливалось, но уже на более высоком уровне организации. Причем отмечено, что первыми исчезали виды наиболее крупных и узкоспециализированных животных, тогда как продолжение эволюции практически всегда обеспечивалось видами, имевшими на начальном этапе меньшие размеры, но более универсальную специализацию. Среди эволюционистов и палеонтологов это явление, почти не знающее палеонтологических исключений, получило название правила (закона) Копа – Дюпре.

Специфичными при этом оказываются и временные параметры эволюции, где действует правило циклического ускорения, в соответствии с которым по мере роста сложности и организации биосистем продолжительность существования отдельного вида в среднем сокращается, а темпы эволюции возрастают.

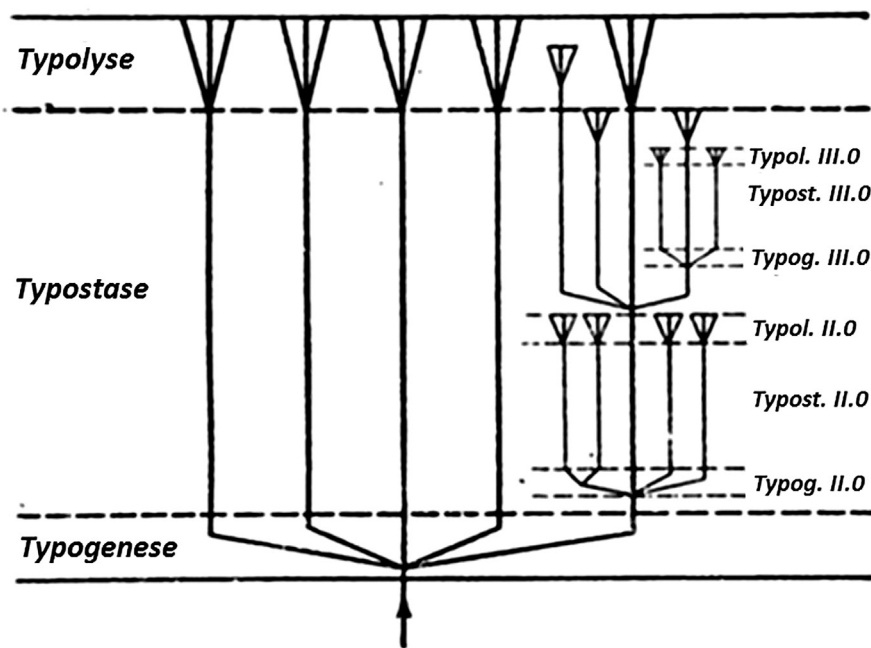


Рисунок 3 - Схема филогенетического разделения на фазы развития [организмов], правый ряд - фазы развития низшего порядка (Schindewolf, 1950)

Данное утверждение получило вполне убедительное подтверждение и в работах палеоботаников, констатировавших существование в девоне 12 тысяч видов растений, в пермо-триасе - 43 тысячи, 60 тысяч в юре и уже 300 тысяч в современной флоре (Wieland, 1929, цит. по А.Н. Криштофовичу, 1934).

В.И. Вернадский связывал эволюционный процесс со спецификой преодоления фундаментального противоречия, существующего между стремлением организмов к неограниченному размножению и недостатком возобновляемых материально-энергетических ресурсов, блокирующих это размножение. Противоположность этих двух тенденций констатировал еще Ч. Дарвин, который в 1859 году указывал, что такого рода постоянная «битва за пропитание» создавала во всех частях планеты обстановку предельно жесткой межвидовой и внутривидовой конкуренции, запускающей механизм естественного отбора, в ходе которого происходило генетическое закрепление все более и более прогрессивных форм жизни, сопряженное с формированием видов, способных к завоеванию новых территорий и использованию новых ресурсных возможностей (Ч. Дарвин, 1991).

В этом отношении В.И. Вернадский, рассматривая межвидовую и внутривидовую конкуренцию как важный фактор эволюции биосферы, существенно усовершенствовал и расширил представления Ч. Дарвина о борьбе за существование. «В природе, - писал В.И. Вернадский, - мы всегда имели биоценозы, сообщества, качественный состав которых и количество организмов регулируются борьбой за существование, приспособлением, явлениями солидарности и цепями жизни» (Вернадский, 1965). Таким образом, способность того или иного вида любым образом интенсифицировать биогенную миграцию стала важнейшим критерием естественного отбора. «Изменчивость жизни чрезвычайная... Все учитывается и все приспособляется с той же точностью, с той же механичностью и с тем же подчинением мере и гармонии, какую мы видим в стройных движениях небесных светил и начинаем видеть в системах атомов вещества...» (Вернадский, 2001). Позднее крупнейший американский эколог Барри Коммонер, излагая свои полупопуляционные «законы экологии», следующим образом сформулировал этот же вывод в своей книге «Замыкающийся круг» (Commoner, 1971): «Все в природе - от простых молекул до человека - прошло жесточайший конкурс на право существования. В настоящее время планету населяет лишь 1/1000 испытанных эволюцией видов растений и животных. Главный критерий этого эволюционного отбора - это вписанность в глобальный биотический круговорот и заполненность всех экологических ниш. У любого вещества, выработанного организмами, должен существовать разлагающий его фермент и все продукты распада должны вновь вовлекаться в БИК».

***Таким образом, движущей силой эволюции живого вещества выступала межвидовая конкуренция, обусловленная «постоянным давлением жизни», а ее следствием явилась направленная трансформация первичной биосферы.***

Из всего вышеприведенного следует неизбежный вывод о том, что вся, продолжающаяся 3,7 миллиарда лет, история эволюции биосферы представляла собой процесс ускоряющейся трансформации устойчивой системы, построенной на условно равновесном взаимодействии живого вещества с биокосным



субстратом. Причем в рамках данной системы субстрат выполнял пассивную средообразующую функцию, относительно медленно изменяя свой состав и структуру, тогда как живое вещество, в соответствии с теорией организации систем (Берталанфи, 1969), выполняло функцию активного компонента и, согласно закону самосохранения, стремилось всеми доступными средствами так противостоять внешнему воздействию, чтобы сохранить систему как целое. Физически данный процесс реализовался в виде трех уже упоминавшихся биогеохимических принципов В.И. Вернадского, в соответствии с которыми живому веществу генетически присуще стремление захватить максимально доступное пространство, приобрести максимальную массу и обеспечить максимальное проявление биогенной миграции химических элементов. При этом наличие пространственной неоднородности физическо-химических условий объективно способствовало запуску механизма эволюции и избирательной адаптации, что позволяло живому веществу направленно трансформироваться таким образом, чтобы обеспечить максимально быструю экспансию и реализацию названных принципов в любой точке ставшего доступным пространства. На практике это было достигнуто путем формирования постоянно увеличивающегося числа новых и все более специализированных видов, способных в больших объемах и с большей интенсивностью потреблять и преобразовывать вещество и энергию в биосфере.

Тот факт, что эволюция сопровождается ростом разнообразия в биологическом сообществе и усложнением структурной организации биосферы, В.И. Вернадский трактовал как «необходимое условие эволюции, повышающее ее целостность и степень автономности от космоса и от других геологических оболочек Земли» (Вернадский, 1965). При этом он подчеркивал, что на организменном уровне далеко не каждый вид живого вещества развивается именно в сторону ускорения метаболизма. Многие виды, например бактерий, и простейшие, оказались способными оставаться качественно неизменными в течение десятков и сотен миллионов лет, однако даже в ходе регрессивной эволюции того или иного вида эти изменения всегда сопровождалось значительным увеличением скорости размножения, закономерно увеличивая таким образом биогенную миграцию и усиливая преимущества этих видов в борьбе за существование. Тем более что, в соответствии с законом Гаузе, неизбежная гибель отдельных видов и даже видовых сообществ представляет собой не более чем процесс освобождения экологической ниши, которая в обязательном порядке должна быть заполнена максимально быстро.

В этом отношении появление каждого нового вида представляло собой этап в неуклонном поступательном освоении биосферы, так как диверсификационные процессы видообразования объективно повышали и общую адаптацию, и стойкость живого вещества к внешним воздействиям, одновременно увеличивая при этом интенсивность использования доступных ресурсов и повышая геохимическое разнообразие окружающей среды.

Доказательством существования таких процессов могут служить различия элементного состава, обнаруженные даже у близких подвидов. Например, «у четырех подвидов скальной ящерицы (*Lacerta saxicola*) различия по некоторым элементам больше видовых и даже родовых. Крымский подвид

(*L. saxicola lindholmii*) и нормальный подвид (*L. saxicola saxicola*) различаются по 11 элементам, крымский и западно-северокавказский (*L. saxicola darevskii*) — по 9 элементам. Сопоставление химического состава двух внутривидовых форм остромордой лягушки (*Rana arvalis*) показало, что пятнистая форма содержит марганца в 3,5 раз, хрома — в 5 раз, никеля — в 4 раза, цинка — в 6 раз, а стронция — в 2 раза больше, чем полосатая, но одновременно в организме пятнистой лягушки оказалось в 2 раза меньше железа». По мнению С.А. Шарыгина, повышенное содержание микроэлементов у пятнистой формы обеспечивает ее «лучшую приспособленность к горным условиям» (Шарыгин, 1982, 1984).

А.П. Виноградов (1945), анализируя реакцию живых организмов на смену геохимической обстановки, обнаружил, что изменения химического состава почвы по-разному переносят не только разные виды животных и растений, но разным уровнем толерантности обладают и даже одновозрастные представители одного вида. Выясняя причину, он установил, что различия внутривидовой стойкости зависят от того, из каких мест была заимствована та или иная популяция. Отсюда А.П. Виноградов сделал вывод о том, что внутри видов существуют наследственно закрепленные расы, несущие на себе отпечаток предшествующей геохимической истории, в результате чего наследственно закрепленной становится и потребность организмов в тех или иных химических элементах. Очевидным доказательством служит пример большинства высших животных умеренной зоны, способных безболезненно обходиться местным рационом, но сохранившим рудиментарную потребность в соли.

Несомненно, что живое вещество постоянно испытывало и внешнее физическое воздействие в виде колебаний активности солнечного излучения, тектоники, вулканизма, появления крупных оледенений и т.п. Все эти факторы, наряду с падением крупных метеоритов, непрерывно воздействовали на живое вещество биосферы, способствуя одновременно усложнению видового состава, увеличению генетически закрепленной стойкости отдельных видов и ускорению темпов ее поступательного развития (Виноградов, 1963; Будыко, 1977, 1980; Пресман, 1976; Красилов, 1977; Алексеева, 1977; Alvarez et al, 1979; Хохряков, 1981; Колчинский, 1990 и др.).

***Таким образом, направленная и непрерывно ускоряющаяся эволюция есть неотъемлемое свойство живого вещества, которое на протяжении всей своей истории функционировало в качестве чувствительного элемента и системообразующего компонента биосферы.***

Много нового в понимании связи процессов видообразования с общей эволюцией биосферы дали исследования в сфере геохимической экологии. В частности, С.С. Шварц, анализируя двустороннюю связь организмов со средой обитания, писал: «эволюция организмов приводит к изменению структуры биогеоценозов, а в конечном итоге и биосферы, так как свойства последней в значительной степени определяются слагающими ее биогеоценозами. Освоение новых зон жизни и овладение новыми ресурсами вещества и энергии всегда были следствием аргонных [многосторонних (*прим. автора*)] преобразований организмов. Появление полиареальных видов и широкие миграции млекопитающих, птиц, насекомых, рыб, головоногих обеспечивали усиление обмена веществом и энергией между различными

биогеоценозами. Тем самым первооснова глобального по своей сути процесса эволюции биосферы заключается в прогрессивных преобразованиях организмов» (Шварц, 1976).

Таким образом, являясь, вследствие действия экологических законов, единственно возможным результатом естественного отбора, каждый новый вид автоматически становится уникальным исполнителем определенного комплекса экологических и биогеохимических функций в экосистеме, из-за чего изъятие любого из них влечет за собой и перестройку структуры (иногда кардинальную) всего биоценоза. Аналогичные выводы следуют и из работ многих других исследователей (А.П. Виноградова (1960, 1963); В.В. Ковальского (1974); И.И. Шмальгаузена (1940, 1972); Н.П. Наумова (1964, 1967, 1972); С.С. Шварца, (1976); А.В. Яблокова, А.Г. Юсуфова (2006); Б.С. Соколова (1983, 1993) и И.С. Барскова (1989) и др.). В частности, М.М. Камшилов, писал об этом так: «Суммарная жизнедеятельность развивающихся видов организмов определяет особенности биосферы, которая в свою очередь обуславливает возможности выживания и направления эволюционных преобразований отдельных видов. Короче, направление эволюционных преобразований отдельных видов представляет собой функцию их положения в эволюционирующей биосфере» (Камшилов, 1974).

Характерно, что аналогичными по смыслу оказались и результаты чисто биологических исследований (Бей-Биенко, 1980; Ничипорович, 1973; Paulus, 1978; Wahlert, 1978; Вольскис, 1986 и др.), свидетельствующие о том, что появление новой группы растений – это очередной шаг к усовершенствованию использования солнечной энергии, а параллельное появление новых групп животных связано с совершенствованием механизма утилизации этой энергии.

Вопрос о наличии закономерной взаимообусловленности химического состава субстрата и существующего природного биоценоза был уже ранее рассмотрен в ходе анализа связи процессов эволюции неорганического мира с эволюцией видового состава биосферы. В данном случае необходимо только добавить, что степень приспособленности организмов определяет еще и такие параметры вида, как скорость роста и объемы продуцируемой им биомассы, «а, следовательно, и объем химических элементов, вовлекаемых ими в биотический круговорот. Поэтому наиболее адаптированные организмы, как обладающие большей геохимической энергией, играют и более важную роль в биогеохимических процессах биосферы» (Колчинский, 1990).

Данная мысль подтверждается и исследованиями Герда фон-Валерта (Wahlert, 1973, 1978), который, будучи профессиональным экологом, пишет, что «органическая эволюция – это, прежде всего, эволюция всей биосферы, в которую каждый вид вносит свой специфический вклад». Изучение преобразований таких параметров биосферы, как продуктивность, „энерговооруженность”, доступность минеральных веществ и их оборачиваемость в биогеохимических циклах, позволяет объяснить прогрессивную эволюцию одних организмов и сохранение на более низком уровне других (Wahlert, 1978).

Наличие безусловной связи химического состава почв с типом зонального биоценоза было выявлено и Н.П. Наумовым, который, анализируя экологическую значимость фактора геохимической неоднородности, пишет, что

«Даже в пределах биогеохимической провинции специфическое направление естественного отбора захватывает не отдельные популяции, а целые флоры и фауны данного региона. Необратимые изменения популяции, так или иначе, скажутся на биогеохимическом функционировании всего биогеоценоза. Поэтому изменение в химическом составе какого-либо вида представляет собой элемент общей биогеохимической эволюции биосферы» (Наумов, 1967).

Все вышесказанное позволяет сформулировать поддающуюся проверке гипотезу о том, что *эволюция видов на протяжении всей геологической истории была не только направлена в сторону максимального полного овладения всем доступным ресурсным потенциалом планеты, но и последовательно осуществлялась в сторону улучшения геохимических условий, обеспечивающих оптимальное существование каждого из эволюционирующих видов и биоценозов.*

Если справедливость данной гипотезы удастся убедительно доказать, то в этом случае должно быть верно и обратное утверждение – *присутствие абригенных биоценологических сообществ маркирует области распространения именно тех геохимических условий, которые являются исторически оптимальными для длительного существования именно тех видов и сообществ, которые были в настоящем виде сформированы в этих условиях.*

Подтверждение правоты данной гипотезы влечет за собой еще два важных следствия.

1. *Геохимическое изучение тех частей планеты, в которых сохранились условия, адекватные условиям ненарушенной биосферы, позволяет выявить набор параметров, характеризующих оптимальную среду обитания для всех исторически обитающих там видов животных и растений.*

2. *Возможность получения достоверной информации об оптимальных геохимических параметрах окружающей среды, позволяет использовать эти данные в качестве «нулевой точки отсчета», относительно которой не только может быть зафиксирован уровень последующей техногенной трансформации, но и достоверно определена мера наблюдаемого отклонения этих параметров в сторону избытка или недостатка тех или иных биологически значимых элементов, содержащихся в почве, воде и продуктах питания.*

Естественно, что проверка указанной гипотезы требует наличия неоспоримых аргументов, касающихся как свойств первичной биосферы, так и изменений, происходящих в биосфере по мере ее эволюции.

Таковыми аргументами, убедительно свидетельствующими о справедливости выдвинутой гипотезы применительно к условиям первичной биосферы, являются:

- перманентная геохимическая уравновешенность приходно-расходной части БИК;
- направленное улучшение условий геохимической комфортности в процессе филогенеза;
- постоянное соответствие геохимических параметров среды обитания физиологическим потребностям всех членов абригенного биоценоза на всех этапах существования.

Решение поставленной задачи напрямую касается изучения фундамен-

тальных основ биогеохимической эволюции биосферы, благодаря чему данная проблема хорошо обеспечена исследовательским материалом и во многих аспектах глубоко изучена трудами В.И. Вернадского, А.П. Виноградова, А.Е. Ферсмана, В.В. Ковальского, А.И. Перельмана, В.В. Добровольского, Э.И. Колчинского, О. Шиндевольфа, Ю. Одума, Г. Вальтера, Э.М. Галимова, В.Н. Сукачева, М.А. Федонкина, Б.С. Соколова, Э.С. Шноля, И.И. Шмальгаузена, С.С. Шварца и других крупных ученых. Однако при этом следует особо подчеркнуть, что важный вопрос изменения качества эколого-геохимической обстановки, имевшей место в процессе эволюции первичной биосферы, ни одним из этих авторов рассмотрен не был.

### **3.2 Биологический круговорот химических элементов как механизм оптимизации геохимического взаимодействия живого вещества со средой обитания**

Вся известная история фанерозоя однозначно указывает на то, что, несмотря на смену геологических эпох, характеризующихся существенными изменениями рельефа, климата, химического состава атмосферы и структуры почвенного покрова, экологическая обстановка в биосфере неуклонно менялась только в сторону улучшения условий миграции основных биогенных элементов, совершенствуя, таким образом, гармонию между живым веществом и геохимическими параметрами вмещающей его среды. При этом, с точки зрения теоретической экологии, вся биосфера Земли постоянно представляла собой систему взаимосвязанных экологических ниш, каждая из которых независимо от своих качественных особенностей должна была быть в обязательном порядке занята единственным конкурентно доминирующим видом, что жестко следует из первого закона В.И. Вернадского, правила обязательного заполнения экологических ниш и закона Гаузе о неизбежном вытеснении более слабых конкурентов. То есть, на протяжении всей геологической истории любая существующая ниша всегда занималась тем комплексом животных, растений и микроорганизмов, которые, исходя из спектра их экологических валентностей (термин Ю. Одума), оказались способными пройти все предшествующие фазы естественного отбора. «Движущими силами, регулирующими структуру, а следовательно, и эволюцию целых биоценозов, являются внутренние взаимоотношения между элементами биоценоза. В этом эволюционном процессе широкого масштаба перестраиваются постепенно флора и фауна... В основе всех этих преобразований лежит, однако, эволюция наиболее интегрированных систем...» (Шмальгаузен, 1968).

Результатом такой эволюции явилось состояние смещающегося динамического равновесия между объемами существующей биомассы и имеющимися ресурсами пространства, энергии и минерального питания. При этом находят все большее подтверждение и гипотеза о том, что все существующие биотопы проходят в своем развитии возрастные фазы, включающие длительный этап зрелого существования, короткий этап старости, знаменующий катастрофическим разрушением доминирующих биоценозов, и относительно короткий этап молодости, характеризующийся установлением нового равновесия, возникаю-



щего применительно к постоянно расширяющемуся набору продуцентов, консументов и редуцентов, которые на протяжении этого периода формируют новые экологические пирамиды и, в соответствии с правилом Р. Линдемана (рис. 4), обеспечивают сохранение в БИКе именно оптимальных объемов биогенных элементов (Северцов, 1934, 1951; Шиндевольф, 1975 и др.).

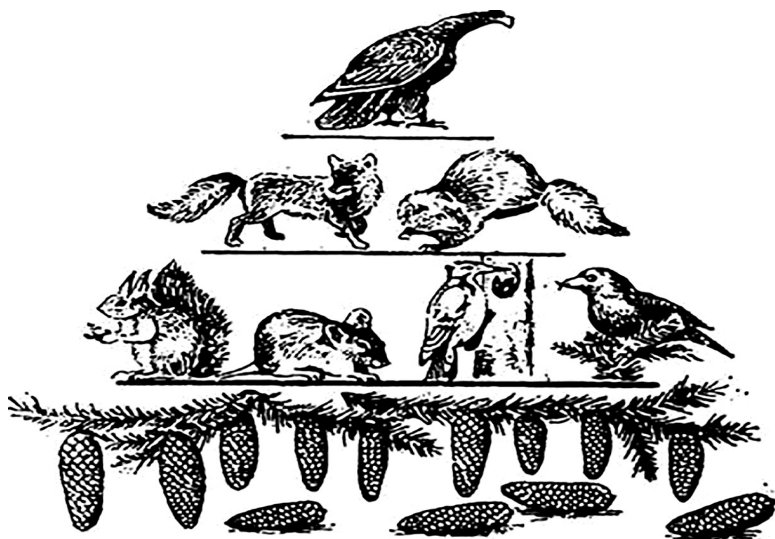


Рисунок 4 - Экологическая пирамида Р. Линдермана (по Г.А. Новикову, 1979)

В этом отношении В.И. Вернадский, который рассматривал проблему эволюции с геохимической точки зрения, считал, что каждый отдельный вид должен иметь не только биологическое, но и геохимическое определение, выражающееся через средний вес отдельных организмов, общий вес их совокупностей, средний элементный химический состав и отвечающую ему геохимическую энергию, которая проявляет себя в виде меры потенциальной способности вида к перемещению и превращению вещества в биосфере. В 1928 году он писал по этому поводу: «Увеличение независимости от прежних условий существования, освоение новых, более разнообразных условий (новых, более широких адаптивных зон), более широкая степень автономизации развития, возникновение все более совершенных регуляторов, все более полное овладение средой – вот возможные критерии для сравнения групп по пути неограниченного прогресса. Благодаря эволюции видов, непрерывно идущей и никогда не прекращающейся, резко меняется отражение живого вещества на окружающей среде. Благодаря этому процесс эволюции переносится в природные биокосные и биогенные тела, играющие основную роль в биосфере, в почвы, в наземные и подземные воды (в моря, в озера, реки и т.д.)» (Вернадский, 1977).

Совокупность приведенных фактов позволяет однозначно утверждать, что за те 3,7 миллиарда лет, на протяжении которых на планете существует жизнь, на ней не могло остаться территорий, не претерпевших существен-



ной биогенной трансформации, в ходе которой любая из них не была бы оптимально адаптирована к существованию определённого (в большинстве случаев зонального) биоценоза. При этом единственным исключением, однако подтверждающим справедливость данного правила, являются территории, физически не пригодные для длительного существования сложных форм белка, то есть переохлажденные территории центральной Гренландии и Антарктиды, вершины, достигающие высоты более 6000 метров, кратеры действующих вулканов, солончаки, асфальтные озера и т.п. Вся остальная территория, включающая арктическую тундру, термальные источники и глубоководные «черные курильщики» (Maslennikov et al, 2017) всегда представляла и продолжает представлять собой повторяющуюся в пространстве, иерархически организованную мозаику биоценозов, приуроченных к геохимически однородным территориям и поэтому маркируемая наличием биокосного субстрата совершенно определенного типа и вида.

Значимость данной палеогеохимической информации весьма велика, поскольку она дает все основания считать, что в условиях первичной биосферы ситуация, постоянно существовавшая на любой длительно заселенной территории, должна была постоянно являться оптимальной средой обитания для всех существовавших на данной территории биоценозов, включая первичные человеческие сообщества.

Этот же вывод дополнительно подтверждается и заключением Э.И. Колчинского, который, анализируя результат геохимической эволюции биосферы, писал о том, что живое вещество «не только смогло приобрести способность управлять обменом химических элементов со средой обитания, но и получило возможность постоянно поддерживать оптимальный для данного биоценоза баланс всех необходимых элементов минерального питания» (Колчинский, 1990).

Все вышесказанное позволяет сформулировать заключение о том, что *основой внутренней сбалансированности, гарантирующей устойчивость всех систем ненарушенной биосферы, являлось гармоничное сочетание зональных биоценозов с комплексом эколого-геохимических условий, идеально соответствующих длительному существованию именно этих биоценозов.*

Данный тезис, несомненно, справедлив по отношению к крупным зональным образованиям, существующим в геологическом масштабе времени. Однако утверждение о том, что наблюдаемые геохимические условия именно *всегда и везде* должны были представлять собой *именно оптимальный* субстрат для локально существующих биоценозов, требует более детальных и более обоснованных доказательств.

Предпосылки для этого очевидны, и первая из них состоит в том, что равномерный процесс направленной эволюции зональных биоценозов отнюдь не является единственно возможным состоянием отдельных систем биосферы, так как в природе регулярно имеют место локальные процессы, связанные с катастрофическим уничтожением (ветровал, торфяной пожар, вулканическое извержение и т.п.) не только всего набора существовавших биоценозов, но часто и порождающего субстрата, т. е. почвенного покрова. Вторая предпосылка состоит в том, что в ряде мест наблюдаемое разнообразие химического состава не только почв и пород, но также вод и растительности, способно выходить далеко за пределы зональных средних содержа-

ний, причем как в сторону выраженного недостатка таких важных биогенов как, например, йод или фосфор, так и в сторону явного избытка таких потенциальных токсикантов, как ртуть, кадмий или мышьяк.

Исследования ряда авторов (Геннадьев, 1990; Сочава, 1978; Hüttl, Weber, 2001; Мильков, 1973) показали, что первая из перечисленных предпосылок не состоятельна, поскольку действие таких естественных факторов трансформации субстрата, как затопление или пожар, в большинстве случаев представляет собой не более чем закономерную последовательность циклически повторяющихся событий, которые для большинства зональных биоценозов является не более чем нормальным проявлением обратимых сукцессионных смен, приводящих к достаточно быстрому восстановлению структуры ранее существовавших зональных биоценозов. Естественно, что в случае полного уничтожения почвенного покрова, например, вследствие материкового оледенения или вулканического извержения, полное возобновление может потребовать нескольких тысяч лет. Если же имело место уничтожение только биоты в результате нашествия саранчи, засухи, или наводнения, то восстановление зонального биоценоза займет не более нескольких десятков лет. В степях и тропиках такое самовосстановление по понятным причинам осуществлялся быстрее, в полярных районах медленнее, но сам процесс воспроизводства почвенного профиля идет параллельно с последовательной сменой биоценозов и всегда приводит к воспроизводству почв зонального типа аналогичных ранее существовавшим (Grant, 1977; Геннадьев, 1990). В рамках общей геологической эволюции практически любые нарушения динамического равновесия в отдельных частях биосферы представляют собой не более чем незначительные исключения из общего правила, поскольку такие события практически всегда имеют либо относительно малое разрешение в пространстве, как в случае с пожаром и наводнением, либо столь же малое разрешение во времени, как это бывает в случае с засухой или даже падением крупных метеоритов.

Вторая предпосылка, позволяющая предположить постоянное наличие неоптимальных геохимических обстановок в отдельных частях биосферы, обусловлена существованием локальных геохимических аномалий различной мощности, что в подавляющем большинстве случаев определяется составом вышедших на поверхность вод и горных пород. Как правило, эти породы отличаются резко повышенным содержанием сульфидов, тяжелых металлов или даже радиоактивных изотопов. Биологические эффекты, вызываемые воздействием повышенных концентраций таких соединений хорошо изучены и неоспоримы, однако в свете представлений о мере приспособляемости и генетической пластичности живого вещества, предположение об их тотальной и повсеместной токсичности всегда оказываются как минимум преувеличенными, о чем свидетельствует ряд убедительных примеров.

Так, в статье «К химическому познанию биосферы» А.П. Виноградов отмечал разные типы наследственно обусловленных реакций на изменения в содержании тех или иных элементов в почве. Одни организмы при значительных изменениях концентрации быстро погибали, тогда как другие популяции того же вида продолжали нормально развиваться. Отсюда А.П. Виноградов справедливо сделал вывод о том, что предшествующие

изменения геохимических факторов в свое время способствовали формированию ряда специфических внутривидовых популяций (морф), характеризующихся повышенной устойчивостью к внешним, в том числе и геохимическим воздействиям. Он писал по этому поводу. «Флора и фауна, шествуя в геологическом времени через ряд биогеохимических провинций, должны были подвергнуться отбору и измениться, и, в частности, изменить свой химический состав» (Виноградов, 1945).

Существование на таких территориях полноценных и густозаселенных биоценозов показывает, что постоянное «давление жизни» в сочетании с генетической пластичностью большинства стенобионтных (чувствительных к параметрам окружающей среды) видов практически всегда позволяет сформировать устойчивые зональные сообщества с таким уровнем приемлемости геохимических условий среды, который в ряде случаев способен противостоять даже тысячекратному превышению зональной средней величины. Хорошей иллюстрацией к данному утверждению служит наличие богатейшей фауны в зонах существования глубоководных «черных курильщиков», а также процветающие биоценозы озера Моно в Калифорнии (США), вода которого содержит мышьяк в концентрации 17 мг/л, что более чем в 1500 раз превышает ПДК по нормам ВОЗ, однако не мешает существованию там 35 популяций одних только птиц.

Таким образом, обе вышеприведенные предпосылки оказались полностью несостоятельными, поскольку доказано, что первичная биосфера на всем своем протяжении и на всех уровнях организации постоянно представляла собой закономерный результат направленной эволюции зональных и местных биоценозов, осуществляемой в условиях жесточайшей внутривидовой и межвидовой конкуренции, приводящей к неуклонному увеличению видового разнообразия и последовательному улучшению эколого-геохимических условий, обеспечивающих существование возрастающего числа биоценозов, включая специализированные сообщества, приспособленные к длительному существованию в условиях как значительного избытка потенциальных токсикантов, так и недостатка основных биогенов.

Все вышесказанное позволяет уверенно констатировать, что применительно к условиям первичной (ненарушенной) биосферы рассматриваемая гипотеза о способности местных биоценозов формировать и длительно поддерживать именно оптимальные условия своего существования, несомненно, верна, во-первых, в силу приведенных выше доказательств, а, во-вторых, в силу полного отсутствия каких-либо опровергающих примеров.

Одновременно можно считать решенным и вопрос об определении того набора параметров, которые могут служить критерием геохимически оптимальной обстановки для любого из существующих видов животных и растений. Этим критерием должна являться именно **та геохимическая обстановка, в условиях которой данный вид был сформирован и существовал до момента возникновения ноосферы.**

### 3.3 О невозможности длительного существования эндемических заболеваний геохимической природы в условиях первичной биосферы

Ранее уже указывалось, что качество эколого-геохимической обстановки определяется параметрами концентрации основных биогенных элементов в среде обитания того или иного вида, причем базовые представления о нормативных характеристиках содержания этих элементов были сформулированы А.П. Виноградовым в форме учения о биогеохимических провинциях. Позднее эти нормативы были уточнены в многочисленных работах В.В. Ковальского, К.И. Лукашова, М.И. Густуна, В.С. Чебаевской, Ю.И. Раецкой, Р.И. Блохиной, Я.М. Берзиня, М.А. Риша, А.П. Авцына, А.А. Жаворонкова, А.М. Хакимовой, В.Л. Сусликова и др. В результате на территории бывшего СССР были выявлены особые зоны (провинции), характеризующиеся недостатком кобальта, провоцирующего у животных эндемичный авитаминоз  $V_{12}$ , провинции с недостатком меди, обуславливающей анемию, йод-дефицитные провинции, в которых существовала опасность появления эндемичного зоба, провинции, переобогащенные бором, молибденом, фтором и т.д. Позднее В.В. Ковальским были выявлены провинции, характеризующиеся дефицитом двух и более элементов, а также провинции, в которых выраженный недостаток одного элемента сочетался с избытком другого (Ковальский, 1974, 1982).

Легко заметить, что результаты этих работ находятся в очевидном противоречии с содержанием предыдущих разделов данной главы, из которых однозначно следует вывод, о том, что биосфера, на протяжении всего своего существования направленно эволюционировала исключительно в сторону улучшения тех геохимических параметров качества, которые обеспечивали оптимальное существование всех зональных биоценозов, и, если эволюция действительно способствовала дальнейшему развитию и максимальному воспроизводству живого вещества, продолжение этого процесса объективно должно было исключать саму возможность существования биогеохимических провинций, длительно характеризующихся неблагоприятной геохимической обстановкой.

Таким образом, имеет место парадокс, который объективно может быть преодолен либо путем введения широкого набора исключений из ранее сформулированных правил, либо путем доказательства несостоятельности одной из высказанных и хорошо аргументированных точек зрения.

Поиск причин обнаружившегося логического противоречия следует начать с определения понятия «биогеохимические провинции», которые А.П. Виноградов предлагал рассматривать как «*области на поверхности Земли, различающиеся по содержанию (в их почвах, водах и т.п.) элементов (или соединений), с которыми связаны определенные биологические реакции со стороны местной флоры и фауны*» (Виноградов, БСЭ, 1970). Несмотря на то, что данное определение широко распространено, при ближайшем рассмотрении в нем обнаруживаются значительные смысловые противоречия. Во-первых, практически все «области на поверхности Земли» в силу совершенно естественных причин должны различаться и различаются меж-

ду собой «по содержанию (в их почвах, водах и т.п.) элементов (или соединений)»; и, во-вторых, наличие «определенных биологических реакций» на содержание тех или иных элементов (или соединений) являются естественным и неотъемлемым свойством, абсолютно всех живых организмов, причем обитающих не только «на поверхности Земли», но и, например, в гидросфере или педосфере. Кроме того, благодаря отсутствию каких-либо пространственно-временных ограничений, под это определение формально попадает абсолютно все разнообразие наблюдаемых геохимических ситуаций, что в процитированном виде делало его практически неприменимым для распознавания или пространственного позиционирования сколько-нибудь конкретных природных объектов. Возможно, что по этой причине В.В. Ковальским и несколько позднее В.В. Ермаковым этому объекту было дано более конкретное определение. «Биогеохимическая провинция – единица биогеохимического районирования в составе субрегионов биосферы, характеризующаяся определёнными уровнями содержания и соотношения химических элементов, а также устойчивыми специфическими реакциями организмов на них (эндемические заболевания, мутации и др.)» (цитируется по статье В.В. Ермакова в Большой Российской Энциклопедии (2005) со ссылкой на работу В.В. Ковальского (1974)).

В литературе встречаются и более конкретные определения, которые по смыслу могут быть сведены к следующей обобщенной формулировке: биогеохимические провинции представляют собой локальные участки биосферы, в пределах которых содержание любого из химических элементов или соединений в почвах, водах или растительности настолько значительно отличается в большую или меньшую сторону от местного среднего значения (кларка), что это способно вызывать заметные патологические реакции у живых организмов, длительно присутствовавших на данной территории.

По смыслу все эти формулировки не только тождественны исходному определению А.П. Виноградова биогеохимических провинций как ареалов проявления биогеохимических эндемий (Виноградов, 1938), но и имеют вид бесспорного аксиоматичного утверждения, тем более что такой подход дает возможность отображать на картах реально наблюдаемую эколого-геохимическую обстановку, характеризующуюся, например, массовым распространением зоба у обитающих в Андах индейцев, выраженной локализации очагов Уровской болезни, «молибденовой подагры» и т.п. Однако в данном случае все же имеет место логическая передержка, аналогичная той, когда бесспорная констатация одного из состояний объекта автоматически подменяется утверждением о наличии общего свойства, безусловно присущего всем объектам данного класса. Важно заметить, что в результате таких, казалось бы, незначительных логических преувеличений возникает возможность недопустимо широкого истолкования внешне бесспорных утверждений, что, в свою очередь, ведет к значительным смысловым ошибкам. Применительно к рассматриваемой проблеме это означает, что даже безусловно доказанные факты связи уровня заболеваемости с концентрацией элемента, наблюдаемой в местных почвах или продуктах, еще не могут безусловно свидетельствовать о том, что *всегда и везде верно обратное*. То есть о том, что наличие определенных значений концентрации в обяза-



тельном порядке должно повсеместно сопровождаться изменением уровня заболеваемости. В данном случае имеет место попытка необоснованного возведения частного случая в ранг общей закономерности, а предположение о том, что такая закономерность все-таки существует, представляет собой не более чем гипотезу, нуждающуюся в серьезных доказательствах, хотя бы потому, что ее бездоказательное принятие имеет своим прямым следствием утверждение о наличии постоянной качественной разнородности природной среды, что объективно должно свидетельствовать о присутствии в ней «плохих» и «хороших» выделов.

Проверяемая гипотеза может быть сформулирована в следующем виде. *Поскольку в условиях ненарушенной биосферы повсеместно и постоянно имели место существенные различия геохимических условий, сопровождающиеся как положительным, так и отрицательным отклонением от зонального среднего содержания (кларка), наличие таких явлений неизбежно должно было сопровождаться изменением качества эколого-геохимической обстановки и, соответственно, проявлять себя присутствием специфических эндемических заболеваний.*

Несмотря на то, что приведенная гипотеза внешне выглядит весьма убедительно, при непосредственном анализе она опровергается с позиции сразу нескольких строго научных подходов.

1. Предложенная гипотеза не выдерживает критики с точки зрения общеметафизических представлений о биосфере, поскольку в данном случае она базируется на очевидно антропоцентрической предпосылке о качественных различиях, генетически присущих отдельным частям этой крупной природной системы. Однако биосфера заведомо представляет собой целостную систему, в которой в принципе не может быть ничего лишнего, и отдельные компоненты которой не могут функционировать самостоятельно, «как не могут самостоятельно летать отдельные части даже хорошего самолета» (Медников, 1980). Поэтому любое качественно-оценочное деление компонентов саморегулируемой системы, например, на «хорошие» и «плохие», неправомерно, так как это неизбежно предполагает скрытое приписывание ей не только внеприродных свойств, но и внешних по отношению к ней целей.

2. Практически все территории, представляющие собой геохимические аномалии природного генезиса, такие как, например, выходы киновари, арсенопирита, торийсодержащих моноцитов или известняка, имеют чрезвычайно длительные сроки существования, измеряемые десятками тысяч и даже миллионами лет. На протяжении такого времени эти территории, согласно правилу обязательного заполнения экологических ниш, должны были быть освоены живым веществом благодаря способности организмов к геохимической адаптации.

Действенность данного экологического правила наглядно подтверждается отсутствием на планете природных «геохимических пустынь» и – наоборот – богатейшей фауной уже упоминавшихся «черных курильщиков», которые на 50–60% состоят из ядовитого сульфида цинка, а вода вокруг них содержит «тяжелые металлы» и другие соединения в заведомо смертельных для всей остальной биоты концентрациях (Wirth, 2017). Аналогичным доказательством может служить и наличие полноценных зональных биоце-



нозов, существующих в условиях выявленных месторождений ртути, цинка, железа или урана. Приведенные факты убедительно доказывают тезис о том, что адаптационные способности живого вещества, направленные на занятие им самых разнообразных экологических ниш, в подавляющем большинстве случаев значительно превышают параметры почти любых природных геохимических аномалий, что на протяжении всей геологической истории позволяло ему создавать полноценные биоценозы практически во всем разнообразии природных геохимических обстановок.

3. Науке не известен ни один пример длительного существования естественного биоценоза, целиком заселенного хоть сколько-либо большими особями. Более того, существование любой неоптимизированной биосферной системы невозможно по причине жесточайшей межвидовой конкуренции, поскольку любой, хоть сколько-нибудь ослабленный биоценоз должен быть немедленно разрушен и замещен на протяжении существования одного-двух поколений. Это неизбежно хотя бы потому, что уровень «давления жизни» в природе настолько высок, что возможность продолжить воспроизводство часто реализуется одной универсально приспособленной особью из тысяч, а иногда и из миллионов претендующих.

4. Процесс эволюции любых частей биосферы является двусторонним: биота, приспосабливаясь к параметрам субстрата, меняет и сам субстрат, последовательно снижая при этом уровень геохимической контрастности наблюдаемых аномалий, формируя соответствующие зональные почвы и биоценозы. Таким образом, уровень выраженности неоднородностей, как правило, обратно пропорционален времени их существования.

5. Факт значительного превышения регионального среднего значения концентрации представляет собой достаточно редкое локальное явление, а формирование новой геохимической аномалии, например, по мере выхода на поверхность резко обогащенного мышьяком пласта породы, представляет собой не более чем процесс формирования новой экологической ниши, к тому же окруженной со всех сторон нормальными зональными биоценозами. Очевидно, что эта ниша в обязательном порядке будет занята либо путем последовательной адаптации местных видов, либо путем внешней экспансии, о чем сам А.П. Виноградов писал в 1963 году, выделяя три типа процессов, активизирующихся в виде реакций организмов на изменение геохимических условий среды: 1) естественный отбор форм, оказавшихся способными выжить в условиях новой для них биогеохимической обстановки; 2) появление ненаследственных адаптивных изменений у выживших; 3) формирование генетически адаптированных новых рас, подвидов и видов. Очевидно, что логическим следствием реализации этих процессов должна явиться не только полная адаптация видов, подвергшихся геохимическому воздействию, но и полная ликвидация данной провинции как области проявления эндемических заболеваний геохимической природы.

6. Общее разнообразие экстремальных геохимических обстановок, наблюдаемых на планете, не только конечно, но и настолько невелико, что в ходе смены геологических эпох должно было, повторяясь, зафиксироваться в генетическом коде большинства зональных видов в качестве, например, «спящих» генов, позволяющих им эффективно противостоять широкому

спектру внешних геохимических воздействий. Доказательством наличия защитных механизмов такого рода служат, например, результаты опытов С. Прага (Prat, 1934), который на примере смолевки обыкновенной, произрастающей на рудных отвалах, показал, что толерантность популяции данного вида к токсичным концентрациям «тяжелых» металлов является его генетически закрепленным свойством, что позволило этому виду быстро сформировать новую расу, способную к произрастанию в аномальных условиях. Позже эксперименты А. Брэдшоу (Bradshaw, 1971, 1984) в горнодобывающих районах показали, что и ряд других зональных видов (полевица, воробьиный щавель, подорожник) также быстро образуют наследственно закрепленные расы, способные к нормальному существованию в условиях, летальных для других рас тех же видов. При этом был проанализирован механизм и определены временные параметры самовосстановления популяций в геохимически экстремальных условиях. Первоначально из 1000 растений *Agrostis tenuis* выжили только 3, которых, однако, оказалось достаточно для того, чтобы положить начало новой жизнеспособной популяции. Это позволяет сделать вывод о том, что целевые защитные реакции, приобретенные в ходе предшествующих этапов эволюции вида, сохраняются в генетическом коде отдельных представителей вида и могут быть оперативно реализованы путем активации защитных механизмов, сохраненных в геноме в виде так называемых «спящих генов», что позволяет нивелировать даже явно запредельное геохимическое воздействие на протяжении сукцессионной смены трех-четырех поколений. Данный вывод целиком подтверждается результатами работ Д.А. Кривоуцкогo (1983) и А.Д. Покаржевского (1985) по геохимическому воздействию на позвоночных, опытами С.В. Летуновой (1978) с отдельными штаммами микроорганизмов, а также материалами А.П. Виноградова и В.В. Ковальского, которые характеризуют гетерогенность наземных и морских популяций.

7. Сам по себе факт наличия в пределах экосистемы локальных источников даже запредельно токсичных соединений, в виде ядовитых газов, жидкостей или растений, не может явиться причиной гибели или даже значимого ослабления биоценоза, поскольку аборигенные виды являются составной частью местной экосистемы и обладают врожденной способностью различать и однозначно идентифицировать приемлемые ингредиенты в структуре своих пищевых цепей, причем случаи исключения из этого правила предельно редки, непродолжительны и связаны исключительно с появлением новых токсикантов.

8. Продолжение предложенной логики о связи химического состава субстрата с качеством среды обитания неизбежно приводит к заключению о том, что биосфера всегда была переполнена самыми разнообразными геохимическими провинциями, не пригодными для обитания большинства существующих видов животных и растений. Так, тайга не может существовать на пустынных солончаках, пресноводные лягушки поголовно гибнут в морской воде, пальмы не способны расти на подзоле и т.п. Таким образом, в качестве экологически опасных геохимических провинций могут выступать целые природные зоны, геохимические условия в которых гарантированно вызывают не только заболевания, но и 100% гибель всех стенобионтных ви-

дов животных и растений, адаптированных к другим зональным условиям.

Совокупность приведенных аргументов однозначно свидетельствует о том, что выдвинутая гипотеза о наличии безусловной связи между геохимическими характеристиками окружающей среды и вероятностью возникновения устойчивых зон эндемизма не находит подтверждения применительно к условиям первичной биосферы и убедительно отвергается как противоречащая большому количеству самых разнообразных фактов и объективных природных закономерностей.

Однако одновременно следует признать и то, что полученный вывод неизбежно противоречит множеству других бесспорных фактов, не менее убедительно доказывающих геохимическую природу значительного числа объективно наблюдаемых эндемических заболеваний.

Таким образом, несмотря на то, что два очевидно правильных утверждения одновременно выглядят взаимоисключающими, в данном случае имеет место все же ложный парадокс, поскольку существует объективная возможность согласованно интерпретировать все изложенные факты и исчерпывающе объяснить возникающие противоречия.

Более того, можно констатировать и тот факт, что, выстраивая свою формулировку биогеохимической провинции, А.П. Виноградов не совершал серьезной смысловой ошибки, поскольку указанные противоречия возникают только при сопоставлении явлений, *разнесенных между собой во времени*. То есть, полученные выводы были реально справедливы *везде, но не всегда*.

Объяснение данного парадокса состоит в том, что, абсолютно все случаи известных эндемических заболеваний природного генезиса были зафиксированы исключительно применительно к людям, к домашним видам животных и к культурным растениям. Причем, во всех случаях речь идет только об особях, сознательно переселяемых в условия, экологически и геохимически не соответствующие параметрам их исходной генетической адаптации. В частности, когда в 1801 г. Александр фон Гумбольдт (Humboldt, 1807, 1810) обнаружил, что не только индейцы, но и домашние животные (овцы и крупный рогатый скот) в горных областях Перу в 3 раза чаще поражаются эндемическим зобом, чем соседние обитатели равнин, он при этом не зафиксировал ни одного случая заболевания зобом у диких животных. Более того, случаи проявления этого заболевания на протяжении последующих 200 лет не были выявлены не только у местных южноамериканских обезьян, но и у каких-либо других диких животных, где бы то ни было, хотя у домашних животных, в том числе собак и кошек, это заболевание выявляется весьма часто.

Причина возникновения указанного парадокса состоит в том, что сопоставлялись два качественно разных состояния окружающей среды: ненарушенная первичная биосфера и ее качественно новое состояние - ноосфера. Именно поэтому, если в условиях саморегулируемой и целиком управляемой природными законами первичной (ненарушенной) биосферы могли иметь место не более чем кратковременные эпизоды заболеваний геохимической природы, такие как, например, отравления динозавров диоксидами при вулканических извержениях, то в условиях ноосферы эти заболевания уже являлись прямым следствием осмысленных действий человека, сознательно нарушающего природные закономерности.

Из сказанного следует важный вывод о том, что *эндемические заболевания геохимической природы не имели значимых предпосылок существования в условиях ненарушенной биосферы, и их появление явилось прямым следствием развития человеческой цивилизации как геологической силы, нарушившей функционирование природных механизмов саморегуляции и самоорганизации в результате тотального расселения, трансформации сложившихся биогеохимических круговоротов и загрязнения окружающей среды.*

Верными, таким образом, оказываются обе выдвинутые гипотезы, однако, во избежание возможных ошибок, существующее определение биогеохимической провинции следует уточнить и сформулировать его следующим образом.

*Биогеохимические провинции представляют собой участки современной ноосферы, в пределах которых содержание любого из химических элементов или соединений в почвах, водах или растительности настолько значительно отличается в большую или меньшую сторону от регионального среднего значения (кларка), что способно вызывать патологические реакции у людей и любых других интродуцированных видов, искусственно включенных в местные пищевые цепи.*

Уточненное определение вполне можно было бы считать законченно правильным, если бы сам А.П. Виноградов в 1963 году, помимо природных, не выделил еще и техногенные геохимические провинции, создаваемые уже непосредственно людьми и способные оказывать геохимическое воздействие на абсолютно весь набор живых организмов, присутствующих на данной территории.

## Глава IV СОВРЕМЕННАЯ НООСФЕРА И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ

### 4.1 Разум как причина качественного изменения первичной биосферы

В статье «Автотрофность человечества» В.И. Вернадский писал: «В биосфере существует великая геологическая, быть может, космическая сила, ... [которая] не может быть во всяком случае просто и ясно выражена в форме известных нам видов энергии... Эта сила есть разум человека, устремленная и организованная воля его, как существа общественного» (Вернадский, 1980).

Однако разум, выраженный в форме осознанной коллективной воли, не был изначально присущ живому веществу, а явился закономерным следствием его направленной эволюции (по Дж. Дану – цефализации). С того момента, когда сумма преимуществ, предварительно накопленных путем последовательного усложнения приспособительных функций, перешла в новое качество и позволила виду *Homo sapiens* преодолеть уровень ограничений, непреложно обязательных для всех остальных видов животных, в истории биосферы осуществился качественный переход, знаменующий завершение этапа ее самопроизвольного развития.

Такой переход не означал немедленных изменений структуры биосферы, но свидетельствовал о глубоком изменении способа ее функционирования – механизма взаимодействия между идеально «пригнанными» элементами этой системы. В результате биосфера, развивающаяся ранее под воздействием только природных законов, перестала быть полностью саморегулируемой и самоорганизующейся системой и таким образом перешла в новое качество, став ноосферой.

Назвав в 1936 году ноосферу «сферой действия разума», В.И. Вернадский в разное время дал еще несколько определений и трактовок этого чрезвычайно широкого понятия, характеризуя его с точки зрения геохимии, общего естествознания и философии науки. При этом он практически никогда не рассматривал ноосферу как виртуально-идеологическую конструкцию, но видел в ней вполне конкретный, материальный объект, характеризующийся структурой, объемом, химическим составом и сроками существования.

Создавший ноосферу человек, благодаря способности накапливать, коллективно использовать и передавать большие объемы разнообразной информации, приобрел не только решающее преимущество по отношению к другим животным, но и получил возможность более интенсивно эксплуатировать все доступные ему ресурсы, нарушая при этом сложившуюся систему уравновешенных круговоротов и функционирование механизма саморегуляции. В.И. Вернадский констатировал: «Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни ...». «Лик планеты – биосфера – химически резко меняется человеком сознательно и главным образом бессознательно. Меняется

человеком физически и химически воздушная оболочка суши, все ее природные воды... Сверх того, человеком создаются новые виды и расы животных и растений» (Вернадский, 1944, цит. по: Вернадский, 1980).

Таким образом, современная ноосфера, как закономерный результат эволюции биосферы, представляет собой качественно новое состояние этой системы. Различия между предшествующим и последующим состояниями могут быть выявлены только путем их взаимного сопоставления, а поскольку одной из главных задач данной работы является анализ изменений эколого-геохимической обстановки, связанный с этим качественным переходом, то в качестве репрезентативного эталона сравнения, может выступать только первичная планетная биосфера, как саморегулируемая система, находящаяся на том уровне развития, на котором она находилась к моменту появления разума.

Принимая во внимание наличие в литературе большого числа часто противоречивых определений понятия «ноосфера», во избежание возможных смысловых разночтений и ни в коем случае не посягая на приоритет В.И. Вернадского, автор считает целесообразным привести собственное определение этого объекта, параметры которого будут анализироваться в дальнейшем.

В качестве ноосферы Земли рассматривается *та часть географической оболочки планеты, которая представляет собой среду обитания Homo sapiens, и которая в любом виде и в любом объеме претерпела изменения в результате воздействия цивилизации.* При этом биосфера (первичная биосфера) по отношению к ней рассматривается в качестве порождающей субстанции, но имеет иные пространственные границы. Временной границей ноосферы, как «последнего из многих состояний эволюции биосферы в геологической истории» (Вернадский, 1944, цит. по 1980) условно является первый момент появления разума на уровне самосознания, что дает основание, считать временем возникновения ноосферы нижнюю границу палеолита – 2,5 млн лет назад.

При этом очевидно, что сознательное поведение представителей всего одного из сотен тысяч биологических видов имело для биосферы значительное число далеко идущих, в том числе экологических и геохимических, следствий.

Так, например:

- кардинально изменилась поведенческая и биосферная функция не только самого человека, но и ряда сопутствующих видов животных и растений;
- несоразмерно увеличились темпы и пространственно-временные масштабы эволюционных изменений;
- для абсолютного большинства видов крупных животных изменились условия существования и параметры среды обитания;
- в масштабах природных зон существенно изменился видовой состав и структура зональных биоценозов;
- нарушилось функционирование механизма саморегуляции;
- изменилась скорость круговоротов и специфика функционирования механизмов миграции ряда химических элементов и соединений;
- изменился химический состав и структура многих компонентов биосферы;
- появилось значительное количество ксенобиотиков, изотопов и даже химических элементов (нептуний, плутоний, технеций), не су-



- существовавших в условиях первичной биосферы;
- трансформировались структура и химический состав пищевых цепей и рационов;
- изменилась структура и параметры ряда биологических круговоротов в части их замкнутости, объема и интенсивности.

В этих условиях сопоставление геохимических характеристик ноосферы с аналогичными параметрами первичной биосферы дает уникальную возможность определить не только направленность, но и темпы происходящих эволюционных изменений, что принципиально важно для точной оценки эколого-геохимического состояния ноосферы, находящейся на современном этапе ее развития.

## 4.2 Основные тенденции изменения геохимической структуры ноосферы

К началу XX столетия ноосфера приобрела, по словам В.И. Вернадского, черты «вселенскости» (Вернадский, 1977). В результате на протяжении геологически ничтожного времени геохимическая обстановка на планете не только перестала быть фактором, лимитирующим физическую доступность пространства, но и подверглась серьезному изменению в ряде таких важнейших компонентов как, воздух вода, почва и качество продуктов питания. Одновременно обнаружился и тот факт, что техногенно трансформированная среда, в свою очередь, воздействует на организмы, находящиеся в этой среде. Причем это воздействие далеко не всегда оказывается ожидаемым и положительным.

По мере развития цивилизации создание качественно новых природно-технических систем стало явлением повсеместным, грандиозным по масштабам и опасным по своим последствиям. Так, ежегодный мировой объем генерируемых твердых отходов на данный момент оценивается в 20-30 млрд т, промышленно выпускается до 1 млн различных ксенобиотиков, ранее не существовавших в природной среде, в почву ежегодно вносится порядка 100 млн т минеральных удобрений и еще более 500 000 т потенциальных токсикантов в виде гербицидов и инсектицидов. За один год в мире добывается около 100 млрд т минерального сырья, освоено и изменено 56% поверхности суши, ежегодно в водоемы сбрасывается около 600 млрд т промышленных стоков, требующих 12-15-кратного разбавления для их нейтрализации. Неудивительно, что на фоне постоянно ускоряющегося роста народонаселения сохранение данной тенденции поставило природную среду на грань глобального экологического кризиса, признаваемого практически всеми учеными мира (Лосев и др., 2001; Трофимов, Зилинг, 2002 ; Осипов, 2017).

Аналогичный комплекс проблем всецело присущ и современной России. В настоящее время на предприятиях горнодобывающей, металлургической, химической и других отраслей РФ ежегодно образуется около 7 млрд т отходов, из которых используется лишь 2 млрд т, в связи с чем в отвалах к началу XXI века накоплено более 80 млрд тонн только твердых отходов, наибольшее количество которых получено при добыче и обогащении сырья. Так, на территории бывшего СССР только в 1985 г. объем вскрышных пород и отходов обогаще-

ния составил соответственно 3100 и 1200 млн м<sup>3</sup>, а выход шлаков в металлургической промышленности составил 79,7 млн тонн, причем при производстве цветных металлов выход измельченных хвостов на одну тонну концентрата составляет от 30 до 100 тонн, а на одну тонну готовой продукции образуется еще от 1 до 8 тонн шлаков, шламов и других отходов (Добровольский 1990, 2006; Козлов и др., 2000).

Складывающаяся экологическая ситуация закономерно приводит к росту заболеваемости, что не может не вызывать озабоченности ряда важнейших правительственных и международных организаций. Принятыми мерами по контролю за состоянием воды, качеством продуктов, а также путем ограничения объемов и снижения концентрации выбросов, остроту ряда эколого-геохимических проблем удалось снять, однако только один современный город с населением 1 млн человек продолжает в среднем расходовать в сутки около 2000 тонн пищевых продуктов, 625 000 тонн воды, тысячи тонн каменного угля, нефти, газа и продуктов их переработки. Причем за одни сутки такой город сбрасывает 500 000 тонн сточных вод, 2 000 тонн мусора и сотни тонн различных газообразных соединений, неизбежно порождая все новые и новые экологические проблемы (Klein, 1992).

Главной особенностью современного этапа развития цивилизации является целенаправленная и практически повсеместная трансформация всех систем исходной биосферы. Эта трансформация, поначалу затронувшая больше биологическую составляющую биосферы, в настоящее время активно распространяется и на ее биокосную составляющую. Происходит интенсивное уничтожение лесов, распашка и мелиорация значительных территорий, что сопровождается значительными выбросами ксенобиотиков в виде ПАУ, ПХДФ, ПХБ и т.п. Влияние хозяйственной деятельности иногда становится настолько существенным, что приводит к быстрому формированию специфических зон эндемизма, охватывающих сотни тысяч, а иногда, как в случае катастрофы на Чернобыльской АЭС или на АЭС Фукусима-1, и миллионы квадратных километров.

Некоторое представление о соотношениях мощностей природных и антропогенных потоков миграции вещества в ноосфере дает таблица 2, приведенная В.А. Ковдой еще в 1976 году.

Таблица 2 - Соотношение мощностей природных и антропогенных потоков миграции (Ковда, 1976)

Биомасса суши в т.	$3 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{13}$
Годичный фотосинтез на суше	$10^6 - 10^9$
- с учетом азота	$10^{10}$
Годичный сток рек (в т растворенного вещества)	$3 \cdot 10^9$
- взвешенное вещество	$1,6 \cdot 10^{10}$
Годичное производство удобрений (в туках) т	$3 \cdot 10^8$
Пыль индустриальная, т/год	$2,5 \cdot 10^8$
Мусор, отходы, отбросы, т/год	$2 \cdot 10^{10}$
Выемка рудных пород, т/год	$5 \cdot 10^9$
Индустриальные и городские сбросные воды в м <sup>3</sup> /год	до $5,5 \cdot 10^{12}$
Аэрозоли и газовые выбросы, т/год	до $10^9$

Антропогенные изменения затронули и многие аспекты системной

организации биосферы, что вызвало серьезное беспокойство ряда крупных ученых и нашло отражение в известных работах «Римского клуба» (Пестель, 1988; Forrester, 1971; D.H. and D.L. Meadows, 1973, 2004). Однако, несмотря на большое количество и разнообразие наблюдаемых антропогенных изменений, специфика складывающейся ситуации состоит в том, что даже совокупные возможности человечества в подавляющем большинстве случаев пока еще не соразмерны объемам вещества и энергии, вовлекаемым в природные круговороты.

### **4.3 Этапы формирования ноосферы и возникновение эндемических заболеваний геохимической природы**

Результаты исследований, полученные экологами и медиками на протяжении последних десятилетий, не оставляют сомнения в том, что последствия техногенных геохимических воздействий на окружающую среду достигли такого масштаба, что на Земле практически не осталось геосистем, не испытывающих той или иной антропогенной нагрузки. В связи с этим существенно возрастает значимость научной информации о параметрах и темпах такого рода воздействия.

Это обусловлено, во-первых, тотальным доминированием только одного биологического вида (человека); во-вторых, коренным изменением рационов питания и параметров существующих пищевых цепей (что справедливо в том числе и для диких видов животных); в-третьих, тотальным вовлечением в биологические круговороты ряда ксенобиотиков и токсичных соединений в количествах, нарушающих естественные процессы обмена веществ в живых организмах. Результатом столь мощного и бесконтрольного вмешательства в систему сложившихся круговоротов закономерно явилось широкое распространение ряда отрицательных биологических эффектов, проявляющихся в виде новых эндемических патологий, в увеличении тяжести протекания соматических заболеваний, а иногда и в виде пищевых отравлений.

Главной особенностью современной ноосферы явилось резкое изменение объемов и способов использования ресурсного потенциала планеты. Вид *Homo sapiens* смог аккумулировать настолько большое количество конкурентных преимуществ, что получил способность удовлетворять свои потребности вопреки действию природных законов, обязательных для всех остальных видов животных. Однако это совершенно не значило того, что человек перестал находиться под действием этих законов.

Одна из ключевых идей, лежащих в основе теории В.И. Вернадского о ноосфере, заключается в том, что человек, несмотря на свое возросшее могущество, никогда не являлся абсолютно самостоятельным живым существом. Он сосуществует внутри природы и является частью ее. Это единство обусловлено, прежде всего, функциональной неразрывностью окружающей среды и человека, который, в том числе и геохимически, постоянно связан с ней через воду, воздух и продукты питания. То есть, даже занимая в ходе эволюции все более лидирующие позиции и приобретая все большую биосферную значимость, человек продолжал и продолжает оставаться за-

висимым компонентом ноосферы, существование которого обеспечивается стабильностью, во всяком случае, базовых параметров этой системы.

Характерной особенностью развития ноосферы явились высокая скорость и широкие масштабы происходящих изменений, совершенно не сопоставимые с параметрами эволюционных процессов, имевших место на протяжении предшествующих геологических эпох. Изменения, происходившие ранее за миллионы, а иногда и десятки миллионов лет, теперь стали осуществляться на протяжении столетий и даже меньших периодов времени.

Однако и в этом случае биогеохимическая эволюция ноосферы насчитывает несколько этапов, в ходе которых первичная биосфера претерпела ряд последовательных эколого-геохимических трансформаций, по мере которых предки современного человека сначала стали доминирующим видом, затем расселились по всей поверхности планеты и только потом смогли приступить к ее масштабному техногенному преобразованию. Важной особенностью является то, что на протяжении каждого из этих этапов человек, как неотъемлемая часть ноосферы, по-разному реагировал и по-разному противостоял комплексу возникающих геохимических воздействий.

Сначала он за относительно короткий срок (2 миллиона лет - палеолит) смог стать универсальным потребителем и адаптировался практически ко всему разнообразию зональных геохимических обстановок. Затем он научился выживать в геохимически неоптимальных условиях (мезолит), и, наконец, сам начал, во многом бессознательно, формировать для себя новые (в том числе и геохимические) условия проживания (неолит). Появление таких возможностей было обусловлено не только стремительным развитием структурно-функциональной организации мозга, но и наличием биогенетических способностей к ускоренной адаптации (Darlington, 1969; Diamond, 1992).

*Первый* – палеолитический этап становления ноосферы, характеризовался тем, что в ходе перманентного накопления дополнительных конкурентных преимуществ, получаемых человеком в результате разумного коллективного существования, *Homo sapiens* постепенно приобрел возможность комплексно адаптироваться почти ко всему многообразию существующих природных условий. На протяжении этого периода он, мало воздействуя на сложившуюся систему круговоротов, освоил и начал использовать максимально широкую кормовую базу, став одновременно и универсальным потребителем, и доминирующим компонентом биосферы. В соответствии с правилом Вернадского-Бауэра это изменение закономерно спровоцировало ускоренный рост популяции и таким образом стимулировало экспансию предков современного человека в пределы практически всех природных зон и геохимических провинций, несмотря на то, что скорость такой экспансии на тот момент все еще жестко лимитировалась способностью вида адаптироваться к новым условиям питания и проживания. Естественно, что *Homo sapiens* и в этом случае был не свободен от межвидовой и внутривидовой конкуренции, в связи с чем существование человека как вида, группы или отдельной особи постоянно осуществлялось на пределе доступных возможностей выживания. В этих условиях только получение новых конкурентных преимуществ позволяло сделать новый шаг в расселении. Так, например, заселение Австралии, Океании и северных пространств стало возможным



только после овладения огнем, искусством мореплавания, а также новыми приемами охоты и рыболовства (Diamond, 1992).

Относительно быстро заселяя целые природные зоны, человек осваивал и новые экологические ниши, но, как показывают карты расположения обнаруженных палеолитических стоянок, на этом этапе развития человек был еще не способен постоянно проживать во всем диапазоне имеющихся геохимических обстановок (рис. 5).

Конкуренция и фактор естественного отбора продолжали действовать эффективно, способствуя формированию новых рас и подвидов, но отдельные территории еще должны были оставаться незаселенными, так как наличие значимого эндемического заболевания вроде эндемического зоба, цинги или болезни Кашина-Бека делало длительное пребывание людей на территориях с неоптимальными геохимическими условиями абсолютно невозможным, поскольку наличие любого хронического заболевания катастрофически снижало шансы на выживание, как для отдельных особей, так и для значительных групп мигрантов.

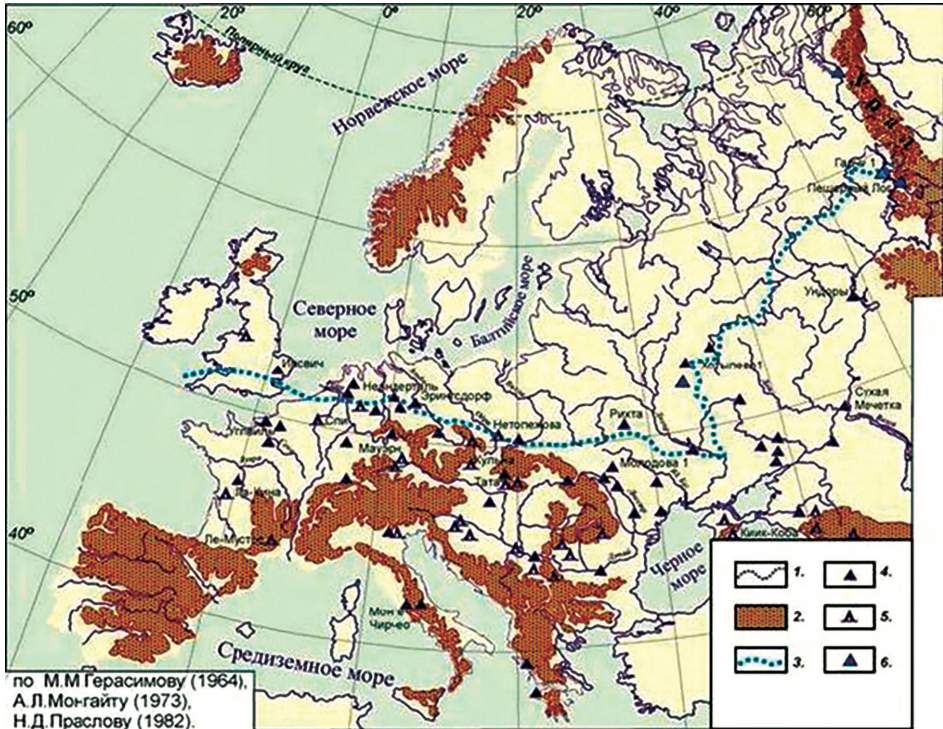


Рисунок 5 - Распространение мустьерских памятников на территории Европы. 1 – границы бореальной трансгрессии, 2 – горные территории, 3 – граница распространения максимального оледенения (рисского-заале-днепровского), Мустьерские стоянки: 4 – открытые, 5 – пещерные, 6 – местонахождения (<https://profilib.com/chtenie/128595/kollektiv-avtorov-stroenie-i-istoriya-razvitiya-litosfery-125.php>)

И.И. Шмальгаузен писал по этому поводу в своей книге «Факторы эволюции» (1968): «Борьба за существование связана всегда с уничтожением менее жизненных, менее приспособленных особей (элиминация), уничтожением целых популяций, видов, устаревших форм организации (вымирание). С другой стороны, та же борьба за существование связана с переживанием в потомстве, т. е. выдвиганием более приспособленных особей (отбор), видов и органических форм в результате их индивидуального и межгруппового соревнования. Наконец, и взаимное вытеснение и перераспределение видов в пространстве и во времени, в биоценозах, в фаунах и флорах является выражением того же межгруппового соревнования» (Шмальгаузен, 1968).

Таким образом, на начальном этапе формирования ноосферы могли иметь место не более чем отдельные случаи заболеваний геохимической природы, но существование устойчивых зон эндемизма представляется маловероятным, что подтверждается и многочисленными работами палеонтологов, в частности исследованиями А.П. Бужиловой, анализировавшей причины смерти и палеопатологии древнего человека. В результате детального изучения большого числа человеческих останков она констатировала: «На примере древних гоминид видно, что в эпоху плейстоцена уровень маркеров физиологического стресса минимален и приближается к случайному распределению значений» (Бужилова, 2001). Аналогичные результаты также получены Д.Г. Рохлиным (Рохлин, 1953) и другими исследователями, которые, проанализировав достаточно большее количество разнообразных костных останков палеолитического возраста, не смогли получить ни одного достоверного доказательства наличия каких-либо эндемических заболеваний (Osborn, 1910). Отметим также, что, согласно Eaton and Konner (1985) (со ссылкой на Pilbeam, 1984), генетическое строение человека мало изменилось за последние 40 тысяч лет, с. 283).

*Второй* этап, условно соответствующий мезолиту и неолиту, связан с первым в истории экологическим кризисом и последующим за ним качественным переходом, когда доминирующий вид, завершив заселение всех пригодных для проживания территорий планеты, приступил к их регулярной эксплуатации с использованием искусственно созданных орудий труда и охоты. На этом этапе возникает кочевое скотоводство, земледелие и в корне изменяется тип питания. Человек начинает заметно трансформировать структуру природных биоценозов и значимо влиять на механизмы функционирования систем первичной биосферы. В результате в масштабах целых природных зон начинает быстро изменяться структура и видовой состав растений и животных, что на рубеже мезолита и неолита привело к кризису перенаселения, обусловленному тотальным истощением пищевой базы. Совершенствование орудий и методов охоты, наряду с широким применением огня, привело к быстрому и почти полному исчезновению многих крупных животных и связанных с ними хищников: мамонтов, мастодонтов, шерстистых носорогов, овцебыков, диких лошадей, европейских зубров, туров, пещерных медведей, саблезубых тигров и других животных, останки которых иногда в количествах, превышающих тысячи и даже десятки тысяч особей, обнаруживаются в местах стоянок людей того времени. Н.Ф. Реймерс (1994) описал этот процесс так: «Экологический кризис – это



напряженное состояние взаимоотношений между человечеством и природой, характеризующееся несоответствием развития производительных сил и производственных отношений в человеческом обществе с ресурсно-экологическими возможностями биосферы». Результатом кризиса явилось не только многократное сокращение численности *Homo sapiens*, но и значительное изменение структуры его пищевых цепей, выразившихся в массовом переходе от охоты к собирательству, кочевому скотоводству и оседлому земледелию (Childe, 1935, Bowles, 2000).

Возникший кризис был преодолен, рост популяции продолжился, а еще более обострившаяся внутривидовая конкуренция за пищевые уголья привела к тому, что перемещение людей начало происходить в гораздо больших количествах и на этот раз уже со скоростями, многократно превышающими скорости, необходимые для биологической адаптации вида к местным природным условиям. Однако это переселение уже осуществлялось популяциями, стоящими на значительно более высоком уровне социально-экономического развития, что давало виду *Homo sapiens* ряд дополнительных преимуществ и значимо сказалось на его общей способности активно противостоять внешним воздействиям. Благодаря этому у вида появилась возможность длительного существования на территории таких геохимических провинций, в которых концентрации необходимых биогеофакторов и токсикантов уже значимо выходили за пределы адаптационных возможностей вида.

На этом этапе человек, как активный носитель цивилизации, впервые столкнулся с проявлениями пространственно выраженных эндемий природного генезиса, обусловленных главным образом воздействием чисто геохимических факторов.

Из вышесказанного следует, что возникновение первых эндемий и формирование биогеохимических провинций, в пределах которых значительная часть населения действительно могла страдать от заболеваний геохимической природы, по времени должно быть приурочено именно к началу неогена, то есть к срокам отступления последнего оледенения. Причем речь в первую очередь может идти о естественно-природных провинциях преимущественно зонального типа с выраженным дефицитом аскорбиновой кислоты (см. Eaton and Konner, 1985), железа (см. Underwood, 2001), йода, фтора, селена (см. Jackson, 1982) или, наоборот, значимым избытком бора, стронция или бария (Ковальский, 1974 и др.).

*Третий этап*, продолжающийся последние 300-350 лет, соответствует началу первой промышленной революции и новому этапу развития цивилизации, убедительно продемонстрировавшей ее способность быстро и резко менять качество окружающей среды на достаточно больших территориях. Возводя города и распахивая колоссальные площади степей и бывших лесов, человек начинает рассматривать как среду своего собственного обитания всю планету, одновременно трансформируя и геохимическую обстановку в этой среде. Причем это преобразование осуществляется настолько интенсивно, что на поверхности исторически сложившихся химических структур биосферы в настоящее время уже формируются новые геохимические районы и провинции с ранее неизвестными эколого-геохимическими свойствами (Mellars, Stringer, 1989).

Этому этапу соответствует современное состояние ноосферы, для которого характерны:

- быстрый рост численности населения и увеличение продолжительности жизни;
- резкое изменение конфигурации зон расселения многих видов животных и растений;
- неконтролируемое нарастание объемов и темпов миграции ряда химических элементов и соединений;
- появление в окружающей среде значительного количества ксенобиотиков (химических веществ, несвойственных природным круговоротам);
- изменение рациона питания и механизма геохимического взаимодействия людей со средой своего обитания;
- значимое нарушение сложившейся системы круговоротов и общей сбалансированности систем первичной биосферы.

В условиях ненарушенной биосферы скорости трансформации таких базовых факторов миграции, как астрономические характеристики светила, крупные тектонические движения или формирование осадочного чехла всегда были несопоставимы со скоростью, необходимой для трансформации живого вещества. Благодаря этому биосфера всегда имела ресурс времени, достаточный для адаптации даже к таким явлениям, как изменение климата в условиях глобального оледенения, и при этом обладала еще и значительным запасом прочности, которого вполне хватало для быстрого восстановления системы, например, после падения крупных метеоритов, мощных вулканических извержений и т.п. природных катастроф. Биокосное вещество в этой динамически уравновешенной системе выполняло пассивную (средообразующую) функцию, тогда как собственно биомасса играла активную роль чувствительного элемента и трансформирующего агента, обеспечивая эволюцию и формируя современную систему природно-климатических зон, регионов, эдафических рядов, почвенных выделов и т. д.

Основное отличие ноосферы от первичной биосферы состоит в разбалансировке природного механизма саморегуляции и формировании целой системы неконтролируемых и незамкнутых круговоротов различного объема и интенсивности, что, при сохранении существующих тенденций, неизбежно влечет за собой значительные эколого-геохимические последствия. А так как трансформациям подверглась именно предельно оптимизированная среда обитания, то в подавляющем большинстве случаев происходящие изменения должны были оказаться отрицательными.

## Глава V ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ НООСФЕРЫ

### 5.1 Эколого-геохимическая функция почвенного покрова и проблема индикации оптимальной среды обитания аборигенных биоценозов

Из содержания предыдущих глав следует, что единственным методически корректным подходом, позволяющим осуществить объективную оценку эколого-геохимического состояния объектов современной ноосферы, является возможность сопоставления наблюдаемого состояния этих объектов с параметрами геохимического оптимума, для чего предварительно требуется знать эти параметры. В данном случае речь идет об определении параметров первичного геохимического фона, свойственного состоянию первичной ненарушенной биосферы. При этом понятие геохимического фона рассматривается как выверенная характеристика определенного материального объекта, в качестве которого может выступать, например, литосфера или растительный покров, но в данном случае в качестве эталона сравнения предпочтительнее использовать геохимические параметры почвенного покрова, представляющего собой непосредственный результат длительного взаимодействия биокосного субстрата с живым веществом биосферы.

Пространственная неоднородность почвенного покрова была охарактеризована в трудах таких основоположников современного почвоведения как В.В. Докучаев, П.С. Коссович, С.С. Неуструев, Д.Н. Прянишников и др. Ими было установлено, что „химический состав элементов биосферы - почв, природных вод, организмов - обнаруживает географическую неоднородность и носит мозаичный характер” (Ковальский, 1963). По мнению В.Н. Сукачева, подобная „мозаичность биосферы и есть следствие того, что химизм природных явлений, связанных с ней, отражает ее сложение из различных биогеоценозов” (Сукачев, 1964).

Фундаментальное заключение о роли почвы в биологическом круговороте дал один из ведущих экологов-эволюционистов - М.М. Камшилов, который, характеризуя общий процесс эволюции биосферы, постоянно подчеркивал, что в ходе эволюции биосферы именно структура почвенного покрова всегда наиболее наглядно отображала пространственные особенности взаимодействия субстрата с живым веществом: «Наличие исходной пространственной неоднородности не только привело к формированию специфических эколого-геохимических зон и провинций, но и к формированию специфически адаптированных к этим условиям биоценозов, образующих на поверхности Земли единую мозаику почвенных разновидностей, представляющих для них экологически оптимизированный субстрат» (Камшилов, 1974).

В геохимическом отношении наблюдаемая структура почвенного покрова закономерно неоднородна и также является прямым результатом длительного взаимодействия БИК с подстилающим субстратом. Эта мысль следует

из работ многих выдающихся исследователей (В.В. Докучаев, Н.М. Сибирцев, Г.Н. Высоцкий, С.С. Неуструев, М.А. Глазовская, А.И. Перельман, Г.В. Добровольский, В.М. Фридланд, В.А. Ковда, Т.А. Романова, А.Н. Геннадьев, Ф.Я. Сапрыкин и др.). Их трудами было убедительно показано, что морфометрические и химические характеристики почвы отражают ее происхождение и историю формирования.

Перечисленные предпосылки позволяют сформулировать важную гипотезу о том, что современная почва обладает способностью длительное время сохранять в неизменности свои, в том числе и геохимические, характеристики, благодаря чему, ненарушенная зональная почва представляет собой исторически зафиксированный «отпечаток» деятельности биоценозов первичной биосферы, изначально существовавших в пределах исследуемой территории.

Репрезентативное доказательство справедливости этой гипотезы позволяет получить подходы к определению количественных геохимических характеристик первичной биосферы и дает возможность сделать важный шаг на пути к разработке методики и решению важнейших проблем геохимической экологии.

Еще в конце XIX В.В. Докучаев, иллюстрируя сущность генетического почвоведения, сформулировал тезис о том, что почва – «есть зеркало природы» (Докучаев, 1994). Позже, вслед за Л.С Бергом, С.В. Калесником, Б.Б. Полыновым, Л.О. Карпачевский назвал педосферу «зеркалом ландшафта» (Карпачевский, 1983), геоботаник В.Н. Сукачев - результатом «совокупности на определенном участке земной поверхности однородных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира, мира микроорганизмов, грунтов и гидрологических условий)», а почвовед-эколог Г.В. Добровольский «связующим звеном биологического и геологического круговорота вещества в наземных биоценозах» (Добровольский, 2006). Таким образом, представители разных научных направлений практически единогласно констатировали один и тот же факт, заключающийся в том, что в любой точке суши почва представляет собой интегральный результат взаимодействия всего комплекса природных условий, а наблюдаемая неоднородность структуры почвенного покрова и есть закономерный результат неоднородности этих условий, трактуемых в данном случае как факторы почвообразования.

В.В. Докучаев в 1883 году выделил 5 таких факторов: климат, подстилающие горные породы (материнская порода), организмы, рельеф и время, а в 1910 году его ученик С.С. Неуструев, пытаясь объяснить высокую сложность пространственной организации почвенного покрова степей и полупустынь, обратил внимание на неодинаковый уровень контрастности наблюдаемых различий. Из этого он сделал вывод о том, что главным фактором дифференциации является рельеф, в меньшей мере, породы и еще в меньшей – климат (Неуструев, 1910, 1977). Продолжая эту работу, А.Н. Розанов в 1951 году констатировал наличие иерархической (по сути фрактальной) пространственной организации структуры почвенного покрова и особо выделил тот факт, что специфические особенности пространственно-временной организации присущи и факторам, определяющим характер эволюции

этой структуры. По мнению А.Н. Розанова, эволюция почв одновременно осуществлялась в рамках большого, малого и геологического циклов почвообразования (Розанов, 1951). Несколько позже эту же идею развил И.П. Герасимов, выделив 3 группы факторов почвообразования: автометаморфоз (постоянно наблюдаемое саморазвитие отдельных почвенных контуров в рамках местного комплекса условий миграции), параметаморфоз (внешние изменения, способные оказать воздействие на осуществление всего комплекса местных процессов, участвующих в автометаморфозе) и геологическую историю Земли (Герасимов, 1968).

Следствием одновременного воздействия разных групп факторов является наблюдаемая неоднородность структуры почвенного покрова, которая на локальном уровне организации представляет собой относительно стабильный во времени и закономерно повторяющийся в пространстве результат действия однотипного набора факторов автометаморфоза, осложненного, в свою очередь, воздействием таких факторов параметаморфоза, как специфика геологического субстрата (на уровне региона) и климата (на уровне природной зоны).

Несмотря на то что в мире сейчас насчитывается не менее полутора десятков различных почвенных классификаций, подавляющее большинство из реально применяемых и разработанных являются именно генетическими. Результаты работ К.Д. Глинки, В.Р. Вильямса, С.С. Неуструева, П.С. Коссовича, В.А. Ковды, А.А. Роде, Л.И. Прасолова, М.А. Глазовской, В.М. Фридланда, Т.А. Романовой и др., полученные в рамках именно таких классификаций, показывают, что наблюдаемая структура почвенного покрова на уровне типа обусловлена спецификой проявления гидроморфизма в рельефе, разнообразии почвенных комбинаций на уровне рода увеличивается за счет разнообразия почвообразующих пород, а на уровне зоны дифференциация осуществляется по мере изменения таких базовых параметров климата, как среднегодовая температура и количество осадков. То есть – в предельно упрощенном виде – ненарушенную структуру почвенного покрова можно интерпретировать как результат функционирования однотипного механизма перераспределения воды и разных форм химических элементов в системе вершина-склон-замыкающее понижение, осложняемый воздействием комплекса внешних факторов, имеющих не только специфическое региональное простиранье, но и специфическую пространственно-временную динамику.

В этих условиях важнейшее значение имеет действие биогенного фактора автометаморфоза, проявляющегося в форме адекватного биоценоза и соответствующего биологического круговорота, параметры которого должны быть оптимально адаптированными к физико-химическим условиям миграции биогенных элементов. Специфичность данного фактора состоит в том, что, являясь наиболее динамичным и зависимым элементом системы педогенеза, он играет в ней роль чувствительного элемента, который, меняясь в ходе эволюции, способен постоянно поддерживать всю систему в состоянии динамического равновесия с окружающей средой.

Как уже подчеркивалось ранее, живое вещество действует в биосфере двунаправленно. С одной стороны, оно способно быстро приспособивать-

ся к существующим условиям среды, но, с другой стороны, само способно изменять эти условия так, чтобы максимально ослабить действие таких лимитирующих факторов среды, как температура, увлажненность, освещенность и обеспеченность элементами минерального питания.

По мнению В.Н. Сукачева (1947, 1964), этот процесс приобретает особую эффективность на уровне крупных растительных сообществ, группирующихся вокруг тероморфного вида, такого как, например, ельники, сосняки или ольшаники, образуя популяции, применительно к которым значения пределов толерантности достаточно длительное время (достаточное для формирования полного почвенного профиля) соответствуют местным условиям окружающей среды.

В этом отношении предположения об обязательном соответствии типа естественного биоценоза местным условиям почвообразования подтверждаются не только полным совпадением контуров почвенных и растительных зон, где тип растительности соответствует типу зонального почвообразования, но и специфически повторяющейся упорядоченностью эдафических рядов растительности, прослеживающихся в пределах элементарных ландшафтно-геохимических систем. Причем дополнительным подтверждением данного тезиса служит теория А.Л. Бельгарда об экологическом соответствии типа почв типу зонального биогеоценоза, согласно которой в условиях несоответствия почвенных обстановок типу искусственно создаваемых фитоценозов повсеместно отмечается отсутствие нормальной самовозобновимости. Так, посадки ели хорошо растут на черноземе, но жизнеспособного подростка не дают никогда (Бельгард, 1980).

Из всего вышесказанного следует неизбежный вывод о том, что факт формирования полного профиля почв определенного вида в разных частях пространства однозначно свидетельствует о продолжительном присутствии одинакового набора условий миграции, трактуемого как комплекс факторов почвообразования. При этом следует обратить внимание на то, что обратное утверждение о том, что наличие определенного комплекса факторов должно автоматически свидетельствовать о наличии почвы определенного вида неверно, поскольку для того, чтобы обеспечить формирование полного профиля почвы данное воздействие должно быть, кроме того, еще и достаточно продолжительным.

В этом плане В.М. Фридланд, анализируя вслед за Н.М. Страховым воздействие фактора времени на формирование структуры почвенного покрова, сделал вывод о том, что процессы автометаморфоза в изменяющихся условиях среды могут не только развиваться с разной скоростью, но и иметь определенные возрастные фазы (Фридланд, 1972). Более того, в процессе исторического развития на значительных территориях могли иметь место факты полного уничтожения всего почвенного покрова, как это имело место, например, в результате крупных материковых оледенений.

Позже В.О. Таргульян и др. (Таргульян, Соколов, 1978; Таргульян, 2008; Targulian, Goryachkin, 2004), указав на недостаточность моногенетической модели почвообразования, ввели представление о том, что в структуре каждого почвенного профиля одновременно присутствуют: профиль «почвы-памяти», обладающий набором устойчивых реликтовых признаков, профиль «почвы-отражения», характеризующийся устойчивыми признака-



ми современных почвообразовательных процессов, и профиль «почвы-жизни», образованный благодаря динамическим свойствам, отражающим современные условия, что, разумеется, вносит дополнительное разнообразие в наблюдаемую картину структуры почвенного покрова (рис. 6).

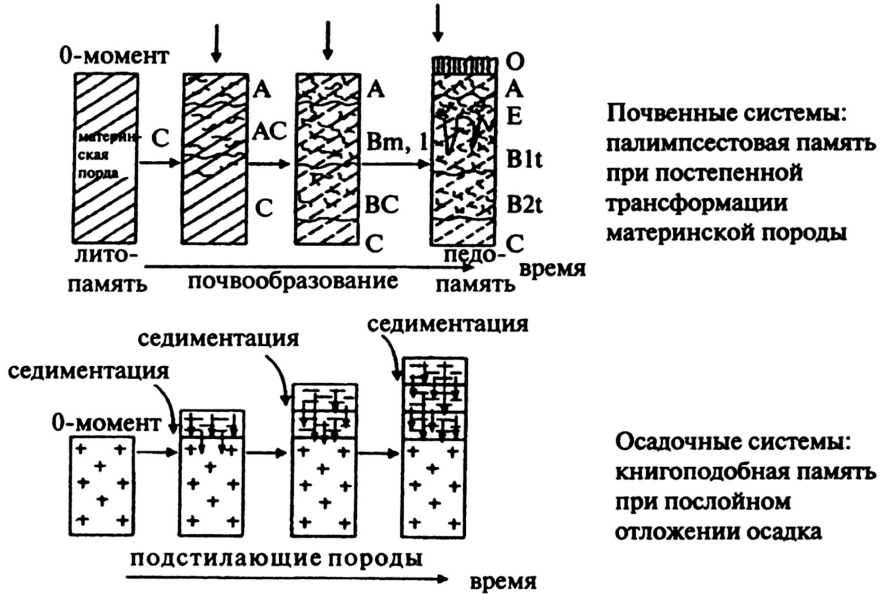


Рисунок 6 - Виды процессов, формирующих «память почвы» (Targulian, Goryachkin, 2004)

На элементарном уровне вопрос формирования структуры почвенного покрова рассмотрел Б.Б. Польшин, который использовал в качестве факторов воздействия параметры миграции вещества в системе: вершина-склон-замыкающее понижение, назвав эту систему «геохимическим ландшафтом». Механизм почвообразования Б.Б. Польшин интерпретировал как систему миграционных потоков, осуществляющих как вертикальное, так и латеральное перераспределение вещества в элементарном геохимическом ландшафте (элементарной ландшафтно-геохимической системе, ЭЛГС) и формирующих, таким образом, и особую структуру почвенных комбинаций (по Милну, 1935 – катену), и конфигурацию почвенных горизонтов. Данные потоки, взаимодействуя с субстратом, формируют наблюдаемую структуру почвенного покрова и обеспечивают функционирование геохимических барьеров, ограничивающих миграцию вещества, способствующих формированию локальных геохимических аномалий и новообразований, способных поглощать и прочно удерживать поступившие в почву извне углерод, азот, йод и другие элементы. Общая морфометрия образуемого почвенного профиля предопределяется положением в системе природных зон, химическим составом, генезисом и сорбционными свойствами субстрата, а также параметрами рельефа, экспозицией склона, структурой биоценоза и продолжительностью процесса почвообразования (Польшин, 1926; 1952; Мотузова, 2009; Мотузова и др., 2015).

К подобному выводу пришла М.А. Глазовская, подробно анализируя в 1969 г. специфику возникающих элементарных почвенно-геохимических сопряжений (Глазовская, 1969).

Таким образом, общая схема формирования структуры педосферы оказалась достаточно сложной, тем более, что и интенсивность процессов автоморфоза также оказалась различной для разных типов почв, существующих даже в пределах одной и той же катены. В результате выяснилось, что время, необходимое для формирования устойчивого профиля торфяно-болотной, дерновой и дерново-подзолистой почвы, может различаться почти на два порядка. Так, например, изменение уровня грунтовых вод (УГВ), вызванное снижением местного базиса эрозии, способно быстро и значительно трансформировать все почвы супераквального ряда в пределах крупного речного бассейна, тогда как расположенные там же трансэлювиальные почвы трансформируются в значительно меньшей мере, а элювиальные почвы водоразделов могут вообще не претерпеть выраженных изменений. Аналогичным образом специфической скоростью формирования обладают и интразональные, главным образом пойменные почвы, скорость формирования которых определяется скоростью водно-эрозионных и седиментационных процессов, осуществляемых уже непосредственно речными потоками.

Из всего этого следует, что почвы, возраст которых различается на сотни тысяч лет, могут не иметь морфометрических различий на уровне не только типа и рода, но даже вида и разновидности. Однако и в этом случае почвенный покров в целом, во-первых, остается относительно консервативным элементом ландшафта, во-вторых, на всем своем протяжении сохраняет выраженные признаки закономерной пространственной организации, однозначно фиксируемой на уровне типа, рода и вида. Более того, А.Н. Геннадьев, детально анализируя процесс формирования почвенного покрова, отметил важный для понимания биогеохимической эволюции нюанс, состоящий в том, что даже при большой (250 – 600 тысяч лет) разнице возраста почвообразующих пород средний возраст зрелого профиля в случае дерново-подзолистых почв составляет 3500 - 4000 лет, при максимально зафиксированном возрасте нижних горизонтов – 20 000 лет (Геннадьев 1990).

Этот вывод целиком подтверждается данными Б.Ф. Апарина, Е.В. Рубина (1975) и Т.А. Романовой (2004), которые свидетельствуют о практически полной морфометрической идентичности профилей подзолистых почв по всем элементам катен, вскрытых под сосняками Полесья, где возраст почвообразующих пород составляет 500 тысяч лет, под теми же сосняками в Белорусском Поозерье, освободившемся от оледенения 10-12 тысяч лет назад, а также под сосняками Эстонии и Ленинградской области с еще более молодыми почвами.

Все это позволяет сделать важный вывод о том, что практически все экогенные климатические, тектонические и связанные с ними геоморфологические процессы, способные изменять условия, а иногда и направление формирования профиля почвы, имеют целиком соразмерное с почвенными зонами пространственное, но совершенно иное временное разрешение. То есть, значимые изменения литологических и климатических факторов почвообразования происходили со скоростями значительно меньшими, чем

это требовалась для осуществления процессов почвообразования. Таким образом, педосфера, постоянно оставаясь относительно консервативной основой существования живого вещества суши, в то же время всегда обладала достаточным ресурсом времени, позволяющим ей опережающими темпами компенсировать внешнее воздействие и, таким образом, длительно пребывать в состоянии динамического равновесия с еще более динамично изменяющимся местным биоценозом.

Соглашаясь с тем, что практически все почвообразовательные процессы по существу представляют собой процессы миграции химических элементов и могут быть интерпретированы в рамках теоретических положений геохимии ландшафта, В.М. Фридланд счел нужным дополнить, что данные факторы «представляют собой геохимическое опосредование факторов возникновения почвенных комбинаций» (Фридланд, 1972), т.е. отражают структурные особенности почвенного покрова.

Таким образом, в масштабах планеты мы имеем дело с достаточно простым механизмом почвообразования, в рамках которого постоянно воспроизводится однотипный комплекс процессов миграции воды в условиях неоднородного рельефа (автометаморфоз), но функционирование этого механизма осуществляется в разных климатических ситуациях и применительно к породам разного состава, генезиса и возраста (параметаморфоз).

Доказательство справедливости данной гипотезы следует как минимум из трех соображений.

Во-первых, все перечисленные факторы миграции, играющие определяющую роль в формировании иерархической структуры почвенного покрова, в подавляющем большинстве случаев отличаются исключительной консервативностью во времени и пространстве.

Во-вторых, общий принцип единства биологической и геохимической составляющих биосферы может быть реально соблюден только при условии длительного сохранения динамического равновесия между геохимическими параметрами почвенного субстрата и параметрами БИК в местном биоценозе.

В-третьих, время, в течение которого на территории Русской равнины может быть сформирован или замещен полный профиль автоморфной почвы определенного типа, составляет, по данным А.Н. Геннадьева, минимум 800-1000 лет при среднем возрасте существующей структуры почвенного покрова не менее 3500 лет (Геннадьев, 1990). Следовательно, целиком сформированный, ненарушенный почвенный профиль отражает результат взаимодействия местного (зонального) биоценоза со своим субстратом. Причем этот результат был гарантированно достигнут значительно раньше наступления эры активных техногенных преобразований, т. е. почва создавалась в условиях максимально близких к условиям первичной биосферы.

Таким образом, существующая педосфера представляет собой специфически дифференцированную эволюционирующую подсистему биосферы, сформировавшуюся под воздействием комплекса разновозрастных и пространственно упорядоченных факторов, а направленность процесса почвообразования определяется параметрами равновесного состояния, установившимися между местным зональным биоценозом и такими факторами

почвообразования как климат, рельеф и степень эрозионной переработки неорганического субстрата (коры выветривания). А поскольку почва представляет собой достаточно консервативную составляющую биосферы, сам факт присутствия ненарушенной почвы полного профиля под естественной растительностью должен свидетельствовать о наличии динамического равновесия, в условиях которого геохимические параметры этой почвы должны соответствовать потребностями существующего зонального биоценоза.

Сказанное позволяет сделать однозначный вывод о том, что выдвинутая гипотеза справедлива и имеющиеся карты почвенного покрова способны отображать картину структурной неоднородности условий первичной биосферы, в то время как химический состав ненарушенных почв элювиального ряда способен нести достоверную информацию о параметрах эколого-геохимического состояния первичной биосферы, что позволяет количественно зафиксировать значения «нулевой точки отсчета», по отношению к которой можно отслеживать последующие изменения антропогенного характера.

## 5.2 Особенности пространственной организации полей техногенного загрязнения

Несмотря на относительно малое число работ, касающихся изучения пространственной структуры геохимических аномалий антропогенного генезиса, имеющиеся данные свидетельствуют о том, что в подавляющем большинстве случаев формирование таких аномалий осуществляется в ходе продолжительного или разового выброса значительных количеств вещества из точечного источника.

Крупные техногенные аномалии тяжелых металлов, диоксинов или ПАУ картографированы вокруг ряда промышленных предприятий или ТЭЦ в гг. Братске, Магнитогорске, Новгороде, Череповце, Москве и польском городе Иновроцлаве (Экогеохимия городских ландшафтов, 1995; Регионы и города России ..., 2014; рис. 7-13), причем во всех этих случаях речь идет исключительно о формировании аномалий моноцентрического типа, как правило, вытянутых в направлении господствующих ветров.

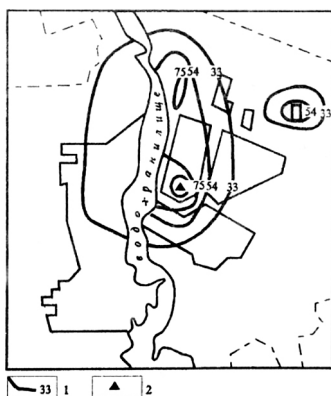


Рисунок 7 - Техногенное загрязнение г. Магнитогорска (Россия) тяжелыми металлами: 1 – изолинии коэффициентов концентрации суммы ТМ; 2 – источник загрязнения (Экогеохимия городских ландшафтов, 1995)

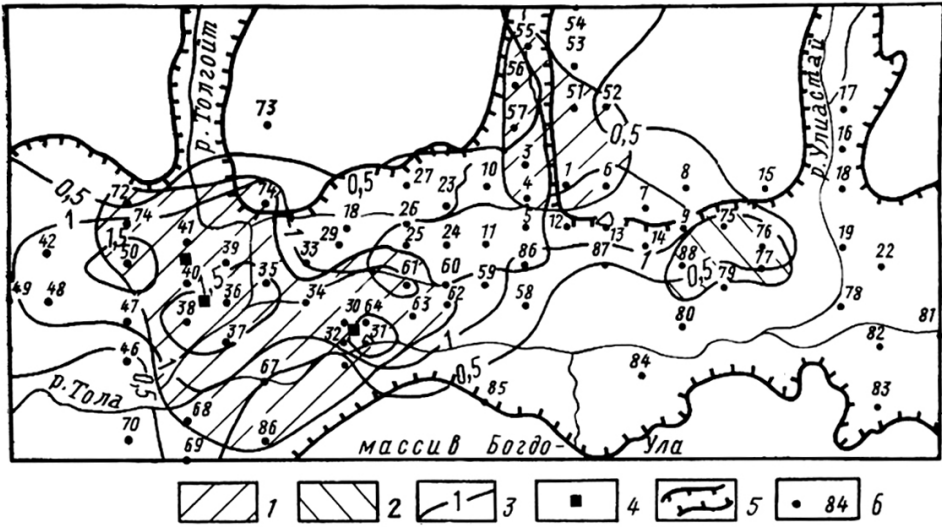


Рисунок 8 - Распределение тяжелых металлов и фтора в снежном покрове г. Улан-Батор, Монголия: 1 - полиэлементные аномалии Cd, Pb, Cr, Zn, Ni, Co; 2 - полиэлементные аномалии Cd, Pb, Zn; 3 - изолинии содержания F (мг/л); 4 - крупные действующие ТЭЦ; 5 - долина р. Толы; 6 - точки опробования (Экогеохимия городских ландшафтов, 1995)

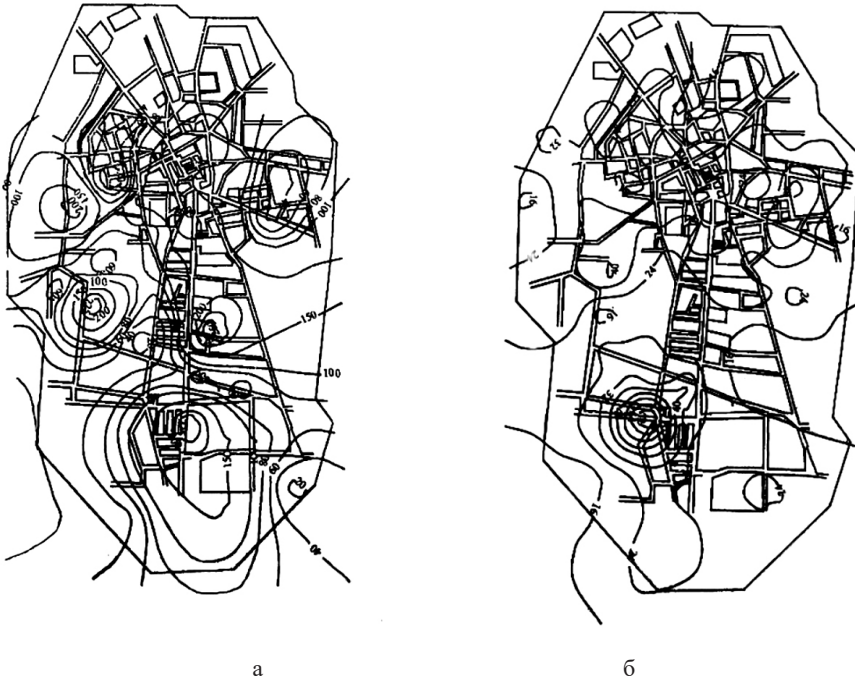


Рисунок 9 - Аномалии тяжелых металлов в почвенном и растительном покрове г. Иновроцлава, Польша (изолинии концентраций в мг/кг в.с.м.): (а) - Cd в почвах; (б) - Cu в растениях (Экогеохимия городских ландшафтов, 1995)



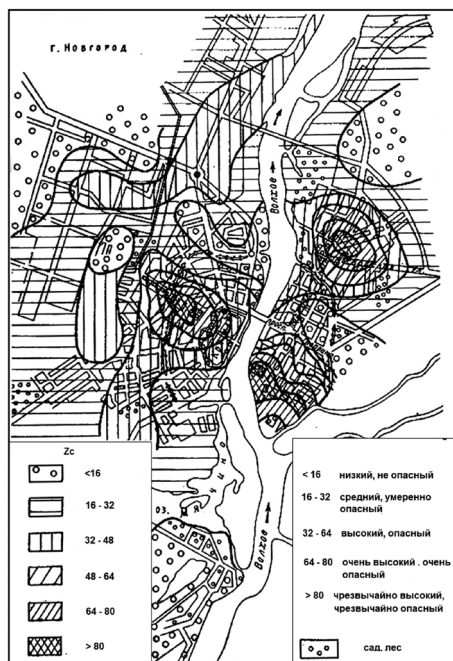


Рисунок 10 - Техногенное загрязнение суммой тяжелых металлов (Zc) г. Новгорода, Россия (Экогеохимия городских ландшафтов, 1995)

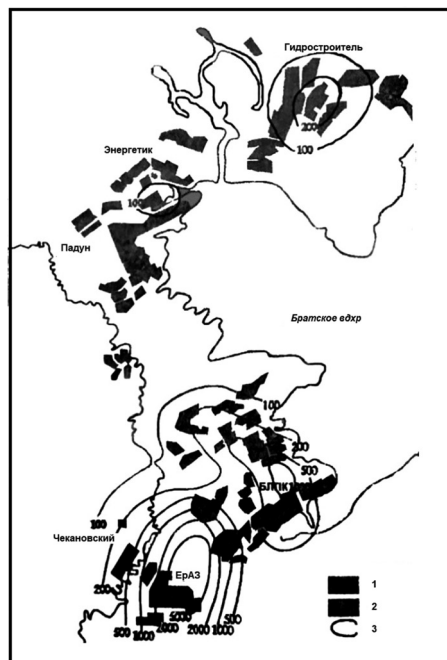


Рисунок 11 - Техногенное загрязнение снежного покрова г. Братска (Россия) бензпиреном: 1 – промышленные зоны, 2 – жилая застройка; 3 – изолинии содержания бензпирена (нг/л, Экогеохимия городских ландшафтов, 1995)

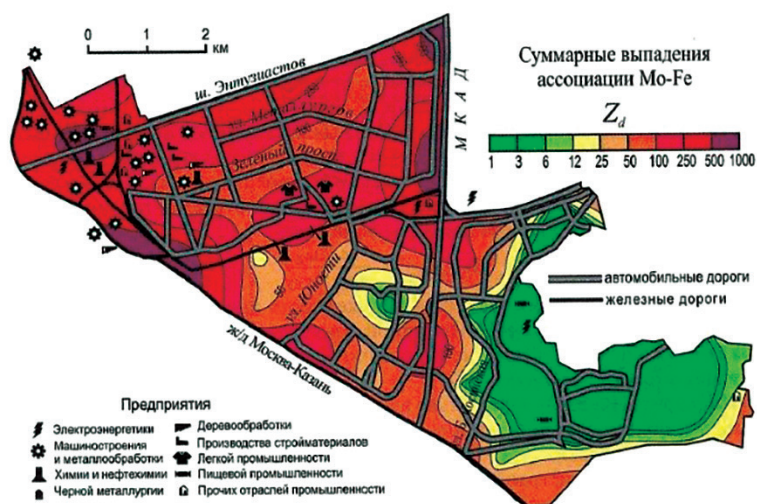


Рисунок 12 - Распределение суммарного загрязнения Мо и Fe (по суммарному содержанию в пыли снежного покрова) в южной части восточного округа Москвы в связи с расположением промышленных предприятий разного профиля (цит. по Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния, 2014, с. 375)



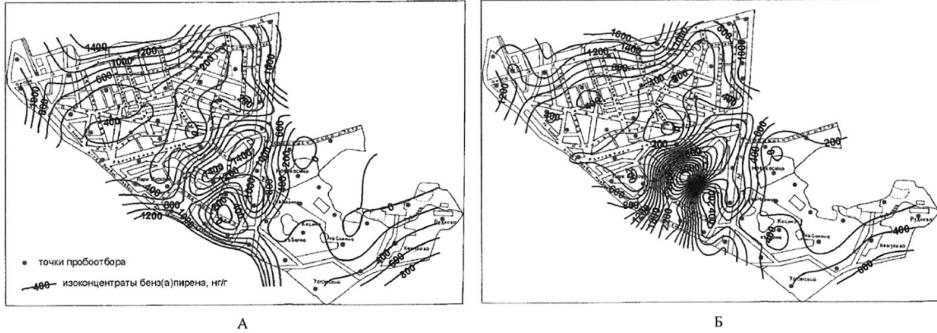


Рисунок 13 - Техногенные аномалии бенз(а)пирена в поверхностном горизонте почв ВАО Москвы по данным опробования 1990 (А) и 2006 (Б) гг. (Кошелева, Никифорова, 2011)

Еще одной очень наглядной иллюстрацией, подтверждающей справедливость данного тезиса, является структура поля радиационного загрязнения, возникшего в результате аварии на ЧАЭС в 1986 г., которое также представляет собой результат разового выброса ограниченного количества вещества из точечного источника (рис. 14-16, табл. 3).



Рисунок 14 - Траектории и хронология выбросов при аварии на Чернобыльской АЭС 26 апреля – 6 мая 1986 г. In: Pier Alberto Bertazzi (Ed.) Chapter 39 - Disasters, Natural and Technological //DISASTERS AND MAJOR ACCIDENTS. ILO Encyclopaedia of Occupational Health and Safety. [http://www.ilocis.org/documents/chpt39e.htm]

Таблица 3 - Основные характеристики наиболее опасных радионуклидов, присутствующих в выбросе из разрушенного реактора ЧАЭС (по Израэлю, 2006)

Радионуклид	Выход (эмиссия),%	Образовавшаяся на момент аварии радиоактивность (Бк)	Фракционирование по отношению к тугоплавким радионуклидам			
			Ближний след		Дальний след	
			Север	Юг	Север	Юг
<sup>131</sup> I	50 – 60	$(2,4-3,2) \cdot 10^{18}$	4-9	0,9	200-290	-
<sup>137</sup> Cs	14 – 33	$(1,4-3,3) \cdot 10^{17}$	3-5	0,6	170-370	55
<sup>90</sup> Sr	4 – 5	$(1,7-2,5) \cdot 10^{17}$	0,5	0,5-4,0	5,0-7,5	2,5
<sup>144</sup> Ce	3,5	$(3,2-4,9) \cdot 10^{18}$	0,9-1,0	1	1,4-2,0	1,4
<sup>106</sup> Ru	3,5 - 6,0	$(0,79-2,1) \cdot 10^{18}$	0,6-1,5	0,5-0,75	20-30	7,7
<sup>140</sup> Ba	3,5	$(0,48-5,7) \cdot 10^{18}$	1,0-1,6	0,8-1,0	10-15	-
<sup>239</sup> Pu	2 – 3	$(8,0-9,6) \cdot 10^{14}$	0,9-1,0	1	1,4-2,0	1,4
<sup>241</sup> Pu	2 – 3	$(1,7-1,9) \cdot 10^{17}$	0,9-1,0	1	1,4-2,0	1,4

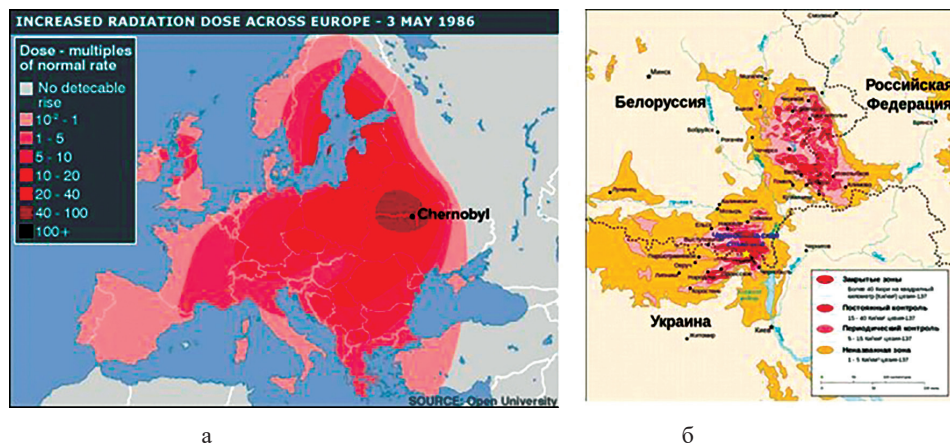


Рисунок 15 - Карты загрязнения территории Европы  $^{137}\text{Cs}$  в результате аварии на ЧАЭС: (а) - данные по [http://belarusdigest.com/sites/default/files/story-images/chernobyl-fallout.gif?1305401113] и (б) – фрагмент карты из Атласа загрязнения Европы цезием (1998) по [http://pandia.ru/text/79/029/images/image001\_22.gif]

Причем, в масштабах планеты образовавшееся поле загрязнения представляет собой одну моноцентрическую аномалию с центром в г. Припять (рис. 15а), в масштабах Европы (рис. 15б) различаются уже три разнесенные в пространстве аномалии, одна из которых примыкает к поврежденному реактору и представляет собой подфакельное пространство, где продукты выброса оседали главным образом под действием гравитации, и две других, т.н. зоны разгрузки, сформировавшиеся в результате вымывания радионуклидов (РН) атмосферными осадками.

На еще более низком уровне организации каждая из этих зон характеризуется разным соотношением загрязняющих радиоизотопов и специфической внутренней полицентричностью, которая проявляется в виде набора относительно крупных «пятен» моноцентрической структуры. Таким образом, весь пострадавший субрегион представляет собой систему фрактально организованных аномалий моно- и полицентрического типа, первично сформированных под воздействием макроклиматических факторов глобального массопереноса (рис. 16).

Важно отметить и тот факт, что внутренняя структура этих аномалий в настоящее время существенно осложнена процессами вторичного вертикального и латерального перераспределения РН в почвенно-растительном покрове. При этом, рассматривая повсеместно присутствующий изотоп  $^{137}\text{Cs}$  как радиоактивную метку, можно получить ценную информацию об особенностях функционирования механизма вторичного перераспределения вещества в ЭЛГС.

Исследования, проводимые в течение 14 сезонов 2005-2018 гг. на Вышковском полигоне в Брянской области РФ, показали, что определяющим фактором пространственной дифференциации в данном случае выступили процессы перераспределения воды, о чем свидетельствует и специфический характер вторичной пространственной неоднородности, формируемой во всех исследованных ЭЛГС. При этом, вопреки широко распространенному мнению,

процесс латеральной миграции РН в системах типа вершина-склон-замыкающее понижение не может интерпретироваться как однонаправленное перемещение вещества от вершин к понижениям, а представляет собой значительно более сложное явление, под действием которого происходит формирование чередующейся системы зон выноса и накопления, образующих в пределах склонов специфическую систему полицентрических аномалий, которая отчетливо прослеживается как в чисто природных (лес, рис. 17), так и в антропогенно трансформированных (сельхозугодия, рис. 18) ЭЛГС.

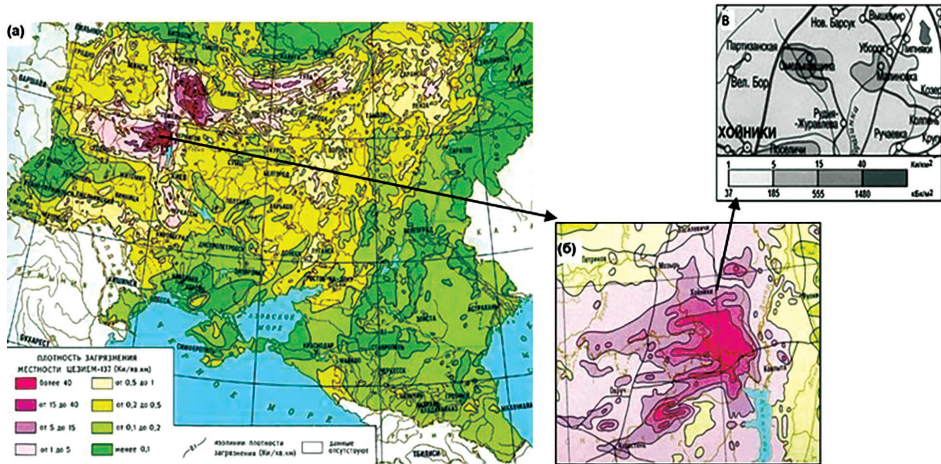


Рисунок 16 - Фрактальность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в результате аварии на ЧАЭС (Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины, 1998)

Дальнейшие исследования, в том числе в районе Восточно-Уральского радиоактивного следа (Коробова и др., 2019) и на Енисее показали, что выявленные структурные особенности не являются специфическими для зоны аварии на ЧАЭС. Параметры крупной техногенной аномалии  $^{137}\text{Cs}$ , возникшей в результате деятельности Красноярского ГХК, были изучены применительно к пойме реки Енисей, где также было обнаружено наличие упорядоченной структуры моноцентрического типа и выявлен схожий характер вторичного перераспределения загрязнителей на уровне ЭЛГС.

Это позволило утверждать, что структура в виде фрактально организованного набора разноразмерных моноцентрических аномалий формируется, несмотря на разный объем и продолжительность выброса, причем и применительно к другим изучаемым объектам.

На уровне ЭЛГС и в данном случае были зафиксированы значимые изменения активности  $^{137}\text{Cs}$ . Максимальные уровни загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ , существенно превышающие значение глобального фона, были обнаружены в пределах островной поймы Енисея, исследованной в ближней части дельты (в районе острова Пашков) и в ее средней части - на острове Тысяра (данные по Тысяре были получены в ходе осуществления проекта ESTABLISH (Gerland & Brown, 2001; Korobova et al., 2007, 2009).

Этот же вывод целиком подтвердили и результаты, полученные во время работы в зоне воздействия предприятия «Норильский никель», где также было однозначно констатировано, что техногенные геохимические провинции никеля и меди, сформировавшиеся в результате длительного выброса больших объемов техногенных загрязнителей из условно «точечного» источника, на региональном уровне читаются в виде крупной аномалии моноцентрического типа. Характерно, что данная закономерность прослеживалась в почве и растительном покрове, а, судя по данным из литературных источников, она отмечалась также и в снеге (Экогеохимия городских ландшафтов, 1995), и в поверхностных водах.

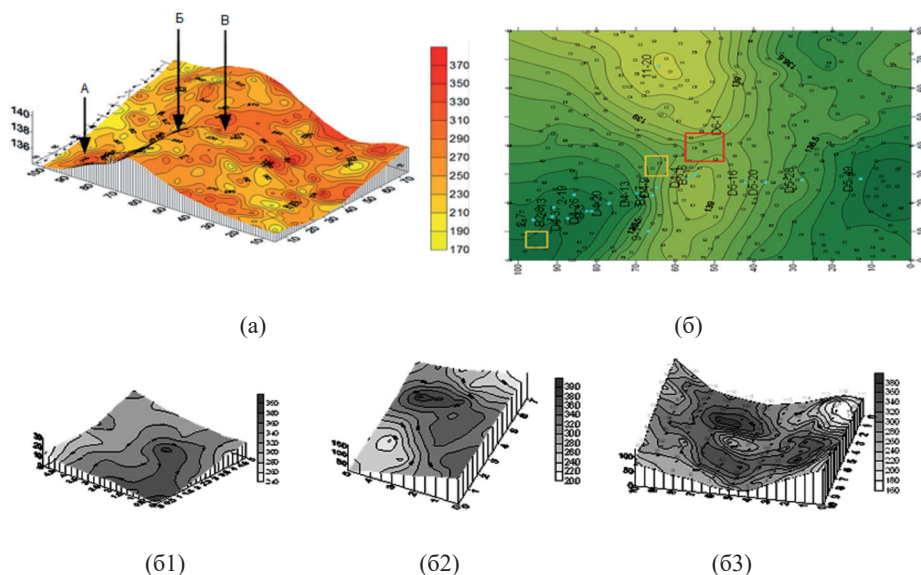


Рисунок 17 - Структура поля загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  на тестовом участке «Вышков-2» (Новозыбковский район Брянской области), прослеженная в рельефе (Korobova, Romanov, 2009, 2011). Активность  $^{137}\text{Cs}$  указана в имп/с, высоты на основном участке указаны в абсолютных величинах (м), на участках детализации – в относительных (см). Буквами показано положение участков детализации А-В

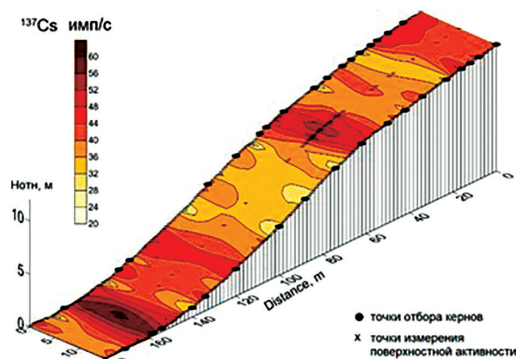


Рисунок 18 - Структура поля плотности поверхностного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  на тестовом участке «Агроценоз» (Korobova et al, 2019)



Так, в пределах террас и междуречий был выявлен направленный рост концентраций никеля во мхах (в 3-5 раз) и листьях ивы (в 2-3 раза) (рис. 19 а, б). Та же тенденция была выявлена и для меди, содержащейся в лишайниках (рис. 20), что явилось отражением структуры крупной моноцентрической аномалии, центром которой являлся Норильский металлургический комбинат (рис. 21).

В совокупности все эти результаты позволили сформулировать следующий вывод. **Пространственная конфигурация биогеохимических провинций техногенного генезиса в подавляющем большинстве случаев представляет собой закономерно упорядоченные аномалии относительно простой моно- или полицентрической структуры, формируемые благодаря одновременному воздействию факторов глобального, регионального и локального порядка.**

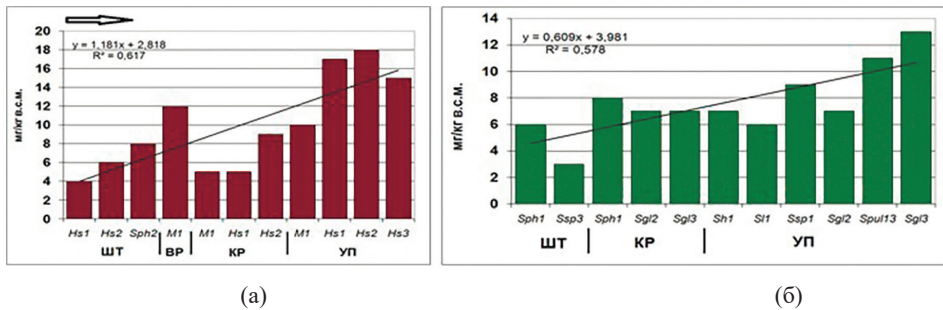


Рисунок 19 - Никель в моховом покрове (а) и в листьях ивы (б) террасовых геосистем дельты р. Енисей. Обозначения мест отбора: ШТ – на м. Шайтанский; ВР – у п. Воронцово; КР – на м. Караул; УП – у п. Усть-Порт. Виды растений: Hs – *Hylocomium splendens*; Sph – *Sphagnum sp.*; M – средняя проба мхов; Sgl – *Salix glauca* L.; Sh – *Salix hastata* L.; Sl – *Salix lanata* L.; Spul – *Salix pulchra* Cham.; Sph – *Salix phlyicifolia* L.; Ssp. – *Salix sp.* Цифры после индекса вида растения указывают на тип ЭЛГС, где они произрастали: 1 – элювиальные, 2 – транзитные, 3 – аккумулятивные. Стрелкой показано направление к Норильскому комбинату

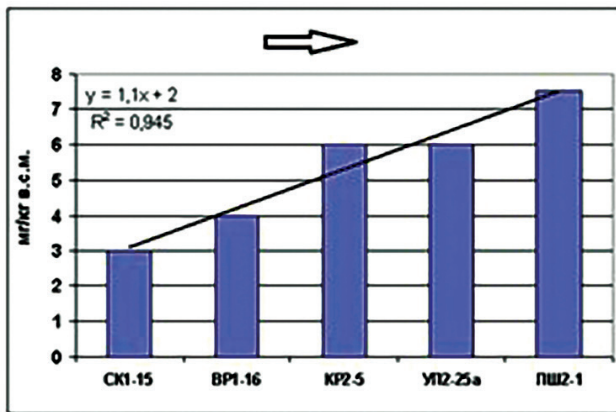


Рисунок 20 - Содержание Си в лишайниках высоких террас на разном удалении от «Норникеля» (от м. Шайтанского (СК) до о. Пашков (ПШ)). Стрелкой показано направление к источнику загрязнения

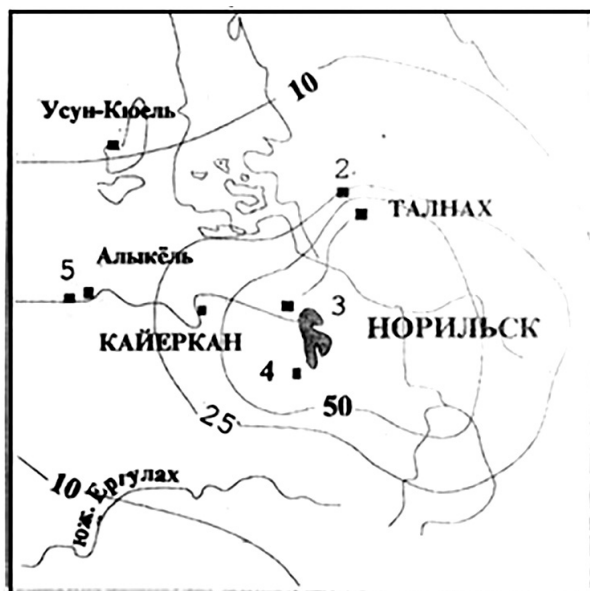


Рисунок 21 - Превышение фоновых концентраций тяжелых металлов в снежном покрове в районе г. Норильска (Экогеохимия городских ландшафтов, 1995)

Важно добавить, что в условиях современной ноосферы наблюдается постоянное формирование новых геохимических аномалий различной мощности и состава, которые, позиционируясь в верхних почвенных и растительных горизонтах, всегда обладают закономерно упорядоченной структурой, легко поддающейся индикации, идентификации и математической интерпретации.

### 5.3 Пространственные закономерности геохимической организации ноосферы

Как уже указывалось в главе 3, направленное совершенствование большинства биологических видов, осуществляющееся в процессе эволюции первичной биосферы, помимо прочего, обеспечило им близкое к идеальному соответствие между генетически закрепленными параметрами метаболизма и геохимическими условиями среды обитания. В биосфере стабильное существование такой обстановки надежно обеспечивалось действием механизма саморегуляции, однако специфика современной ноосферы состоит в том, что биосферные закономерности саморегулируемой системы перестают быть для нее абсолютными именно в то время, когда целенаправленная деятельность цивилизации начинает интенсивно преобразовывать первичную биосферу в интересах удовлетворения растущих потребностей всего одного биологического вида, создающего только для себя максимально комфортную среду обитания. А поскольку этот процесс в большинстве случаев осу-



ществуется стихийно и бесконтрольно, это неизбежно должно отразиться и на состоянии экологической обстановки.

В настоящий момент масштабы, мощность и временная стабильность природных факторов миграции еще как минимум на порядок превышают любые антропогенные возможности. Поэтому современная ноосфера, сохранившая в своей структуре основные черты первичной биосферы, продолжает представлять собой сбалансированную и относительно устойчивую систему.

Однако очевидно и то, что техногенные геохимические процессы постоянно наращивают интенсивность и масштабы проявления. В результате на планете постоянно происходит формирование все новых геохимических аномалий, объемы, и площади которых, как правило, сравнительно невелики, чего, однако, никак нельзя сказать об их экологической значимости.

Анализ пространственной геохимической организации современной ноосферы, показал, что, в отличие от первичной биосферы, эта система представляет собой закономерно организованный объект, состоящий из мощного природного субстрата, перекрытого сверху относительно тонким слоем вещества техногенного происхождения. При этом удалось доказать и тот факт, что каждый из этих генетически различных слоев не только значим в экологическом отношении, но и специфически пространственно упорядочен, благодаря чему каждый из них может быть априорными средствами воспроизведен в виде отдельной картографической поверхности.

Таким образом, в структурном отношении *современная ноосфера представляет собой целостную, вертикально и латерально стратифицированную оболочку, организованную в виде двухслойного объекта, в пределах которого в первичную естественно-природную систему биосферы с поверхности встраивается новообразованная антропогенная структура, сформированная химическими элементами и соединениями, поступающими в окружающую среду специфическим образом, в специфической форме и с несвойственной природным системам скоростью.*

Если все вышеприведенные утверждения верны, то используемый подход позволяет сформулировать теоретически выверенную гипотезу о принципиальной возможности разделения количественных вкладов природной и техногенной геохимической составляющих. В методическом плане этот процесс можно рассматривать как оверлейную картографическую операцию, *применяемую отдельно для естественно-природного геохимического фона и для слоя химических элементов и соединений, поступивших в ноосферу в результате техногенного воздействия.*

Отсюда же следует и еще один важный вывод о том, что практическое решение задачи биогеохимического районирования современной ноосферы действительно не имеет явных теоретических противопоказаний и может быть реализовано в рамках конкретной методической процедуры, позволяющей количественно охарактеризовать направленность, темпы, а в ряде случаев и результаты не только прошедших, но и потенциально возможных антропогенных трансформаций, что, несомненно, будет иметь важное значение для продолжения фундаментальных исследований в области экологической геохимии, биогеохимии и геохимической экологии.

## Глава VI ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ НООСФЕРЫ

Процесс совершенствования человеческой цивилизации сопровождался не только структурной перестройкой всех систем биосферы, но и существенной трансформацией механизма функционирования этих систем. В этом отношении знание хотя бы основных закономерностей поведения природно-социальных систем, формируемых в современной ноосфере, необходимо не только для обеспечения возможности управления ими, но и для получения гарантий сохранения самой цивилизации, поскольку возникающие в них антропогенно спровоцированные трансформации могут легко привести к опасно непредсказуемым и далекоидущим последствиям, доказательством чему являются миллионы людей, уже пострадавших в результате ядерных аварий, десятки миллионов страдающих от недостатка йода, множество людей, умерших от цинги или получивших по роду их занятий или месту проживания отравления ртутью, кадмием, стронцием, хромом и т.д.

### 6.1 Теория и методология биогеохимического районирования ноосферы

Теоретические подходы к биогеохимическому районированию биосферы традиционно разрабатывались на основе представлений о почвенных зонах В.В. Докучаева (1994), почвенных провинциях Л.И. Прасолова (1939), геохимических ландшафтах Б.Б. Польшова (1952) и биогеоценозах В.Н. Сукачева (1964). Эта работа была выполнена главным образом В.В. Ковальским, который в рамках предложенной им трехуровневой системы районирования биосферы выделил таксоны первого порядка - регионы биосферы, которые были идентифицированы по признаку почвенно-климатических зон и количественным характеристикам содержания химических элементов в биогеохимической пищевой цепи. Таксоны второго порядка - субрегионы выделялись в пределах регионов по наличию установленного набора биологических реакций на избыток или недостаток отдельных макро- и микроэлементов, присутствующих в среде обитания. Таксонами третьего порядка выступали биогеохимические провинции, которые входили в состав субрегионов и представляли собой изолированные территории, характеризующиеся отрицательными реакциями организмов на качество среды обитания, проявляющие себя в виде избытка или недостатка определенных химических элементов. В рамках данной классификации зоны техногенного загрязнения были отнесены к числу азональных субрегионов наряду с рудными полями, бессточными западинами и зонами вулканизма (Ковальский, 1978).

Характерной особенностью данной классификации явилось деление биосферы на качественно разнородные выделы, критерием чего являлось

наличие достоверно установленных биологических реакций на избыток или дефицит содержания конкретных макро- и микроэлементов в окружающей среде (рис. 22, табл. 4) Причем важным является еще и тот факт, что биологические реакции (нарушения обмена веществ и эндемические заболевания) рассматривались В.В. Ковальским только применительно к человеку и сопутствующим ему сельскохозяйственным растениям и животным (Ковальский, 1957, 1960, 1974).

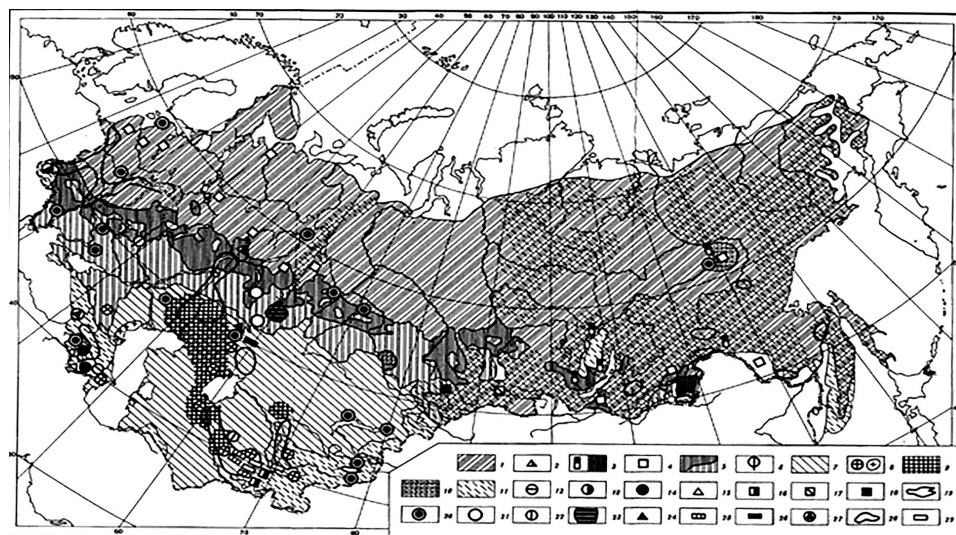


Рисунок 22 - Биогеохимическое районирование территории бывшего СССР (биологический эффект – эндемические заболевания) (Ковальский, 1982). Полное содержание легенды представлено в табл. 4

Таблица 4 - Систематика природных таксонов биосферы и эндемические реакции живых организмов, обусловленные геохимическими условиями среды (по Ковальскому 1971, 1982)

Регионы биосферы	Субрегионы биосферы	Геохимические параметры		Эндемические заболевания
		дефицит	избыток	
Таяжно-лесной нечерноземный	I Субрегионы, в которых комбинируются признаки регионов	(1) Co, Cu, I, Cu+Co, Ca+P (Ca/P)	-	Анемии, гипо- и авитаминоз B12; увеличение щитовидной железы, зоб, бесплодие; эндемические остео дистрофии при нарушении соотношения Ca/P в рационе
		(2) I+Co	-	Усиление эндемического зоба
		(3) Ca	(3) Sr	Нарушение роста и формирования костей и суставных хрящей, урская болезнь (симметричный деформирующий остеопороз)
		(4) Se	-	Миопатии, беломышечная болезнь
Лесостепной, степной черноземный		(5) I	-	Увеличение щитовидной железы, редко – зоб и бесплодие
		(6) Ca/P	-	При высокой продуктивности скота возможна остео дистрофия

Регионы биосферы	Субрегионы биосферы	Геохимические параметры		Эндемические заболевания
		дефицит	избыток	
Сухостепной, полупустынный, пустынный		(8) Cu	Mo, SO <sub>4</sub>	Атаксия
		-	(9) B	Борные энтериты
		(10) Cu, Co, I	Mo, B	Гастроэнтериты, пневмония, атаксия, увеличение щитовидной железы, зоб, бесплодие
Горные районы		(11) Cu, Co, Ca, I	-	Анемии
Азональные таксоны	II Субрегионы и биогеохимические провинции, естественные и техногенные, признаки которых не соответствуют характеристикам регионов	-	(12) Co	Задержка витамина B <sub>12</sub>
		(13) I + Mn	-	Усиление эндемического зоба
		-	(14) Pb,	Заболевания нервной системы (цефалгии, гастралгии, ишалгии), гингивиты, гиперменорея
		-	(15) Mo	Молибденозис, подагра
		-	(16) Sr, Ca	Рахит, остеодистрофия
		-	(17) Se	Se токсикоз
		-	(18) Cu/Mo/Pb	Неблагоприятное соотношение
		-	(19) U	Адаптивные морфологические изменения
		-	(20) F	Флюорозы
		-	(21) Cu	Анемия, гепатиты, цирроз печени (животные)
		-	(22) Cu	Иктерогемоглобинурия
	(23) Co, Mn	Ni, Mg, Sr	Остеодистрофия	
	-	(24) Ni	Экзема, дерматиты	
	-	(25) Li	Тератологические изменения растений	
	-	(26) Cr	Cr токсикоз	
	-	(27) Mn	Эндемии растений	
	(28) F	-	Карес зубов	
	(29) Zn	-	Зимне-весенний паракератоз у КРС	

Примечание: номера в скобках соответствуют номерам легенды карты биогеохимического районирования СССР (рис. 22).

Очевидно, что при таком подходе неизбежной проблемой явилось нахождение эталона сравнения, по отношению к которому должна была фиксироваться мера избытка или недостатка тех или иных биогенов и, соответственно, производиться оценка геохимического качества среды обитания.

Преимущество нового предлагаемого подхода состоит в том, что он позволяет не только теоретически корректно обосновать и принципиально решить проблему оптимального биогеохимического эталона для всех существующих биогеоценозов, но также и объяснить причину возникновения большинства эндемических заболеваний геохимической природы.

## 6.2 Эндемические заболевания геохимической природы и современные биогеохимические провинции

Совокупность ранее полученных выводов свидетельствует о том, что факт существования любых зон эндемизма ни в коем случае не является за-

кономерным проявлением каких-либо свойств, генетически присущих первичной биосфере, но является прямым следствием нарушений ее законов, имевших место в результате сознательных действий разумного человечества.

Таким образом, эндемические заболевания геохимической природы являются для человечества своеобразной «платой за прогресс». И хотя эта «плата» по многим причинам является неизбежной, при правильном научном подходе ее размеры могут быть минимизированы.

Трудами А.П. Виноградова, В.В. Ковальского, В.В. Ермакова, П.А. Власюка, М.Я. Школьника, М.А. Риша, А.И. Перельмана и многих других исследователей было установлено, что причина возникновения всех наблюдаемых заболеваний геохимической природы двояка. Такие заболевания вызываются недостаточным или избыточным поступлением биогенов в пищевую цепь, но это поступление может осуществляться как в ходе естественно-природных биологических круговоротов, так и путем вовлечения в них дополнительных количеств химических элементов и соединений антропогенного происхождения, некоторые из которых ранее вообще не существовали в природной среде.

Таким образом, в мире имеют место два генетически разных типа биогеохимических провинций, территориально соответствующих зонам распространения отдельных эндемических заболеваний.

Первые из них имеют природный генезис и проявили себя в ходе быстрого заселения геохимически неблагоприятных территорий, вторые возникли в результате интенсивного техногенного воздействия, проявляющегося на фоне уже существовавшей природной геохимической неоднородности.

Отсюда следует вывод о том, что в условиях современной ноосферы возникновение биогеохимических провинций может осуществляться по двум разным схемам:

1) по условно «активной» схеме, когда человек и сопутствующие ему виды животных и растений без должной профилактики осваивают биогеохимически неблагоприятную территорию;

2) по условно «пассивной» схеме, когда на живые организмы, обитающие в относительно благоприятных условиях, оказывается техногенное геохимическое воздействие. Однако, поскольку данные события заведомо не являются взаимоисключающими, в отдельных случаях возможна и сочетанная реализация обеих указанных схем.

Разработка методов, позволяющих картировать места пространственной локализации такого рода биологических реакций в условиях современной ноосферы, представляет собой отдельную методологическую проблему. Очевидно, что территории, в пределах которых отмечается значимое увеличение частоты таких реакций, способны маркировать области большего или меньшего распространения эндемических заболеваний геохимической природы, однако следует учитывать и тот факт, что в ряде случаев на таких территориях может не быть постоянного населения.

Самой старой, поэтому наиболее изученной эколого-геохимической проблемой, возникающей по «активной» схеме, является проблема эндемического зоба, главной причиной которого является хронический дефи-



цит йода в воде и продуктах питания. Наиболее значительные очаги этой болезни расположены в Северной Индии и Западном Китае, в Швейцарии и в прилегающих к ней странах Центральной и Западной Европы, в некоторых районах США, в Перу, в Эфиопии и др. (Виноградов, 1927; WHO, 2007, рис. 23, табл. 5).

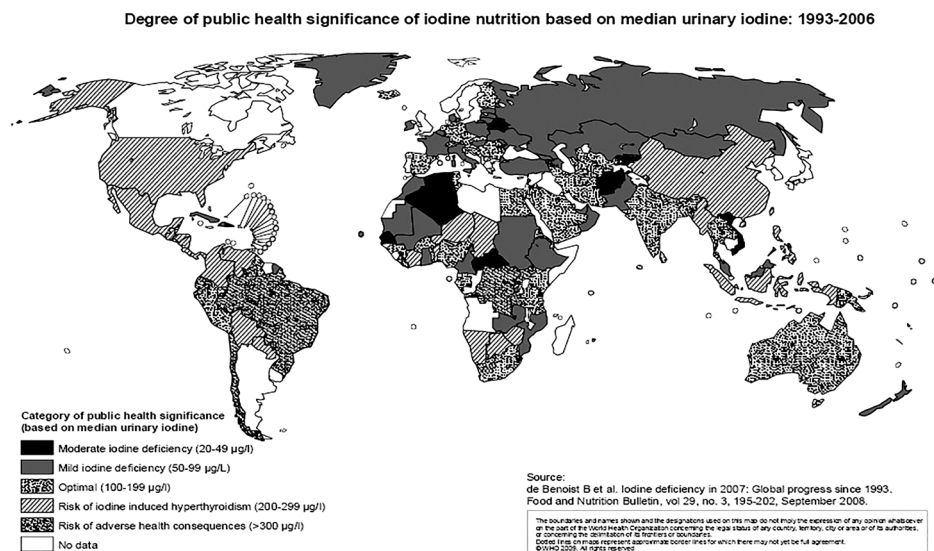


Рисунок 23 - Оценка распространенности йододефицита в странах мира на основании измерения ренальной экскреции йода (данные ВОЗ 1993-2006)

Таблица 5 - Оценка недостаточности обеспеченности йодом населения разных континентов

Районы, исследованные по программе ВОЗ	Недостаточная обеспеченность йодом населения <sup>1</sup>		Доля хозяйств, применяющих йодированную соль (%) <sup>3</sup>
	доля населения (%)	численность, все возрастные группы (млн.) <sup>2</sup>	
Африка	41,5	312,9	66,6
Северная и Южная Америки	11	88,6	86,8
Юго-Восточная Азия	30	503,6	61
Европа	52	459,7	49,2
Восточное Средиземноморье	47,2	259,3	47,3
Западная Океания	21,2	374,7	89,5
Итого	30,6	1900,9	7

Примечания:

<sup>1</sup> по результатам исследования 130 стран, доступных для ВОЗ и обследованных в период с января 1994 г. по декабрь 2006 г.

<sup>2</sup> по данным ООН, скорректированным в 2004 г.

<sup>3</sup> данные по применению йодированной соли получены из глобальной БД ЮНИСЕФ



На территории Российской Федерации эндемический зоб часто наблюдается во внутриконтинентальных районах Сибири, Урала и горных районах Кавказа (Кольцова, 1970), регистрируется и его распространение в европейской части средней полосы России (Герасимов и др., 2002; Дедов и др., 2006).

К провинциям аналогичного генезиса относятся зональные кремний- и селен-дефицитные провинции (Ковальский, 1965; Сусликов, 1980; Ермаков, 1978), стронций-кальциевые уровские провинции Восточной Сибири (Ковальский и др., 1978), борные провинции Прикаспия (Ковальский и др., 1965; Ковальский, Петрунина, 1970; Ковальский, Коробова, 1978) и фторные провинции Крайнего Севера (Белякова, Жаворонков, 1978; Ковальский, Климахин, 1978).

Исследования техногенных геохимических провинций, проведенные Ю.Е. Саеом, В.В. Ковальским, В.В. Ермаковым, К.И. Лукашовым, Е.П. Яниным, М.Д. Уфимцевой, Н.С. Касимовым, Е.М. Никифоровой, Н.Е. Кошелевой и многими другими исследователями, показали, что в городах, вокруг горнодобывающих центров и в районах воздействия крупных промышленных предприятий формируются устойчивые во времени и пространстве геохимические аномалии. Эти новообразования имеют моноцентрическое пространственное простираие и обычно прослеживаются во всех компонентах ноосферы (почве, воде, воздухе и растительности). Такие аномалии, как правило, создаются в результате относительно продолжительного выброса химических соединений из точечного источника (источников) в виде пыли, газов или жидкостей, а поскольку значительная часть вещества поступает в окружающую среду в подвижной форме, это существенно упрощает его включение в БИК и позволяет быстро и ощутимо менять геохимические параметры местных пищевых цепей.

Опасность состоит в том, что данные изменения осуществляются в глобальном масштабе и производятся без сколько-нибудь ясного представления о возможных последствиях происходящих геохимических трансформаций, которые способны менять экологическую ситуацию в пределах не только отдельного населенного пункта, но даже и крупного региона. Наглядным результатом таких воздействий явились не только рост числа геохимически спровоцированных заболеваний, появление значительного количества ранее неизвестных патологий, но также изменения частоты и жесточине характера протекания ряда таких соматических болезней, как, например, различные виды аллергии, простудные, онкологические заболевания и др. Так, в промышленно развитой Японии в 1953 г. сотни людей заболели, а более 50 погибли от «болезни Минамата», вызванной техногенным отравлением ртутью, в 1955 году в этой же стране была идентифицирована болезнь «итай-итай», спровоцированная превышением концентрации кадмия, а с 1968 года стала известна болезнь «юшо», возникающая вследствие отравления полихлорированными бифенилами (ПХБ).

Еще В.И. Вернадский, а позднее А.П. Виноградов (1932), А.И. Перельман (1973), М.А. Глазовская (1992) и В.В. Добровольский (1984) отмечали количественную несоразмерность воздействия факторов природного и антропогенного генезиса на окружающую среду. Это верно и применительно к текущему

моменту. Так, например, даже площадь одновременно распахиваемых земель пока не превышает 8% общей площади суши (Henderson P., Henderson G. M., 2009). Но в то же время мощность миграционных потоков, перемещающих в пределах планеты промышленные объемы хрома, никеля, углерода или золота, на сегодняшний день уже способна значительно превосходить их природные аналоги. Особая опасность в данном случае состоит в том, что в условиях ноосферы присутствие даже физически ничтожного количества определенных ксенобиотиков, таких например, как радионуклиды, иногда способно кардинально и надолго изменить качество среды обитания.

Применительно к задачам биогеохимии такое положение дел приводит к интенсивному росту актуальности решаемых проблем, в первую очередь, в государствах с опережающим объемом увеличения горнодобывающего, металлургического, сельскохозяйственного и химического производства, то есть в Китае, Индии, Бразилии, Мексике и России, тем более что: «Нет никаких оснований для надежд на построение искусственных сообществ, обеспечивающих стабилизацию окружающей среды с той же степенью точности, что и естественные сообщества. Сокращение естественной биоты в объеме, превышающем пороговое значение, лишает устойчивости окружающую среду, которая не может быть восстановлена за счет создания очистных сооружений» ((В.Г. Горшков, цит по <http://noologia.ru/nooekology/noo-ekologia.html>).

## Глава VII МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ОПЫТ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

### 7.1 Общие принципы картографической оценки эколого-геохимической обстановки

Опыт, полученный в ходе изучения параметров йододефицита в Нечерноземье, при исследованиях специфики распределения загрязнителей в бассейне р. Енисей и особенно в процессе выполнения работ по изучению параметров структуры техногенных радиобиогеохимических провинций в зоне аварии на ЧАЭС (Коробова, 2016), целиком подтвердил правильность сделанных ранее теоретических выводов о специфической упорядоченности геохимической структуры современной ноосферы. Она действительно представляет собой двуслойный объект, который состоит из мощной естественно-природной основы, на которую сверху наложен относительно тонкий слой вещества техногенного происхождения, формирующего в отдельных местах экологически значимые геохимические аномалии. Данная предпосылка позволила сделать принципиально важное заключение о том, что, *зная закономерности пространственно-структурной организации* каждого из этих слоев, можно с достаточно высокой точностью воспроизвести *результат их взаимной интерференции и таким образом получить возможность оценки экологических последствий, возникающих в результате именно совокупного геохимического воздействия природных и техногенных факторов на любые биологические объекты, присутствующие в любой точке исследуемой территории.*

Анализ основных этапов эволюции ноосферы позволил доказать правильность утверждения о том, что в качестве эталонного естественно-природного геохимического фона, отражающего исторический результат взаимодействия зональных биоценозов со средой своего обитания, может рассматриваться геохимическая структура ненарушенного почвенного покрова, а анализ параметров структурной организации современных радиобиогеохимических и техногенных геохимических провинций показал, что в подавляющем большинстве случаев они представляет собой набор взаимоналоженных аномалий моно- или полицентрического типа, благодаря чему вклад именно техногенной составляющей в общее содержание каждого из элементов может быть относительно легко вычленен и количественно учтен.

В целом, полученные результаты убедительно свидетельствуют о том, что сформулированные теоретические предпосылки позволяют создать методические корректные решение проблемы выявления и оценки уровня риска распространения большинства эндемических заболеваний геохимической природы.

В общих чертах способ решения поставленной задачи может быть описан в виде следующей последовательности операций.

1. Выявление пространственной специфики природного геохимического фона всех биологически значимых элементов и соединений.
2. Разработка методик построения детальных геохимических карт отдельно для природного фона и для техногенного загрязнения с учетом параметров геохимического оптимума для изучаемых групп населения или видов растений и животных.
3. Осуществление операции оверлейного взаимоналожения полученных картографических слоев с целью получения обобщенной интерференционной картины, характеризующей комплексное геохимическое воздействие.
4. Сопоставление наблюдаемых параметров геохимической среды с параметрами геохимического оптимума, определенного для разных групп населения и исследуемых видов животных и растений.
5. Создание эколого-геохимической карты, характеризующей величину избытка или дефицита элементов в пределах исследуемой территории.
6. Верификация полученных результатов по данным медицинской статистики и внесение необходимых поправок и уточнений.

Уникальная возможность чисто практической проверки правильности выдвинутых соображений представилась в ходе проведения работ по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС 1986 года, когда в результате взаимоналожения полей природного и техногенного изотопов одного и того же элемента - стабильного  $^{127}\text{I}$  и радиоактивного  $^{131}\text{I}$  - физиологически значимому воздействию подверглось миллионы жителей России, Беларуси и Украины, проживающее на сотнях тысяч квадратных километров.

## **7.2 Построение карты риска спровоцированных заболеваний щитовидной железы**

### ***7.2.1 Методика оценки йодного статуса и построение карты йододефицита***

Йод необходим для нормального функционирования щитовидной железы у животных и человека как основной компонент тиреоидных гормонов щитовидной железы (тироксина и трийодтиронина). При этом для поддержания постоянного баланса взрослому человеку, согласно рекомендации ВОЗ (2001), в сутки требуется 150-200 мкг йода, минимальная суточная потребность в йоде составляет 50-75 мкг (Василенко, 2004), в противном случае в организме неизбежно происходят морфологические и физиологические нарушения типа эндемического зоба или гипотиреоза.

По данным Министерства здравоохранения в конце XX века каждый пятый человек в России страдал эндемическим зобом (Дедов, 2006), а более половины ее территорий (Поволжье, Урал, Центрально-Европейская часть, Алтай) представляли собой выраженные йододефицитные биогеохимические провинции (Ковальский, 1974). В настоящее время различными формами заболеваний щитовидной железы в Российской Федерации страдают более 50

млн человек, а в специализированной эндокринологической помощи ежегодно нуждалось 1 546 773 взрослых и 643 934 ребенка (Дедев и др., 2006).

По информации МКРЗ, в организме взрослого человека должно постоянно присутствовать 12 мг йода, запас которого требует постоянного пополнения. При этом 90% необходимого йода человек получает с продуктами питания, остальные 10% - с водой (МКРЗ, публ. 56, 1989). Таким образом, уровень опасности в значительной мере определяется спецификой местного рациона, поскольку дефицит содержания йода в почвах практически однозначно означает недостаток его в сельскохозяйственной продукции, выращенной на этих почвах. По В.В. Ковальскому (1974) дефицит йода возникает в регионах, где его содержание в почвах не превышает 5 мг/кг.

Анализ данных таблицы 6, характеризующих обеспеченность основных зональных почв йодом, подтвердил наличие прочной связи содержания этого элемента с типом почв. Для дерново-подзолистых почв Ю.Н. Зборишук (1975) даже аппроксимировал эту зависимость формулой:  $C_1 = 0,25 + 0,43C_{\text{орг}}$ , где  $C_{\text{орг}}$  - содержание органического углерода, а исследования в нечерноземной зоне показали, что существенную положительную роль играет и гранулометрический состав, который в значительной мере определяет емкость обменного поглощения. Так, например, содержание йода в дерново-подзолистых почвах на песках и тяжелых суглинках различалось в 8 раз (Коробова, 1992), а для почв Беларуси, где эта связь была проверена статистически, величина коэффициента корреляции между содержанием йода и количеством тонкодисперсных частиц размером менее 0.05 мм составила  $r=0.93$  (Санько, Лозовский, Синица, 1973).

Таблица 6 - Среднее содержание йода в основных типах почв (мг/кг в.с.м.)

Тип почвы	Метод	Статистические параметры и их размерность						Автор
		n	M	m		V	lim	
		ед.	мг/кг в.с.м.			%	мг/кг в.с.м.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Подзолистые	3	-	0,50	0,06	0,30	60	-	Зырин, Зборишук, 1975
Подзолистые	1	14	2,7	-	-	-	0,9-3,6	Ковда, Якушевская, Тюрюканов, 1959
Торфяно-подзолисто-глеевые	3	-	4,71	0,93	3,72	79	-	Зырин, Зборишук, 1975
Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые (Латвия)	5	54	5,09	0,55	-	-	0,92-17,98	Карелина, 1957
Болотно-подзолистые (НЗ)	2	9	1,29	0,34			0,32-2,32	Коробова, 1992
Подзолистые заболоченные (Эстония)	2	130	1,22	0,71	-	78,1		Калмет, 1975
Дерново-подзолистые (все)	3	-	1,05	0,05	0,54	51	-	Зырин, Зборишук, 1975
Дерново-подзолистые (НЗ)	2	57	1,56	0,24			0,13-8,63	Коробова, 1992
Дерново-подзолистые (Беларусь)	2						0,04-2,87	Лукашев, Комракова, 1986
Дерново-подзолистые (Эстония)	2	200	0,86	0,30	-	45,4		Калмет, 1975

Тип почвы	Метод	Статистические параметры и их размерность						Автор
		n	M	m		V	lim	
		ед.	мг/кг в.с.м.			%	мг/кг в.с.м.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дерново-подзолистые, дерново-подзолисто-глеевые (Латвия)	5	373	0,99	0,03	-	-	Сл.- 3,45	Карелина, 1957
Дерново-подзолистые песчаные	3	-	0,66	0,08	0,39	59	-	Зырин, Зборищук, 1975
Дерново-подзолистые песчаные (Беларусь)	2	74	0,64	0,03	0,26	40,5	-	Лозовский, 1971
Дерново-подзолистые супесчаные	3	-	1,10	0,10	0,57	52	-	Зырин, Зборищук, 1975
Дерново-подзолистые супесчаные (Беларусь)	2	77	0,88	-	-	-	-	Лозовский, 1971
Дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые	3	-	1,16	0,08	0,48	41	-	Зырин, Зборищук, 1975
Дерново-подзолистые суглинистые на моренных суглинках (Беларусь)	2	16	1,03	0,09	0,35	34,0	-	Лозовский, 1971
Дерново-подзолистые суглинистые на покровных суглинках (Беларусь)	2	22	1,39	0,07	0,32	23,2	-	Лозовский, 1971
Дерново-подзолистые тяжело-суглинистые	3	-	1,19	0,17	0,44	37	-	Зырин, Зборищук, 1975
Дерново-подзолисто-глеевые	3	-	1,45	0,20	0,85	59	-	Зырин, Зборищук, 1975
Дерново-глеевые	3	-	1,77	0,26	1,29	73	-	Зырин, Зборищук, 1975
Дерново-глеевые (НЗ)	2	6	3,62	1,21			1,24-7,7	Коробова, 1992
Дерновые заболоченные (Эстония)	2	200	2,78	1,84	-	66,2		Калмет, 1975
Дерново-карбонатные	3	-	1,91	0,22	0,89	46	-	Зырин, Зборищук, 1975
Дерново-карбонатные (Эстония)	2	200	2,79	1,71	-	61,3		Калмет, 1975
Перегнойно-карбонатные (НЗ)	2	11	9,84	3,62	-	-	0,76-17,0	Коробова, 1992
Светло-серые лесные ЦЧО, Среднерусская возвышенность	1	3	1,6	0,5	0,9	57	0,8-2,6	Протасова и др., 1992
Серые лесные	3	-	2,92	0,37	1,09	36	-	Зырин, Зборищук, 1975
Серые лесные	1	3	2,8				0,3-6,7	Ковда, Якушевская, Тюрюканов, 1959
Серые лесные (ЦЧО)	4	7	2,5	0,2	0,6	22	1,7-3,1	Протасова и др., 1992
Серые лесные (Владимирское, Вятское ополья)	2	15	3,52	0,72			0,26-8,29	Коробова, 1992
Темно-серые лесные (ЦЧО)	1	3	3,2	0,4	0,6	19	2,7-3,9	Протасова и др., 1992**
Черноземы	3	-	5,03	0,74	2,86	57	-	Зырин, Зборищук, 1975



Продолжение таблицы 6

Тип почвы	Метод	Статистические параметры и их размерность						Автор
		n	M	m		V	lim	
		ед.	мг/кг в.с.м.			%	мг/кг в.с.м.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Черноземы	1	4	5,4	-	-	-	2,0-9,8	Ковда, Якушевская, Тюрюканов, 1959
Черноземы оподзоленные (ЦЧО)	4	8	4,0	0,2	0,6	16	3,0-4,9	Протасова и др., 1992**
Черноземы выщелоченные (ЦЧО)	4	5	4,1	0,4	0,9	20	3,0-4,8	Протасова и др., 1992
Черноземы типичные (ЦЧО)	4	11	5,6	0,2	0,8	14	4,1-7,2	Протасова и др., 1992
Черноземы южные (ЦЧО)	4	3	5,6	0,4	0,8	13	5,1-6,5	Протасова и др., 1992
Черноземы южные (Ростовская область)	2	125	4,93	-	-	-	1,6– 14,5	Соборникова, Долинчук, 1973
Каштановые	3	-	5,06	0,89	2,67	53	-	Зырин, Зборищук, 1975
Луговые	3	-	2,32	0,54	1,70	70	-	Зырин, Зборищук, 1975
Торфяно-болотные (верховые)	3	-	2,20	0,27	1,13	51	-	Зырин, Зборищук, 1975
Болотные верховые (Эстония)	2	45	7,00	2,10	-	30,0		Калмет, 1975
Торфяно-болотные (переходные и верховые) (Беларусь)	2	10	3,65	0,33	1,05	28,8		Лозовский, 1971
Торфяно-болотные (переходные и низинные)	3	-	9,30	1,11	5,10	55	-	Зырин, Зборищук, 1975
Торфянисто-глеевые	3	-	4,78	0,90	3,80	80	-	Зырин, Зборищук, 1975
Торфяно-болотные (Беларусь)	2						3,3-15,9	Лукашев, Комракова, 1986
Болотные низинные (Эстония)	2	85	15,2	4,2	-	27,6	-	Калмет, 1975
Торфяные низинные (Латвия)	5	54	9,61	0,60	-	-	3,60-20,37	Карелина, 1957, 1965
Торфяно-болотные низинные (Беларусь)	2	36	9,23	0,59	3,56	38,6	-	Лозовский, 1971
Пойменные	3	-	2,24	0,29	1,19	53	-	Зырин, Зборищук, 1975
Пойменные (Эстония)	2	16	1,90	1,45	-	76,3		Калмет, 1975
Пойменные луговые (Беларусь)	2	20	2,27	0,48	2,13	93,9	-	Лозовский, 1971
Пойменные дерновые (НЗ)	2	18	3,86	0,36	-	-	0,03-5,38	Коробова, 1992
Пойменные луговые (НЗ)	2	11	2,82	1,55	-	-	0,21-18,0	Коробова, 1992
Пойменные болотные (НЗ)	2	13	4,27	0,86	-	-	0,34-13,1	Коробова, 1992

Примечания: метод определения йода: 1) по Драгомировой с модификациями, 2) кинетический роданидно-нитритный, 3) различные; 4) метод неизвестен, 5) по Троицкому. Сокращенное обозначение регионов: НЗ – нечерноземная зона, ЦЧО – центральные черноземные области.

Полученные результаты позволили не только сделать общее заключение о

дефиците содержания йода в почвах Нечерноземья, но и в целом подтвердили зонально-климатические особенности его пространственного распределения. В пределах подзолистой зоны, где расположены Калужская и Брянская области РФ, значительным дефицитом йода характеризуются 63% почв, тогда как для лесостепной и степной зон, к которым в основном относятся территории Тульской и Орловской областей с серыми лесными и черноземными почвами, этот показатель значительно ниже (Ковальский, Андрианова, 1970).

Наличие этой информации открывало возможность создания специальной геохимической карты, позволяющей детально характеризовать пространственную неоднородность распределения йода в почвах практически любых исследованных территорий.

Принципиальная возможность создания таких карт определялась существованием карты почв, в содержании которой традиционно заложены настолько большие объемы атрибутивной информации, что это позволяет путем целенаправленной трансформации легенды создать на ее основе новую картографическую поверхность при сохранении базовой карты в качестве контурной основы.

Поскольку каждому из типов почв, отображенных в легенде почвенной карты, могло быть поставлено в соответствие вполне определенное цифровое значение, соответствующее уровню его природной обеспеченности йодом, то таким образом почвенная карта могла быть достаточно легко преобразована в карту обеспеченности территории йодом.

Дальнейшая оценка йодного статуса осуществлялась на базе классических подходов В.В. Ковальского и производилась в два этапа. На первом этапе все картографированные почвенные контура получили окраску в градациях их обеспеченности йодом, а на втором – легенда карты была преобразована в соответствии с новой балльной шкалой, отображающей уровень йододефицита.

В целях получения сопоставимых результатов в качестве условно-оптимального содержания йода в почвах рассматривалось его содержание в типичных черноземах, что и соответствовало критерию В.В. Ковальского (1974). При разработке легенды учитывался диапазон изменения содержания йода в почвах картографируемой территории и интервал концентраций, предложенный В.В. Ковальским для оценки дефицитности почв по йоду. После чего каждому интервалу концентраций был поставлен в соответствие определенный уровень дефицитности. В результате была создана цветовая шкала балльных оценок, с помощью которой появилась возможность наглядно отображать уровень йододефицита, свойственный почвам того или иного типа и гранулометрического состава (таблица 7, рис. 24).

Проведенная оценка йодного статуса почв, рассчитанная картографически как средневзвешенная в заданном радиусе, была использована при определении вклада йододефицита в распространенность рака щитовидной железы среди жителей значительного числа населенных пунктов на территориях РФ и РБ (Korobova et al., 2010). Это позволило на основании медицинских данных показать, что при нормированной дозойной нагрузке в 1 Гр, риск возникновения рака щитовидной железы среди детей, проживающих в населенных пунктах с содержанием стабильного I в почвенном покрове менее  $2,5 \text{ мг/дм}^3$ , был почти в 3 раза выше по сравнению с пунктами, расположенными в зоне с более высоким уровнем обеспеченности йодом (Cardis et al., 2005; таблица 8).

Таблица 7 Критерии оценки уровня йододефицита по почвенному покрову с учетом пороговых критериев В.В. Ковальского (1974)

Индекс на карте	Обеспеченность местных почв йодом	Тип почвы
1.1	Острый дефицит (< 1 мг/кг)	Подзолистые, дерново-слабо-, средне- и сильноподзолистые песчаные и супесчаные на песках
1.2	Сильный дефицит (1,0-1,5 мг/кг)	Дерново-средне- и сильноподзолистые песчаные и супесчаные, дерново-подзолисто-глиеые на моренных суглинках
1.3	Дефицит (1,5-2,0 мг/кг)	Дерново-средне- и сильноподзолистые суглинистые на моренных и покровных суглинках, дерново-подзолистые суглинистые на покровных суглинках
2.1	Умеренный дефицит (2,0-3,0 мг/кг)	Светло-серые и серые средне- и тяжелосуглинистые на покровных суглинках, дерново-глиеые
2.2	Слабый дефицит (3,0-5,0 мг/кг)	Темно-серые лесные средне- и тяжелосуглинистые и глинистые на покровных суглинках, торфяно-подзолисто-глиеые
2.3	На нижней границе нормы (~ 5,0 мг/кг)	Черноземы выщелоченные и оподзоленные средне- и тяжелосуглинистые и глинистые на покровных суглинках
3.1	В пределах нормы (5,0-12,0 мг/кг)	Черноземы типичные глинистые и тяжелосуглинистые на покровных суглинках, лугово-черноземные
3.2		Болотные низинные
4.0	От дефицита до нормы	Аллювиальные почвы

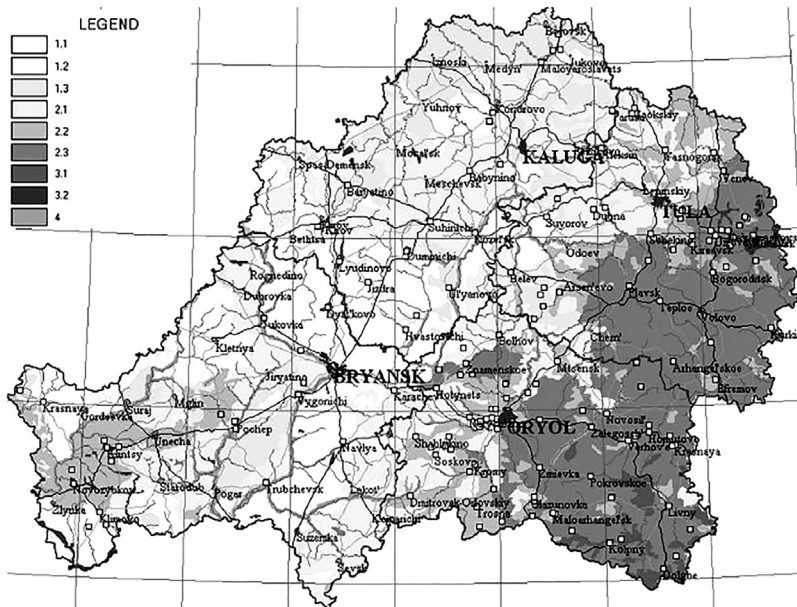


Рисунок 24 - Схематическая карта йодного статуса почвенного покрова четырех областей РФ, пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС (условные обозначения – см. табл. 7), электронная карта создана А.И. Кувылиным

Таблица 8 - Обеспеченность почв стабильным йодом и риск возникновения рака щитовидной железы у детей, проживающих на территориях России и Белоруссии, подвергшихся наибольшему радиоактивному загрязнению (по Cardis et al., 2005)

Обеспеченность почв йодом мг/дм <sup>3</sup>	Вероятность РЩЖ при дозовой нагрузке в 1 Гр (среднее и 95% доверительный интервал)
Более 2,5	3,5 (1,8 - 7,0)
Менее 2,5	10,8 (5,6 - 20,8)

Дальнейшие работы по определению влияния йододефицита были продолжены в Брянской области как наиболее пострадавшей при аварии на ЧАЭС. В данном случае карта обеспеченности почв стабильным йодом была также построена на базе почвенной карты масштаба 1:1000000 (рис. 25, 26).

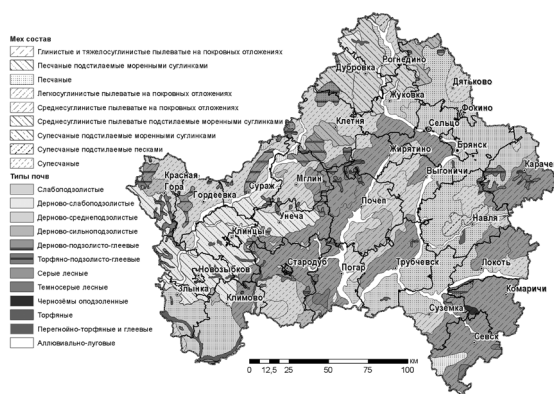


Рисунок 25 - Почвенная карта Брянской области (электронный вариант создан В.С. Баранчуковым)

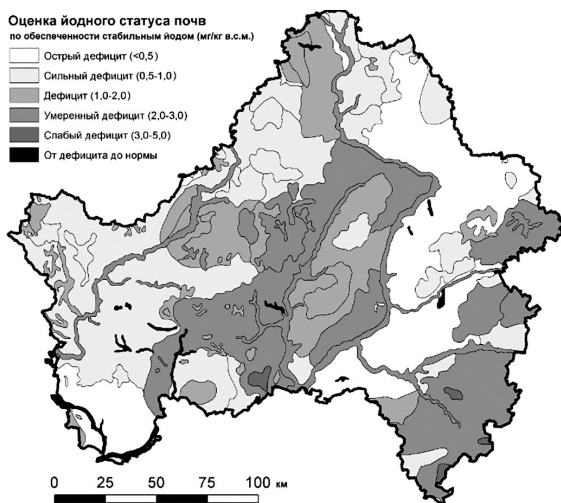


Рисунок 26 - Карта йодного статуса почв Брянской области (электронная версия создана В.С. Баранчуковым)

Таким образом, важная задача картографической оценки уровня наблюдаемого природного йододефицита больших территорий была успешно решена.

### 7.2.2 Построение карты «йодного удара»

В ходе аварии на Чернобыльской АЭС 1986 года в атмосферу было выброшено от  $1,2 \cdot 10^{18}$  до  $1,9 \cdot 10^{18}$  Бк радиоактивного йода (Израэль, 2006), и хотя общая масса выброса  $^{131}\text{I}$  не превысила и 110 граммов, последствия так называемого «йодного удара» оказались колоссальными. Уровень радиационного фона изменился во всем северном полушарии, увеличившись на ряде прилегающих к реактору территорий сразу на 5 порядков, местами достигая значений  $18500 \text{ кБк/м}^2$  ( $500 \text{ Ки/км}^2$ ), что в 20–50 раз превысило уровень загрязнения тех же территорий радиоцезием и повлекло за собой резкий всплеск заболеваний ЩЖ.

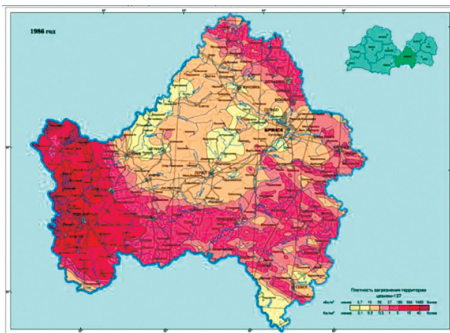
Несмотря на относительную кратковременность непосредственного воздействия (период полураспада этого радиоизотопа - 8,06 суток), последствия облучения и через 30 лет продолжают сказываться на здоровье пострадавшего населения.

Медицинские исследования показали, что риск заболевания раком щитовидной железы (РЩЖ) в зоне «йодного удара» возрос в среднем в 5–6 раз, а по отдельным группам населения Беларуси (дети до 12 лет) даже в 72 раза (Национальный доклад..., 2006; Shakhtarin et al., 2003; Иванов и др., 2002).

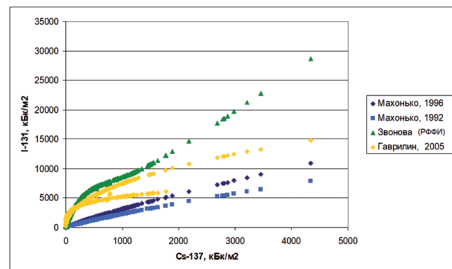
В данном случае действие ионизирующей радиации проявилось на фоне значительного природного йододефицита, из-за чего, с одной стороны, значительно возросла радиочувствительность, а с другой стороны, была существенно снижена устойчивость организмов к неблагоприятным факторам внешней среды.

Существенным препятствием для оценки уровня возникавшего риска явилось полное отсутствие карт, характеризующих пространственную специфику загрязнения территории РФ  $^{131}\text{I}$ .

В этих условиях карта загрязнения Брянской области  $^{131}\text{I}$  была построена на основании данных о плотности загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$ . Последовательность проведенных картографических операций видна из рис. 27.



(a)



(б)



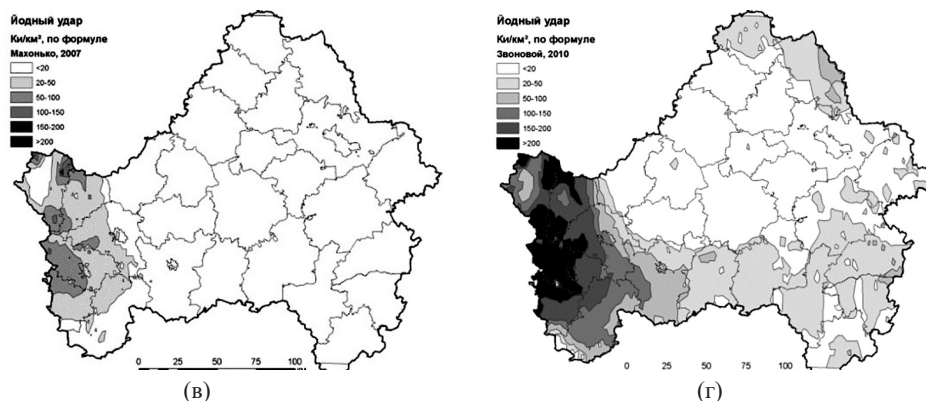


Рисунок 27 - Плотность загрязнения Брянской области  $^{137}\text{Cs}$  в 1986 г. (а, Атлас, 2009) и оценка плотности загрязнения  $^{131}\text{I}$  по формулам пересчета К.П. Махонько и др. (б, в) и И.А. Звоновой (б, г)

### 7.2.3 Построение карты сочетанного риска заболеваний щитовидной железы и ее верификация

Теоретическую основу создания карты риска заболеваний щитовидной железы составляла рабочая гипотеза о том, что путем совмещения карты «йодного удара» с картой природного йододефицита можно обнаружить зоны повышенного риска, в пределах которых ответная реакция на «йодный удар» должна была проявить себя в наибольшей степени.

Для того чтобы осуществить проверку этой гипотезы требовалось: создать карту йодного статуса территории, картографировать интенсивность «йодного удара», осуществить ортотрансформацию и оверлейную операцию взаимного наложения этих информационных слоев и на основе данных медицинской статистики провести верификацию полученной карты риска.

Корректное выполнение данной последовательности операций представляло собой серьезную методическую проблему, которая была решена с использованием специализированных ГИС-технологий, реализованных средствами ArcGIS 10.0.

Специального подхода потребовала и процедура создания легенды к полученной карте сочетанного риска, для упрощения которой балльные «веса» отдельно взятых факторов были первоначально приняты одинаковыми, что дало возможность существенно упростить процедуру получения комплексных оценок уровня риска для контуров, одновременно характеризующихся разной выраженностью йододефицита и разной интенсивностью «йодного удара». В результате полученные сочетания факторов были ранжированы на 6 категорий, в соответствии с которыми на карте Брянской области были выделены 6 зон риска.

На полученной карте не только отобразилась зона высокого риска, возникшая в результате радиационного загрязнения запада и юго-запада об-



ласти, но и обнаружались значимые по площади участки с аналогичным уровнем риска, расположенные в северной и восточной ее частях (рис. 28).

Анализ, выполненный по медицинским данным о распространенности папиллярных форм РЩЖ в 15 районных центрах Брянской области и по распределению эндемических заболеваний ЩЩ по данным скрининга после аварии на ЧЭАС, подтвердил факт наличия связи уровня эколого-геохимического риска с количеством выявленных заболеваний ЩЖ, о чем свидетельствуют рис. 29-30.

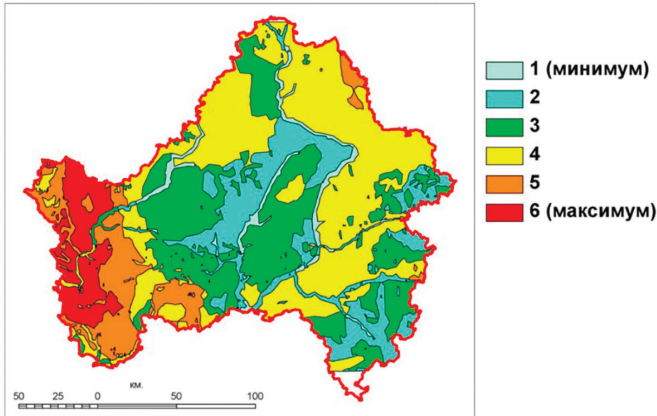


Рисунок 28 - Карта риска заболеваемости РЩЖ: 1 – минимальный; 2 – слабый; 3 – умеренный; 4 – выраженный; 5 – сильный, 6 – максимальный (электронная версия создана В.С. Баранчуковым)

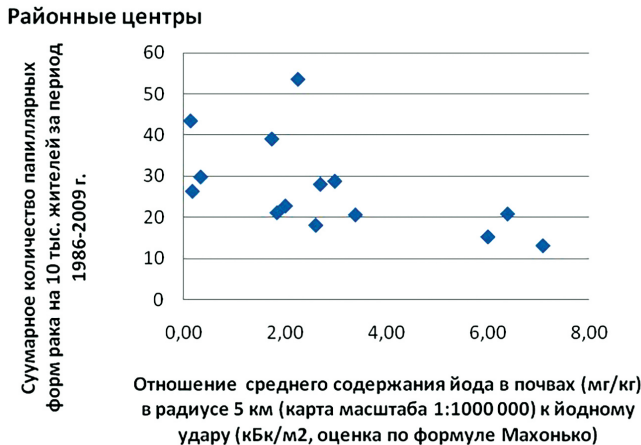


Рисунок 29 - Число заболевших РЩЖ в районных центрах Брянской области (по данным БКДЦ) и величина отношения  $^{127}\text{I}/^{131}\text{I}$  (картографическая оценка в радиусе 5 км по почвенной карте масштаба 1: 1000 000)

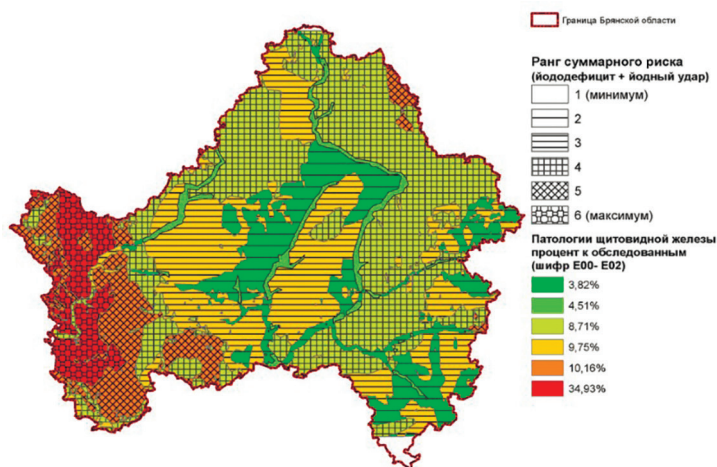


Рисунок 30 - Распределение эндемических заболеваний ЩЗ по зонам суммарного риска (картограмма построена В.С. Баранчуковым)

Для более точной верификации полученных результатов был разработан специальный метод проверки. Территория Брянской области была разбита на квадраты размером 25x25 км, применительно к которым был оценен риск и сгруппирована вся медицинская информация. Такая проверка позволила выявить на территории области несколько специфических выделов – серий квадратов с близкой к линейной зависимостью между уровнем риска и параметрами наблюдаемой заболеваемости (рис. 31).

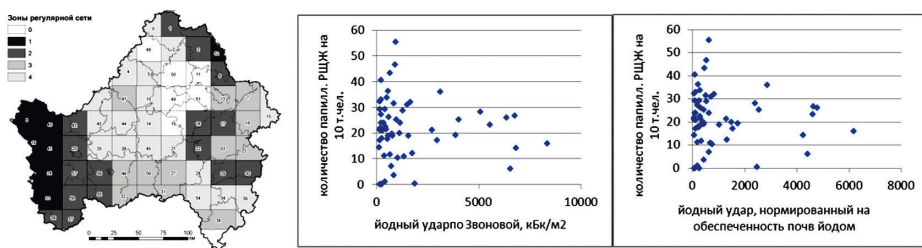


Рисунок 31 - Верификация карты риска по данным медицинской статистики. Белым фоном отмечены квадраты, исключенные из рассмотрения по той причине, что в них расположены г. Брянск и населенные пункты со значительным числом переселенцев из загрязненной зоны

Полученные результаты однозначно продемонстрировали наличие связи заболеваемости с интенсивностью проявления двух качественно разных и специфически пространственно распределенных факторов. Таким образом, была не только подтверждена принципиальная правильность выдвинутых теоретических положений, но и на практике продемонстрирована возможность реализации разработанной методики построения специализированных синтетических карт, способных с достаточной степенью точности и детальности характеризовать сочетанное воздействие нескольких экологически значимых факторов, как природного, так и техногенного происхождения.

Поскольку схожий характер пространственного распространения имеют практически все техногенные загрязнители, включая ртуть, цинк, нитраты или даже стойкие органические загрязнители (СОЗ), есть все основания для того, чтобы считать предлагаемый методический подход универсально пригодным для решения широкого класса эколого-геохимических задач, связанных с комплексной оценкой риска возникновения заболеваний геохимической природы. Тем более, что такого рода карты пригодны не только для оценки и прогноза эколого-геохимической обстановки больших территорий, но могут иметь особое значение в условиях ликвидации последствий крупных техногенных аварий и при оценке эпидемиологической ситуации, возникающей при интенсивном техногенном загрязнении крупных промышленных центров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение опыта работ, полученного в процессе совершенствования методов картографирования техногенных и природных биогеохимических провинций, показало, что меру опасности возникновения эндемических заболеваний геохимической природы можно охарактеризовать величиной отклонения содержания того или иного элемента от некоторой константы, соответствующей оптимальным потребностям местных биоценозов. Это позволило сформулировать гипотезу о принципиальной возможности обобщенного (дедуктивного) решения всех задач подобного класса, реализуемого в рамках единой методической процедуры.

Опираясь на результаты исследований, проведенных в нечерноземье, на Енисее и в зоне аварии на ЧАЭС удалось доказать, что современная ноосфера, в отличие от первичной биосферы, представляет собой генетически дифференцированную двуслойную систему, состоящую из мощного природного субстрата, перекрытого сверху относительно тонким слоем вещества техногенного происхождения. При этом удалось выяснить и показать, что каждый из слоев ноосферы значим в экологическом отношении, закономерно пространственно упорядочен и может быть априорными средствами отображен в виде соответствующей картографической поверхности.

Анализ основных этапов эволюции ноосферы позволил доказать правильность утверждения о том, что в качестве эталонного, естественного геохимического фона, отражающего исторический результат взаимодействия зональных биоценозов со средой своего обитания, может рассматриваться геохимическая структура ненарушенного почвенного покрова, а изучение структурных особенностей техногенных геохимических провинций показало, что в подавляющем большинстве случаев они представляют собой набор наложенных аномалий моно- или полицентрического типа, благодаря чему вклад именно техногенной составляющей в общее содержание каждого из элементов может быть достаточно легко вычленен и количественно учтен.

Таким образом, отдельный учет геохимической неоднородности почвенного покрова и структуры наблюдаемых техногенных аномалий позволяет комплексно охарактеризовать эколого-геохимический статус больших территорий и сформулировать адресные рекомендации по оптимизации сети медико-геохимического мониторинга, профилактике эндемических заболеваний геохимической природы и определений региональных и локальных критериев экологического нормирования.

Практическая реализация предлагаемого подхода проверена на примере исследования результатов сочетанного эколого-геохимического воздействия двух разных изотопов йода – стабильного  $^{127}\text{I}$  и радиоактивного  $^{131}\text{I}$ . Результат показал, что сформулированная задача может быть теоретически корректно решена путем анализа интерференционной картины, получаемой путем оверлейного совмещения картографических слоев, интерпретируемой с помощью современной тематической ГИС как синтетическая карта риска, отображающая вероятность возникновения эндемических заболева-

ний геохимической природы.

Из всего сказанного следует, что принципиальная возможность представления результатов эколого-геохимических работ в виде карт, отображающих зоны с разным уровнем риска возникновения того или иного эндемического заболевания, открывает перспективы универсального решения ряда актуальных проблем, поскольку такое решение может быть получено не только для разных половозрастных групп населения, но также и для отдельных видов животных и растений, находящихся в условиях критического дефицита биологически значимых микроэлементов или, наоборот, подвергающихся воздействию любых существующих токсикантов.

Разработанные теоретические и методические подходы к выявлению, изучению и моделированию пространственной структуры современных биогеохимических провинций носят универсальный характер, отвечают современным тенденциям развития геоинформационных технологий, позволяют создавать медико-геохимические базы данных и пригодны для выявления, визуализации и оценки пространственно распределенной эколого-геохимической информации, что, по мнению автора, в будущем может составить основу автоматизированной системы принятия решений по организации селитебных территорий, формированию стратегии эколого-геохимического нормирования и профилактике микроэлементозов.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую благодарность академику Э.М. Галимову за поддержку проводимых исследований, д.б.н. В.В. Ермакову, чл.-корр. РАН Т.И. Моисеенко и д.т.н. И.А. Звоновой за ценные рекомендации, а также искренне благодарит сотрудников Института: д.х.н. Б.Н. Рыженко, д.г.н. В.Г. Линника., д.х.н. В.М. Шкинева, д.т.н. Б.К. Зуева, д.х.н. В.П. Колотова, к.х.н. И.М. Седых, к.г.-м.н. О.А. Лиманцеву, к.х.н. Н.В. Корсакову, к.х.н. Н.Н. Догадкина, А.П. Борисова, Е.В. Черкасову, а также к.г.н. С.Л. Романова (УП «Геоинформационные системы» НАНБ) за внимание к работе и полезные консультации. В разное время в исследованиях принимали участие д.б.н. Н.П. Чижилова (Почвенный институт им. В.В. Докучаева), к.г.-м.н. В.Ю. Березкин, к.г.-м.н. Л.И. Колмыкова, В.С. Баранчуков, В.Н. Данилова, к.х.н. С.Д. Хушвахтова, к.х.н. И.М. Седых, Н.П. Старшинова, И.Н. Громяк (все - ГЕОХИ РАН), С.С. Киров (ИГКЭ Роскомгидромета и РАН). Большую помощь в проведении работ по Енисею оказали д.т.н. О.В. Степанец (ГЕОХИ РАН), к.г.н. Н.Г. Украинцева, к.г.н. В.В. Сурков, к.г.-м.н. И.Д. Стрелецкая и к.г.-м.н. В.И. Гребенец (МГУ им. М.В. Ломоносова), д.г.н. В.Г. Линник и к.г.-м.н. А.Г. Волосов (ГЕОХИ РАН), к.г.-м.н. Т.Н. Алексеева (ИО РАН). Первый вариант ГИС Брянской области и программа картографической оценки обеспеченности почв йодом по электронной почвенной карте были созданы А.И. Кувылиным (РНЭЦ, ГЕОХИ РАН). Важную поддержку исследованиям оказывал профессор, д.г.н. В.В. Добровольский.

*Автор глубоко признателен д.м.н. В.Н. Дорощенко, к.б.н. А.В. Силенку и И.В. Курносовой (Брянский клинико-диагностический центр) за предоставление важной медицинской информации, сотрудникам центра Е.Н. Сутугиной и О.В. Гапеевой за участие в полевых обследованиях населенных пунктов; Е.М. Макаровой (Брянск-Геоцентр) за предоставление гидрогеохимической информации по Брянской области и оказание помощи в проведении полевых работ, Е.И. Чесаловой (Музей им. В.И. Вернадского РАН) за перевод картографической информации в ArcGIS и первые картографические расчеты в этой среде.*

*Данная работа была бы невозможна без постоянного обращения автора к трудам его учителей – профессора, д.г.н. А.И. Перельмана, профессора, д.г.н. М.А. Глазвской, члена-корреспондента ВАСХНИЛ, профессора, д.б.н. В.В. Ковальского, к фундаментальным работам д.б.н. С.В. Летуновой, д.б.н. Э.Б. Тюрюкановой, д.х.н. Ф.И. Павлоцкой, д.х.н. Г.М. Вариал.*

*Работа частично выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 07-05-00912, 10-05-01148, 13-05-00823). Отдельные части работы выполнены в рамках проектов Международного агентства по изучению рака (IARC, Лион) и Комиссии европейского сообщества INCO-COPERNICUS: "ESTABLISH".*



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авцын, А.П.* Введение в географическую патологию / А.П. Авцын. – Москва: Медицина, 1972. – 327 с.
2. Микроэлементозы человека / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова. – Москва: Медицина, 1991. – 496 с.
3. *Аксенов, Г.А. Вернадский* / Г.А. Аксенов. – 2-е изд. – Москва: Молодая гвардия, 2010. – 565 с.
4. *Алексеева, Т.И.* Географическая среда и биология человека / Т.И. Алексеева. – Москва: Мысль, 1977. – 397 с.
5. *Апарин, Б.Ф.* Особенности почвообразования на двучленных породах северо-запада Русской равнины / Б.Ф. Апарин, Е.В. Рубилин. – Ленинград: Наука, 1975. – 196 с.
6. Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии / М. де Корт, Г. Дюбуа, Ш.Д. Фридман, М.Г. Герменчук, Ю.А. Израэль, А. Янссенс, А.Р. Джонес, Г.Н. Келли, Е.В. Квасникова, И.И. Матвеевко, И.М. Назаров, Ю.М. Покумейко, В.А. Ситак, Е.Д. Стукин, Л.Я. Табачный, Ю.С. Цатуров, С.И. Авдюшин. – Люксембург: Бюро по официальным изданиям Европейских сообществ, 1998. – 108 с.
7. Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины / С.М. Вакуловский, Ю.А. Израэль, Е.В. Ишменник, Е.В. Квасникова, Р.С. Контарович, И.М. Назаров, М.И. Никифоров, Е.Д. Стукин, Ш.Д. Фридман. – Москва: ИГКЭ Росгидромета; Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1998. – 142 с.
8. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. – Москва-Минск: Фонд «Инфосфера»- НИА-Природа, 2009. – 140 с.
9. *Барановская, Н.В.* Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: дис. ... докт. биол. наук: 03.02.08 / Барановская Наталья Владимировна; ТПУ. Томск, 2011. – 373 с.
10. *Барсков, И.С.* Морфогенез и экогенез палеозойских цефалопод / И.С. Барсков. – Москва: МГУ, 1989. – 160 с.
11. *Бауэр, Э.С.* Теоретическая биология / Э.С. Бауэр. – Москва – Ленинград: Изд-во ВИЭМ, 1935. – 206 с.
12. *Бей-Биенко, Г.Я.* Общая энтомология: учебник для ун-тов и с.-х. вузов по спец. «защита растений» / Г.Я. Бей-Биенко. – Москва: Высшая школа, 1980. – 416 с.
13. *Бельгард, А.Л.* К вопросу об экологическом анализе и структуре лесных фитоценозов в степи / А.Л. Бельгард // Вопросы биологической диагностики лесных биоценозов Присамарья / Днепропетровский ун-т. – Днепропетровск, 1980. – С. 12-43.
14. *Бельгард, А.Л.* О проблеме консолидации лесотипологических течений / А.Л. Бельгард // Современные проблемы лесной типологии. – Москва: Наука, 1985. – С. 511.
15. *Берг, Л.С.* Номогенез, или Эволюция на основе закономерностей / Л.С. Берг. – Петербург: Государственное издательство, 1922. – 306 с.

16. *Берг, Л.С.* Труды по теории эволюции, 1922-1930 / Л.С. Берг. – Ленинград: Наука, 1977. – 387 с.
17. *Берзинь, Я.М.* Микроэлементы в животноводстве / Я.М. Берзинь. – Рига: Латгосиздат, 1961. – 198 с.
18. *Берталанфи, Людвиг фон.* Общая теория систем – критический обзор / Людвиг фон Берталанфи // Исследования по общей теории систем: сборник переводов / Общ. ред. В. Н. Садовского и Э. Г. Юдина. – Москва: Прогресс, 1969. – с. 23–82.
19. *Блохина, Р.И.* Геохимические условия возникновения и распространения эндемического зоба в Ярославской области: автореф. дис. ...канд. биол. наук / Блохина Розалия Ивановна; ГЕОХИ АН СССР. – Москва, 1968. – 21 с.
20. *Будыко, М.И.* Глобальная экология / М.И. Будыко. – Москва: Гидрометеоздат, 1977. – 328 с.
21. *Будыко, М.И.* Климат в прошлом и будущем / М.И. Будыко. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1980. – 352 с.
22. *Будыко, М.И.* Изменения окружающей среды и смены последовательных фаун / М.И. Будыко. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1982. – 78 с.
23. *Бужилова, А.П.* Адаптивные процессы у древнего населения Восточной Европы: по данным палеопатологии: автореф. ...дис. докт. ист. наук: 07.00.06. – М., 2001. – 50 с.
24. *В.И. Вернадский: жизнь во благо России* / сост. К.А. Степанов, Г.Б. Наумов. Москва: Изд. дом «Ноосфера», 2003. – 212 с.
25. *Вавилов, Н.И.* Центры происхождения культурных растений / Н.И. Вавилов. – Ленинград: Тип. им. Гутенберга, 1926. – 248 с.
26. *Василенко, О.И.* Радиационная экология. / О.И. Василенко. – Москва: Медицина, 2004. – 216 с.
27. *Вахрушев, Г.А.* Исторический подход к экологии сообществ / Г. Ал. Вахрушев, А.С. Раутиан // Журнал общей биологии. – 1993. – Т. 54. – С. 532-553.
28. Методы анализа глобальных катастрофических событий при детальном стратиграфических исследованиях: метод. рекомендации / А.Б. Веймарн, Д.П. Найдин, Л.Ф. Копаевич и др. – М.: МГУ. – 190 с.
29. *Величко, А.А.* Палеогеография эпохи инициального освоения человеком Арктики и субарктики. Строение и история развития литосферы / А.А. Величко, С.А. Васильев, Ю.Н. Грибченко, Е.И. Куренкова // Труды Международного Полярного Года (МПГ 2007/2008). – Москва, 2010. – Т. 4. – С.124-132.
30. *Вернадский, В.И.* Записка об изучении живого вещества с геохимической точки зрения / В.И. Вернадский // Изв. Рос. АН. – Сер. 6. – 1921. – Т. 15. – № 1-18. – С. 120-123.
31. *Вернадский, В.И.* Биосфера (Очерк первый. Биосфера в космосе. Очерк второй. Область жизни) / В.И. Вернадский. – Ленинград: Изд-во научно-технической литературы, 1926. – 146 с.
32. *Вернадский, В.И.* О новых задачах в химии жизни / В.И. Вернадский // Тр. Бальнеол. ин-та Кавказ. минер. вод. – 1927. – Вып. 5. – С. 3-16.
33. *Вернадский, В.И.* Очерки геохимии. / В.И. Вернадский. – Москва – Ленинград, 1927. – 368 с.
34. *Вернадский, В.И.* Эволюция видов и живое вещество (доклад на заседании Ленинградского общества естествоиспытателей) / В.И. Вернадский // Природа. – 1928. – № 3. – С. 227–250.

35. *Вернадский, В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В.И. Вернадский. – Москва: Наука, 1965. – 374 с.
36. *Вернадский, В.И.* Размышления натуралиста. Кн. 2: Научная мысль как планетное явление / В.И. Вернадский. – Москва: Наука, 1977. – 191 с.
37. *Вернадский, В.И.* Живое вещество / В.И. Вернадский. – Москва: Наука, 1978. – 358 с.
38. *Вернадский, В.И.* Несколько слов о ноосфере / В.И. Вернадский // Труды Биогеохимической лаборатории. – Москва, 1980. – Т. 16. – С. 212-222.
39. *Вернадский, В.И.* Проблемы биогеохимии. / В.И. Вернадский // Труды Биогеохимической лаборатории. – Москва, 1980. – Т. 16. – 320 с.
40. *Вернадский, В.И.* Научная мысль как планетное явление / В.И. Вернадский. – Москва: Наука, 1991. – 271 с.
41. *Вернадский, В.И.* Биосфера. Мысли и наброски / В.И. Вернадский // Сборник научных работ В.И. Вернадского. – Москва: Изд. Дом «Ноосфера», 2001. – 244 с.
42. *Вернадский, В.И.* Собрание сочинений. В 24 т.Т. 9. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. Биосфера и ноосфера / В.И. Вернадский. – Москва: Наука, 2013. – 574 с.
43. *Вернадский, В.И.*: серия «Человек. События. Время» / сост. В.С. Неаполитанская; авторы текста Г.П. Аксенов, В.С. Неаполитанская. – Москва: Планета, 1988. – 239 с.
44. *Виноградов, А.П.* Йод в природе / А.П. Виноградов // Природа. – 1927. – № 9. – С. 670-678.
45. *Виноградов, А.П.* Физиологическое значение никеля, кобальта, меди и цинка в животных организмах / А.П. Виноградов // Природа. – 1928. – № 1. – С. 52-63.
46. *Виноградов, А.П.* Химический элементарный состав морских организмов в связи с вопросами их систематики и морфологии / А.П. Виноградов // Природа. – 1931. – № 6. – С. 230—254.
47. *Виноградов, А.П.* Геохимия живого вещества. / А.П. Виноградов. – Москва: [б.и.], 1932. – 67 с.
48. *Виноградов, А.П.* Химический элементарный состав организмов и периодическая система Д.И. Менделеева / А.П. Виноградов // Труды Биогеохимической лаборатории. – 1935. – Т. 3. – С. 5 – 30.
49. *Виноградов, А.П.* Биогеохимические провинции и эндемии / А.П. Виноградов // «Доклады АН СССР». – 1938. – Т. 18. – № 4/5. – С. 283-286.
50. *Виноградов, А.П.* Геохимия рассеянных химических элементов моря / А.П. Виноградов // Успехи химии. – 1944. – № 1. -С. 188.
51. *Виноградов, А.П.* К химическому познанию биосферы / А.П. Виноградов // Почвоведение. – 1945. – № 3. – С. 348-354.
52. *Виноградов, А.П.* Геохимическая обстановка в районах эндемического зоба / А.П. Виноградов // Изв. АН СССР. Серия геогр. и геофиз. – 1946. – Т. 10. – № 4. – С. 341-355.
53. *Виноградов, А.П.* Биогеохимические провинции / А.П. Виноградов // Сборник Трудов Юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В.В. Докучаева (1945 г.) – М.: АН СССР, 1949. С. 59-84.
54. *Виноградов, А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов: 2-е изд. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 237 с.
55. *Виноградов, А.П.* О генезисе биогеохимических провинций / А.П. Виноградов // Труды Биогеохим. лаб. – М.: Наука, 1960. – Т. 11. – С. 3-7.

56. *Виноградов, А.П.* Биогеохимические провинции и их роль в органической эволюции / А.П. Виноградов // Геохимия. – 1963. – № 3. – С. 199-213.
57. *Виноградов, А.П.* Биогеохимические провинции / А.П. Виноградов // Большая Советская Энциклопедия / гл. ред. А.М. Прохоров. Т. 3. – Москва: Советская энциклопедия. – С. 329.
58. *Власюк, П.А.* Биологическая роль меди в растениях и значение медных удобрений в растениеводстве / П.А. Власюк // Биологическая роль меди. – Москва: Наука, 1970. – С. 82-92.
59. *Власюк, П.А.* Биологические элементы в жизнедеятельности растений / П.А. Власюк – Киев: Наукова думка, 1969. – 630 с.
60. *Войнар, А.И.* Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека / А.И. Войнар. – Москва: Высшая школа, 1960. – 544 с.
61. *Войнар, А.И.* Микроэлементы в живой природе / А.И. Войнар. – Москва: Высшая школа, 1962. – 94 с.
62. *Вольскис, Р.С.* Вид как элемент биоты / Р.С. Вольскис // Система интеграции вида. – Вильнюс, 1986. – С. 254 – 270.
63. *Галимов, Э.М.* Научные достижения могут быть едиными для всех. Предисловие к книге: Пережитое и передуманное // Владимир Вернадский; предисл. Э.М.Галимова; сост., коммент., предисл. С.И.Капелуш. – М.: Вагриус, 2007. – 320 с.
64. *Галимов, Э.М.* Об академике В.И. Вернадском (к 150-летию со дня рождения) / Э.М. Галимов; Ин-т геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. – Москва: Наука, 2013. – 230 с.
65. *Галимов, Э.М.* Роль низкой светимости Солнца в истории биосферы / Э.М. Галимов // Геохимия. – 2017. – № 5. – С. 383-401.
66. *Гаузе, А.Ф.* Экология и эволюционная теория / А.Ф. Гаузе. – Ленинград: Наука, 1984. – С. 5–108.
67. *Геннадьев, А.Н.* Почвы и время: модели развития / А.Н. Геннадьев. – М.: изд-во МГУ, 1990. – 228 с.
68. *Герасимов, Г.А.* Йододефицитные заболевания в России. Простое решение сложной проблемы / Г.А. Герасимов, В.В. Фадеев, Н.Ю. Свириденко и др. – Москва: Адамант, 2002. – 167 с.
69. *Герасимов, И.П.* Метаморфоз почв и эволюция типов почвообразования / И.П. Герасимов // Почвоведение. – 1968. – № 7. – С. 143-155.
70. *Герменчук, М.Г.* Реконструкция радиоактивного загрязнения территории Беларуси йодом-131 вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.26.02 / Герменчук Мария Григорьевна. – Минск, 1999. – 20 с.
71. Гигиеническое нормирование солевого состава питьевой воды. – М.: Медиздат, 1963. – 131 с.
72. *Гладимович, Б.Р.* Содержание йода в почвах Ленинградской и Калининской областей / Б.Р. Гладимович, Э.О. Травицкая // Микроэлементы в почвах, их значение в деле защиты растений. Записки ЛСХИ. – 1969. – Т. 134. – С. 63-66.
73. *Глазовская, М.А.* Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов / М.А. Глазовская. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – 230 с.
74. *Глазовская, М.А.* Типы почвенно-геохимических сопряжений // Вестн. МГУ. Серия География. – №5. – 1969. – С. 3-12.
75. *Глазовская, М.А.* Общее почвоведение и география почв / М.А. Глазовская. – М.: Высшая школа, 1981. – 400 с.

76. Глазовская, М.А. Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков и анализу способности природных систем к самоочищению. Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем / М.А. Глазовская. – М.: Наука, 1981. С. 7-41.
77. Гольдшмидт, В. Принципы распределения химических элементов в минералах и горных породах / В. Гольдшмидт // Успехи химии. – 1938. – Т. 7. Вып. 2. – С. 288-320.
78. Густун, М.И. Обмен йода в организме овец в условиях недостаточного его содержания в кормах и питьевых водах: автореф... дис. канд. биол. наук / М.И. Густун. – М., 1960. – 16 с.
79. Густун, М.И. Биохимическая провинция, бедная йодом / М.И. Густун // Вестник сельскохозяйственных наук. – М., 1969. – № 4. – С. 77-80.
80. Давиташвили, Л.Ш. История эволюционной палеонтологии от Дарвина до наших дней / Л.Ш. Давиташвили. – М.: Изд-во АН СССР, 1948. – 575 с.
81. Давыдчук, В.С. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов / В.С. Давыдчук, Р.Ф. Зарудная, С.В. Михели. – Киев: Наукова думка, 1994. – 112 с.
82. Дарвин, Ч. (1859). Происхождение видов путем естественного отбора: соч.: в 9 т. – М., – Л., 1939. – Т. 3. – С. 171- 832.
83. Дедов, И.И. Дефицит йода — угроза здоровью и развитию детей России. Пути решения проблемы / И.И. Дедов, Г.А. Мельниченко, Е.А. Трошина, Н.М. Платонова, Ф.М. Абдулхабирова, Л.Н. Шатнюк, Б.П. Апанасенко, С.Р. Кавтарадзе, М.И. Арбузова, Ф.А. Джатоева // Национальный доклад. Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации, Российская академия медицинских наук, ГУ Эндокринологический научный центр РАМН, Центр по йододефицитным заболеваниям МЗ и СР РФ, ГУ НИИ питания РАМН, Центр научно-технического сотрудничества предприятий соляной промышленности. – М., 2006, – 124 с.
84. Дибирова, А.П. Содержание Mn, В, I в почвах горной зоны Дагестана / А.П. Дибирова, З.Н. Ахмедова, Н.И. Рамазанова, Н.Т. Гаджимусиева // Современные наукоемкие технологии, 2005. – № 6. – С.46.
85. Добровольский, Г.В. Роль и значение почв в становлении и эволюции жизни на Земле / Г.В. Добровольский; отв. ред. С.В. Рожнов // Эволюция биосферы и биоразнообразия. К 70-летию А.Ю. Розанова. Палеоэкология и эволюция сообществ. Раздел 4. – 2006. – С. 246-256.
86. Добровольский, Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв) / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – Москва: Наука, 1990. – 261 с.
87. Докучаев, В.В. Русский чернозем / В.В. Докучаев. – СПб., 1883. – 376 с.
88. Докучаев, В.В. К учению о зонах природы: горизонтальные и вертикальные почвенные зоны / В.В. Докучаев. – Санкт-Петербург, 1899. – 28 с.
89. Ермаков, В.В. Биогеохимическая провинция / В.В. Ермаков // Большая Российская Энциклопедия. – Т.3. Москва: Изд-во «Большая российская энциклопедия», 2005 487-488.
90. Ермаков, В.В. Биогеохимические провинции: концепция, классификация и экологическая оценка / В.В. Ермаков // Основные направления геохимии. К 110-летию со дня рождения академика А.П. Виноградова: отв. ред. Э.М. Галимов. – Мо-

сква: Наука, 1995. – с.183-196.

91. *Ермаков, В.В.* Субрегионы и биогеохимические провинции СССР с различным содержанием селена / В.В. Ермаков // Труды Биогеохимической лаборатории. – Москва: Наука. – 1978. – Т. 15. – С. 54-57.

92. *Ермаков, В.В.* Химический элементный состав живого вещества / В.В. Ермаков // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2008. – №3 (7). – С. 19-36.

93. *Ермаков, В.В.* Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы / В.В. Ермаков // Геохимия. – 2015. – № 3. – С. 203-221.

94. *Ермаков, В.В.* Биологическое значение селена. /В.В. Ермаков, В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 298 с.

95. *Ермаков, В.В.* Геохимическая экология животных. / В.В. Ермаков, С.Ф. Тютиков. – М.: Наука, 2008. – 314 с.

96. *Ермаков, В.В.* Биогеохимическая индикация микроэлементозов /В.В. Ермаков, С.Ф. Тютиков, В.А. Сафонов. – Москва: Наука, 2018. – 386 с.

97. *Жаворонков, А.А.* Микроэлементозы – новый класс болезней человека, животных и растений /А.А. Жаворонков, Л.М. Михалева, А.П. Авцын // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Труды Биогеохимической лаборатории. – Т. 23. – Москва: Наука, 1999. – с.183-199.

98. *Жолнин, А.В.* Общая химия: учебник / А. В. Жолнин; под ред. В.А. Попкова, А.В. Жолнина, 2012. – 400 с.

99. *Жукова, О.М.* Реконструкция выпадений йода-131 после аварии на Чернобыльской АЭС на территории Гомельской и Могилёвской областей Беларуси / О.М. Жукова, М.Г. Герменчук, М.А. Подгайская // Природные ресурсы. – 2010. – № 2. – С. 113-119.

100. *Жулидов, А.В.* О половых различиях в накоплении тяжелых металлов у водных жуков /А.В. Жулидов, В.М. Емец // Журнал общей биологии. – 1981. – Т. 42. – № 4. – С. 583-585.

101. *Зборищук, Ю.Н.* Содержание йода в пахотном слое почв Европейской части СССР / Ю.Н. Зборищук // Почвоведение. – 1975. – № 9. – 49 с.

102. *Звонова, И.А.* Реконструкция доз и оценка риска облучения населения России радиоактивным йодом Чернобыльской аварии: дис... докт техн. наук / И.А. Звонова. – Санкт-Петербург, 2003. – 339 с.

103. *Звонова, И.А.* Риск радиогенных заболеваний раком щитовидной железы у жителей Брянской области вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / И.А. Звонова, А.А. Братилова, Г.Т. Почтенная // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2005. – Т. 50. – № 5. – С. 41-52.

104. *Зенкевич, Л.А.* Фауна и биологическая продуктивность моря / Л.А. Зенкевич – Москва – Ленинград: Сов. наука. – Т. 1: Мировой океан, 1951. – 507 с.

105. *Зырин, Н.Г.* Схематические карты содержания микроэлементов (В, Мп, Со, Си, Zn, Мо) в почвах (в Апах.или А1) Европейской части СССР / Н.Г. Зырин, В.Д. Васильевская, Ю.Н. Зборищук // Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – М.: Наука, 1974.– С. 84 –94.

106. *Зырин, Н.Г.* Содержание йода в пахотном слое почв Европейской части СССР / Н.Г. Зырин, Ю.Н. Зборищук //Почвоведение. – 1975. – №9. – С. 49-54.

107. *Иванов, В.К.* Медицинские и радиологические последствия Чернобыля



для населения России: оценка радиационных рисков / В.К. Иванов, А.Ф. Цыб, М.А. Максютков, и др; науч.ред. В.К. Иванова, А.Ф. Цыба. — Москва: Медицина, 2002. — 392с.

108. *Израэль, Ю.А.* Антропогенное радиоактивное загрязнение планеты Земля / Ю.А. Израэль // Труды международной конференции «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий». — Москва: ИГКЭ. — Т.1. — С. 13-49.

109. *Израэль, Ю.А.* Глобальное и региональное радиоактивное загрязнение европейской территории бывшего СССР / Ю.А. Израэль, Е.В. Квасникова, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман // Метеорология и гидрология. — 1994. — № 5. — С. 5-9.

110. *Калмет, Р.* Содержание йода в почвах Эстонской ССР / Р. Калмет // Научные труды Эст. НИИ земледелия и мелиорации. — Таллин. — 1975. — Т. 36. — С. 183-184.

111. *Камшилов, М.М.* Эволюция биосферы / М.М. Камшилов. — 1-е изд. — Москва: Наука, 1974. — 256с.

112. *Камшилов, М.М.* Изучение биосферы и вопросы воспроизводства и охраны животного и растительного мира / М.М. Камшилов // История биологии с начала XX века и до наших дней. — Москва, 1975. — С. 543 -560.

113. *Камшилов, М.М.* Факторы эволюции биосферы / М.М. Камшилов // Вопросы философии. — 1979. — №3. — С. 128-137.

114. *Карелина, Л.В.* Содержание и закономерности распределения йода в почвах Латвийской ССР: автореф... дис. канд. с.-х. наук. / Карелина Л.В. — Елгава, 1965. — 27 с.

115. *Карпачевский, Л.О.* “Зеркало ландшафта” / Л.О. Карпачевский — М.: Мысль, 1983. — 156 с.

116. *Касимов, Н.С.* Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н.С. Касимов, Д.В.Власов // Вестник Московского университета. Сер. Геогр. — 2015. — №2. — С.7-17.

117. *Касимов, Н.С.* Экогеохимия ландшафтов / Н.С. Касимов. — Москва: ИП Филимонов М.В., 2013. — 208 с.

118. *Кашин, В.К.* Биогеохимия, физиология и агрохимия йода / В.К. Кашин. — Л.: Наука, 1987. — 261 с.

119. *Квасникова, Е.В.* Исследование долины и водосбора р. Енисей аэро-гамма-спектральным методом / Е.В.Квасникова, В.М. Керцман, И.М. Назаров и др. // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. — Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2000. — С.549-554.

120. *Кист, А.А.* Биологическая роль химических элементов и периодический закон: монография / А.А. Кист. — Ташкент: ФАН Узбекской ССР, 1973. — 65 с.

121. *Кист, А.А.* Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии: монография / А.А. Кист. — Ташкент: ФАН Узбекской ССР, 1987. — 236 с.

122. *Ковалевский, А.Л.* Особенности формирования рудных биогеохимических ореолов / А.Л. Ковалевский. — Новосибирск: Наука, 1975. — 115с.

123. *Ковальский, В.В.* Периодическая изменчивость химических свойств организмов и ее биологическое значение / В.В. Ковальский // Успехи соврем. биологии. — 1941. — Т. 14. — Вып. 3. — С. 380-423.

124. *Ковальский, В.В.* Вопросы биохимического изучения факторов эволюции / В.В. Ковальский // Конференция по проблемам органической эволюции. — Уфа, 1943. — С. 12-14.

125. *Ковальский, В.В.* Новые направления и задачи биологической химии сельскохозяйственных животных в связи с изучением биогеохимических провинций /

В.В. Ковальский. – М., 1957. – 35 с.

126. *Ковальский, В.В.* Биогеохимические провинции СССР и методы их изучения / В.В. Ковальский // Труды Биогеохимической лаборатории. – Москва: Наука, 1960. – Т. 11. – С. 8-32.

127. *Ковальский, В.В.* Возникновение и эволюция биосферы / В.В. Ковальский // Успехи соврем. биологии. – 1963. – Т. 55. – Вып. 1. – С. 45-67.

128. *Ковальский, В.В.* Проблема микроэлементов в животноводстве и пути ее решения / В.В. Ковальский // Вопросы химизации животноводства. – Москва: Изд-во АН СССР, 1963. – с. 191-209.

129. *Ковальский, В.В.* Биологическая роль йода / В.В. Ковальский // Биологическая роль йода. – Москва: Колос, 1972. – С. 3-32.

130. *Ковальский, В.В.* Геохимическая экология / В.В. Ковальский // Новое в жизни, науке и технике. Серия «Биология». – 1973. – №2. – 64 с.

131. *Ковальский, В.В.* Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – Москва: Наука, 1974. – 282 с.

132. *Ковальский, В.В.* Геохимическая экология – основа системы биогеохимического районирования / В.В. Ковальский // Биогеохимическое районирование – метод изучения экологического строения биосферы. Труды Биогеохимической лаборатории. – Москва: Наука, 1978. – Т. 15. – С. 3-21.

133. *Ковальский, В.В.* Геохимическая среда и жизнь. / В.В. Ковальский. – Москва: ГЕОХИ РАН, 1982. – 78 с.

134. *Ковальский, В.В.* Борная биогеохимическая провинция Северо-Западного Казахстана / В.В. Ковальский, А.В. Ананичев, И.К. Шахова – Агрохимия, 1965. – № 11, с. 153-169.

135. *Ковальский, В.В.* Микроэлементы в почвах СССР / В.В. Ковальский, Г.А. Адрианова. – М.: Наука, 1970. – 180 с.

136. *Ковальский, В.В.* Геохимическая экология эндемического зоба в СССР / В.В. Ковальский, Р.И. Блохина // Биологическая роль йода. – Москва: Колос, 1972. – С. 114-143.

137. *Ковальский, В.В.* Борные субрегионы биосферы и биогеохимические провинции в аридных условиях / В.В. Ковальский, Е.М. Коробова // Труды Биогеохимической лаборатории. – Москва: Наука. – 1978. – Т. 15. – С. 58-70.

138. *Ковальский, В.В.* Геохимическая экология микроорганизмов / В.В. Ковальский, С.В. Летунова // Труды Биогеохимической лаборатории. – 1974. – Т. 13. – С. 3-37.

139. *Ковда, В.А.* Микроэлементы в почвах Советского Союза // В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – Москва: МГУ, 1959. – 67 с.

140. *Ковда, В.А.* Минеральный состав растений и почвообразование / Ковда В.А. // Почвоведение. – 1956. – № 1. – С. 6-38.

141. *Ковда, В.А.* Засоление орошаемых почв и их мелиорация в зарубежных странах / В.А. Ковда, Г.В. Захарьина. – Москва: МСХ СССР, 1969. – 115 с.

142. *Ковда, В.А.* Биогеохимия почвенного покрова / Ковда В.А., Зонн С.В. – Москва: Наука, 1985. – 262 с.

143. *Ковда, В.А.* Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, Н.Г. Зырин. – Москва: МГУ, 1973. – 281 с.

144. *Колчинский, Э.И.* Развитие идей В.И. Вернадского об эволюции биосферы в отечественной литературе / Э.И. Колчинский // Известия Самарского научного цен-

тра Российской академии наук. – 2013.- Т. 15. – № 3. С. 9-16.

145. *Колчинский, Э.И.* Эволюция биосферы: Историко-критические очерки исследований в СССР. /Э.И.Колчинский. – Ленинград: Наука, 1990. – 236 с.

146. *Кольцова, Г.* Йод в почвах Башкирского Предуралья: автореф. дис....канд. биол. наук: 03.00.27 / Кольцова Г. – Уфа, 1970. – 21 с.

147. *Комракова, С.Г.* Йод в природных водах и почвах Белорусского Поозерья / С.Г. Комракова, К.И. Лукашев. – Минск: Наука и техника, 1985. – 128 с.

148. *Коробова, Е.М.* Медь, кобальт и йод в природных ландшафтах Нечерноземной зоны Русской равнины: дис....канд. геогр. наук: 11.00.01 / Коробова Елена Михайловна. – М., 1992. – 285 с.

149. *Коробова, Е.М.* Чернобыльские радиобиогеохимические провинции и их изучение (методологические аспекты) /Е.М.Коробова //Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Труды Биогеохимической лаборатории. – Т. 23. – М.: Наука. – 1999. – С.134-151.

150. *Коробова, Е.М.* Закономерности распределения цезия-137 в почвенно-растительном покрове природных ландшафтов низовьев рек Енисей и Печора /Е.М.Коробова, Н.Г.Украинцева, В.В. Сурков //Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий. Труды Международной конференции. Москва, 5-6 декабря 2005 г.; под ред. Ю.А. Израэля. – С.-Петербург: Гидрометеоиздат. – 2006. – С. 351-355.

151. *Коробова, Е.М.* Закономерности распределения радионуклидов цезия и стронция в почвенно-растительном покрове ландшафтов, загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС (обзор некоторых результатов исследований и их радиэкологическое приложение) / Е.М.Коробова //Геохимия природных и техногенно измененных биогеосистем. – М.: Научный мир. – 2006. – С.249-277.

152. *Коробова, Е.М.* Йод в ландшафтах Нечерноземного центра Русской равнины /Е.М. Коробова, Э.Б. Тюрюканова // Геохимия. – 1984. – № 9. – С. 1378-1388.

153. *Коробова, Е.М.* К оценке йодного статуса территорий, пострадавших от выпадений радиоизотопов йода в результате аварии на ЧАЭС Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий / Е.М. Коробова, А.И. Кувьлин // Труды Международной конференции. Москва, 5-6 декабря 2005 г. Ред. Ю.А. Израэль. – С.-Петербург: Гидрометеоиздат. -2006. – Т. 3. – С. 202-206.

154. *Коробова, Е.М.* Ландшафтно-геохимическое и радиэкологическое картографирование загрязненных радионуклидами территорий /Е.М.Коробова, В.Г.Линник, Л.М.Хитров // Геохимия. – 1993. – № 7. – С.1020-1029.

155. *Коробова, Е.М.* Природные биогеохимические провинции с низким содержанием йода как районы дополнительного экологического риска в зонах воздействия аварии на Чернобыльской АЭС /Е.М. Коробова, А.И. Кувьлин // Материалы V биогеохимических чтений «Биогеохимическая индикация аномалий». – М.: Наука. – 2004. – С. 156-167.

156. *Коробова, Е.М.* Пространственное распределение химических элементов в ландшафтных системах разного ранга при решении экологических задач /Е.М.Коробова // Геохимия ландшафтов и география почв. К 100-летию Марии Альфредовны Глазковой; под общ. ред. Н.С.Касимова, М.И.Герасимовой. – М.: МГУ, 2012. – С. 293-315.

157. *Кошелева, Н.Е.* Многолетняя динамика и факторы накопления бенз(а) пирена в почвах (на примере ВАО Москвы) /Н.Е. Кошелева, Е.М. Никифорова //Вестник Московского университета; серия 17, почвоведение, 2011. – №2. – С.24-35.

158. *Красилов, В.А.* Модель биосферных кризисов / В.А. Красилов // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. – М.: Издание Палеонтологического ин-

ститута. – 2001. – Вып. 4. – С. 9-16.

159. *Криволуцкий, Д.А.* Радиоэкология сообществ наземных животных / Д.А. Криволуцкий. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 86 с.

160. *Ламарк, Ж-Б.* Философия зоологии: в 2 т. /Ж-Б Ламарк. – Москва – Ленинград, 1935-1937. -Т. 1. – 510 с. – т.2. – 536 с.

161. Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды // Вопросы географии. – Т. 120. – Москва: Мысль, 1983. – 206 с.

162. *Летунова, С.В.* Геохимическая экология микроорганизмов / С.В.Летунова, В.В. Ковальский – Москва: Наука, 1978. – 147 с.

163. *Лозовский, Л.И.* Йод в почвах Белоруссии: дис. кандидата биологических наук. (532) / Лозовский Леонид Александрович. – Москва: [б. и.], 1971. – 223 с.

164. *Лукашев, К.И.* Биосфера и биогеохимические провинции / К.И.Лукашев, И.К.Вадковская. – Минск: Наука и техника, 1973. – 236 с.

165. *Малюга, Д.П.* Биогеохимический метод поисков рудных месторождений / Д.П.Малюга – М., 1963. – 264 с.

166. *Мильков, Ф.Н.* Человек и ландшафты / Ф.Н.Мильков. – Москва: Мысль, 1973. – 224 с.

167. *Моисеев, Н.Н.* Человек и биосфера: Опыт системного анализа и эксперименты с моделями / Н.Н.Моисеев, В.В.Александров, А.М.Тарко – М.: Наука, 1985. – 271 с.

168. *Мотузова, Г.В.* Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг / Г.В. Мотузова. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». – 2009. – 167 с.

169. *Мотузова, Г.В.* Роль почв в формировании экологической устойчивости биосферы к загрязнению тяжелыми металлами / Г.В. Мотузова, Е.А. Карпова, Н.Ю. Барсова // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии: в 2 т. Труды IX Международной биогеохимической школы (24-28 августа 2015 г. Барнаул). – Барнаул. – 2015. – Т. 2. – С. 229–230.

170. *Мотузова Г. В., Карпова Е. А.* Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия. Учебник. – М.: Издательство Московского Университета, 2013. – 303 с.

171. *Наумов, Н. П.* Об эволюции макросистем / Н. П. Наумов // Журн. общ. биологии. – 1967. – Т. 28. – № 6. – С. 635 – 649.

172. *Наумов, Н. П.* Проблемы и задачи популяционной биологии / Н. П. Наумов // Развитие концепции структурных уровней в биологии. – М., 1972. С. 322-331.

173. *Наумов, Н.П.* О методологических проблемах биологии / Н. П. Наумов // Филос. науки. -1964. -№1. -С. 136-145.

174. *Неуструев, С.С.* Генезис и география почв; [послел. И.П. Герасимова] / С.С.Неуструев. – М.: Наука, 1977. – 328 с.

175. *Неуструев, С.С.* К вопросу о нормальности почв и зональности комплекса сухих степей / С.С.Неуструев //Почвоведение. – 1910. – №2;

176. *Ничипорович, А.А.* Фотосинтетическая деятельность и первичная продуктивность фитоценозов на современном этапе эволюции биосферы / А.А. Ничипорович // Проблемы биогеоценологии. – М., 1973. – С. 157- 173.

177. *Новиков, Г.А.* Основы общей экологии и охраны природы / Г.А.Новиков – Л.: ЛГУ, 1979. – 352 с.

178. *Павлоцкая, Ф.И.* Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений

ний в почвах / Ф.И. Павлоцкая – М.: Атомиздат, 1975. – 215 с.

179. *Перельман, А.И.* Геохимия ландшафта / А.И. Перельман – М.: Высшая школа. 1966. – 392 с.

180. *Перельман, А.И.* Взаимосвязь учения о биогеохимических провинциях и геохимии ландшафта / А.И. Перельман // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Тр. биогеохим. лаб. – М.: Наука. – 1999. – Т. 23. – С. 115-133.

181. *Перельман, А.И.* Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов – М.: Астрей-1999. – 763 с.

182. *Перельман, А.И.* Геохимия ландшафта. / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1975. – 341 с.

183. *Перельман, А.И.*, Борисенко Е.Н. (1965) Пермские равнины Приуралья как особая геохимическая и, возможно, палеобиогеохимическая провинция. Проблемы геохимии. М. с. 614 – 619.

184. *Петрунина, Н.С.* Геохимическая экология растений в провинциях с избыточным содержанием микроэлементов (Ni, Co, Si, Mo, Pb, Zn) / Н.С.Петрунина // Тр. Биогеохим. лаб. – 1974. – Т. 17. – С. 57- 117.

185. *Петрунина, Н.С.* Микроэлементы и болезни сельскохозяйственных растений / Н.С. Петрунина // Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. -М. – 1974. – С. 438.

186. *Полынов, Б.Б.* Географические работы / Б.Б. Полынов. – Москва: ГЕОГРАФИЗ, 1952. – С. 281-287.

187. Геохимические ландшафты / Б.Б. Полынов // Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. – Москва – Ленинград: Изд-во АН СССР, 1946. – с. 171–182.

188. *Полынов, Б.Б.* К вопросу о роли элементов биосферы в эволюции организмов / Б.Б. Полынов // Почвоведение. – 1948. – № 10. – С. 594-607.

189. *Полынов, Б.Б.* Кора выветривания / Б.Б.Полынов. – Ленинград: [б. и.], 1934. – 240 с.

190. *Полынов, Б.Б.* Ландшафт и почва / Б.Б. Полынов // Природа. – 1925. – №1-3. – 84 с.

191. *Полынов, Б.Б.* О геологической роли организмов / Б.Б. Полынов // Вопросы географии. – 1953. – № 33. – С. 45– 64.

192. *Полынов, Б.Б.* Первые стадии почвообразования на массивно-кристаллических породах / Б.Б. Полынов // Почвоведение. – 1945. – № 7. – С. 327- 339.

193. *Полынов, Б.Б.* О роли элементов биосферы в эволюции организмов / Б.Б. Полынов // Почвоведение. – 1948. – №10. – С. 594-607.

194. *Пономаренко, А.Г.* Эволюция экосистем, основные события // XXVII Междунар. геол. конгр. – М.: Наука, 1984. – Т. 2: Палеонтология. – С. 71-74.

195. *Прасолов, Л.И.* Генетические типы почв и почвенные области Европейской части СССР [Электронный ресурс] / Л.И. Прасолов, И. П. Герасимов // Почвы СССР, т. 1, – М., – Л., 1939. -Режим доступа: [http://gufo.me/content\\_bigbioenc/prasolov-leonid-ivanovich-179257.html#ixzz49IKwH8AY](http://gufo.me/content_bigbioenc/prasolov-leonid-ivanovich-179257.html#ixzz49IKwH8AY)

196. *Пресман, А.С.* Идеи В.И. Вернадского в современной биологии / А.С. Пресман. – М., 1976. – 64 с.

197. *Ревич, Б.А.*, С Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами / Б.А. Ревич, Ю.Е.Сает, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина. – Москва: ИМГРЭ, 1982. – 112 с.

198. Регионы и города России / Н.С. Касимов (ред.). – М.: ИП Филимонов М.В.

– 2014. – 560 с.

199. *Реймерс, Н.Ф.* Экология (теории, законы, правила принципы и гипотезы) [Электронный ресурс] / Н.Ф. Реймерс. – Москва: Россия Молодая, 1994. – 367 с. – Режим доступа: <http://konesh.ru/rejmers-n-f-ekologiya-teorii-zakoni-pravila-principi-i-gip-stranica-7.html>.

200. *Риш, М.А.* Биогеохимические провинции Западного Узбекистана: автореф. дис. д-ра биол. наук / Риш Марк Арнольдович. – Самарканд, 1964. – 40 с.

201. *Розанов, А. Н.* Сероземы Средней Азии / А.Н. Розанов. – Москва: Издательство АН СССР. – 1951), 459 с.

202. *Романов, С.Л.* Опыт применения модернизированного прибора VIOLINIST-III в полевых радиоэкологических исследованиях / С.Л. Романов, Е.М. Коробова, В.Л. Самсонов // Ядерные измерительно-информационные технологии, 2011. – № 3 (39). – С. 56-61.

203. *Романова, Т.А.* Диагностика почв Белоруссии и их классификация в системе ФАО-WRB / Т.А. Романова. – Минск, 2004. – 427 с.

204. *Романова, Т.А.* Почвенные катены Белоруссии / Т.А. Романова // Почвоведение. – 1974. – № 11. – С. 24-36.

205. *Сает, Ю.Е.* Геохимическое картографирование почв как метод оценки загрязнения городских территорий / Ю.Е. Сает, Е.П. Сорокина, Р.С. Смирнова // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 1983. – Вып. 35. – С. 37-40.

206. *Сает, Ю.Е.* Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра. – 1990. – 335 с.

207. *Санько, П.М.* Йод в травах и почвах лугов, в грунтовых водах и озерных илах БССР // П.М. Санько, Л.И. Лозовский, И.А. Синица. – Агрехимия. – 1973. – №10. – С. 110-118.

208. *Сапожников, Ю.А.* Радиоактивность окружающей среды. / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М.: Изд-во “БИНОМ. Лаборатория знаний”, 2006. – 286 с.

209. *Сапрыкин, Ф.Я.* Геохимия почв и охрана природы: монография. / Ф.Я. Сапрыкин. – Л.: Недра, 1984. – 231 с.

210. *Северцов, А.Н.* Главные направления эволюционного процесса / А.Н. Северцов. – М., – Л., 1934. – 150 с.

211. *Северцов, С.А.* Проблемы экологии животных / С.А. Северцов. – М., 1951. – Т. 1. – 172 с.

212. *Симорин, А.М.* Проблема Кашин-Бековской (уровской) эндемии в Восточной Забайкалье / А.М. Симорин. – Вестник АН СССР. – 1936. – № 1. – С. 82 – 90.

213. *Соборникова, И.Г.* Содержание и распределение валового йода в южных черноземах Ростовской области / И.Г. Соборникова, Г.Н. Долинчук // Почвоведение и проблемы сельского хозяйства. Микроэлементы в почвах Европейской части РСФСР. – Воронеж, 1973. С. 103-105.

214. *Соколов, Б.С.* Палеонтология и эволюция биосферы / Б.С. Соколов // Палеонтология и эволюция биосферы. – Л., 1983. – С. 4-17.

215. *Соколов, Б.С.* От биосферы прошлого к её будущему / Б.С. Соколов. // Проблемы доантропогенной эволюции биосферы. Москва: [б. и.], 1993. – С.4-9.

216. *Сочава, В.Б.* Введение в учение о геосистемах / В.Б. Сочава. – Новосибирск: Наука, 1978. – 319 с.

217. *Сукачёв, В.Н.* Биогеоценоз как выражение взаимодействия живой и неживой природы на поверхности Земли: соотношение понятий «биогеоценоз», «экосистема», «географический ландшафт» и «фация» / В.Н. Сукачёв // Основы лесной



- биогеоценологии; под ред. В.Н. Сукачёва, Н.В. Дылиса. – М.: Наука, 1964. С. 5-49.
218. Сукачёв, В.Н. Идея развития в фитоценологии / В.Н. Сукачёв // Сов. Ботаника. – 1942. – № 1-3. – С. 5-17.
219. Сытник, К.М. В. И. Вернадский: жизнь и деятельность на Украине / К.М. Сытник, С.М. Стойко, Е.М. Апанович. – Киев: Наукова думка, 1984. – 235 с.
220. Таргульян, В.О. Структурный и функциональный подход в почвоведении: почва-момент и почва-память / В.О.Таргульян, И.А. Соколов // Математические методы в экологии. – Москва: Наука, 1978. – С. 64-75.
221. Таргульян, В.О. Память почв: формирование, носителя, пространственно-временное разнообразие / В.О. Таргульян // Память почв: отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. – Москва: Издательство ЛКИ, 2008. – С. 24-57.
222. Татаринов, Л.П. Очерки по теории эволюции / Л.П.Татаринов – М.: Наука, 1987. – 251 с.
223. Тимофеев-Ресовский, Н.В. Краткий очерк теории эволюции / Н.В. Тимофеев-Ресовский, Н.Н. Воронцов, А.В. Яблоков. – Москва: Наука, 1977. – 297 с.
224. Тимофеев-Ресовский, Н.В. Очерк учения о популяции / Н.В.Тимофеев-Ресовский, А.В. Яблоков, Н.В.Глотов. – Москва: Наука, 1973. – 277 с.
225. Ткалич, С.М. Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений / С.М. Ткалич. – Москва: Госгеолтехиздат, 1959. – 52 с.
226. Ткалич, С.М. Фитогеохимический метод поисков месторождения полезных ископаемых / С.М. Ткалич. – Ленинград: Недра, 1970. – 176 с.
227. Трофимов, В.Т. Экологическая геология / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг. – Москва: МГУ, 2002. – 415 с.
228. Федонкин, М. А. Сужение геохимического базиса жизни и эвкарриотизация биосферы: причинная связь / М.А. Федонкин // Палеонтологический журнал. – 2003. – № 6. – С. 33-40.
229. Ферсман, А. Е. Периодический закон количества элементов /А.Е.Ферсман // Доклады АН СССР. – 1932. – №11. – С. 261 -266.
230. Ферсман, А.Е. Избранные труды. В 5 томах. Т. 2. Региональная геохимия. Химия космоса. О законах геохимии. Прикладная геохимия / А.Е. Ферсман. – Москва: изд-во Академии наук СССР, 1953. – 768 с.
231. Ферсман, А.Е. Избранные труды. В 5 томах. Т. 3. Геохимия. / А.Е. Ферсман. – Москва: изд-во Академии наук СССР, 1955. -798 с.
232. Фридланд, В.М. Структура почвенного покрова / В.М.Фридланд. – Москва: Мысль, 1972. – 423 с.
233. Шарыгин, С.А. Микроэлементы в биогеоценозах Южного берега Крыма // Наземные и водные экосистемы / С.А.Шарыгин, В. В.Коржневский. – Горький. – 1982. – Вып. 5. – С. 118 – 122.
234. Шарыгин, С.А. Приложимость данных по химическому элементарному составу к систематике некоторых амфибий и рептилий / С.А.Шарыгин // Журн. общ. биологии. – 1984. – Т. 45. – № 5. – С. 624 – 630.
235. Шварц, С.С. Эволюция и биосфера / С.С. Шварц // Проблемы биогеоценологии. – М., 1973. С. 213-228.
236. Шварц, С.С. Экологические закономерности эволюции / С.С. Шварц. – М.: Наука, 1980. – 153 с.
237. Шидловский, М. Атмосфера архея и эволюция кислородного запаса Земли /

М. Шидловский // Ранняя история Земли. – М.: Мир, 1980. С. 523-534.

238. *Шиндewolf, O.* Стратиграфия и стратотип: пер. с нем. /О. Шиндewolf. – Москва: Мир, 1975.

239. *Школьник, М.Я.* Значение микроэлементов в жизни растений и земледелии / М.Я. Школьник. – Москва: Изд-во АН СССР, 1950. – 512 с.

240. *Школьник, М.Я.* Микроэлементы в жизни растений /М.Я. Школьник. – Ленинград: Наука, 1974. – 324 с.

241. *Шмальгаузен, И.И.* Пути и закономерности эволюционного процесса. – Москва- Ленинград, 1940. – 231 с.

242. *Шмальгаузен, И.И.* Факторы прогрессивной (ароморфной) эволюции – снижения энтропии //Закономерности прогрессивной эволюции /И.И. Шмальгаузен. – Ленинград: [б. и.], 1972. – С. 5-27.

243. *Шмальгаузен, И.И.* Факторы эволюции. Теория стабилизирующего отбора / И.И. Шмальгаузен. – Москва: Наука, 1968. – 451 с.

244. Экогеохимия городских ландшафтов /Н.С. Касимов, А.И. Перельман, А.В. Евсеев [и др.]. Москва: МГУ. – 336 с.

245. Экологические очерки о природе и человеке: сокращенный перевод с немецкого /Иллиес Й., Тиле Г.У., Тобиас В. [и др.]. – Москва: Прогресс, 1988. – 640 с.

246. *Яблоков, А.В.* Эволюционное учение / А.В. Яблоков, А.Г. Юсуфов – М.: Высшая школа, 2006. – 310 с.

247. *Янин, Е.П.* Техногенные речные илы (вещественный состав , геохимические особенности, экологическая оценка) [Электронный ресурс] / Е.П.Янин // Экологическая экспертиза. Обзорная информация. Оценка воздействия на окружающую среду. – М.: ВИНИТИ, 2013. – Вып. 1. -195 с. Режим доступа: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J11194577>.

248. *Adriano, D.* Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. – 2nd edition. – New York: Springer, 2001. – 867 pp.

249. *Alvarez, W.* An indium clue to the dinosaurs' demise // New Sci. – 1979. – Vol 82. – № 1158. – P. 798.

250. *Anke, Manfred.* Trace elements in man and animals: TEMA 8. / ed.: Manfred Anke, D Meissner, Colin Frederick Mills. /S.I.: Verlag Media Touristik, 1993. – 599 p.

251. Atlas of Endemic Diseases and Environment. – Beijing: Science Press, 1989. – p. 74.

252. Atlas of Soil Environmental Background Value in the People's Republic of China. – Beijing: Chinese Environmental Science Press. – 1994 (in Chinese).

253. *Bech, Jaume.* Radioactive chemical species in soils: Pollution and remediation / Jaume Bech, Manuela Abreu, Elena Korobova, Annamaria Lima, Carmen, Pérez-Sirven // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – Vol. 142. – P. 1-3.

254. *Bowen, H.J.M.* Trace elements in biochemistry / H.J.M. Bowen. – London, N.-Y.: Acad. Press, 1966. – 241 p.

255. *Bradshaw, A.* Adaptation of plants to soils containing toxic metals – a test for conceit // Origins and development of adaptation. – London. – 1984. – P. 4- 14.

256. *Bradshaw, A.D.* Plant evolution in extreme // Ecological genetic and evolution. – Oxford; Edinburgh. – 1971. – P. 79- 93.

257. *Bradshaw, A.D.* Populations of *Agrostis tenuis* resistant to lead and zinc poisoning // Nature. – 1952. – V 169. – P. 28

258. *Brooks, R.R.* Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration /

R.R. Brooks. – New-York: Napper&Row Publishers, 1972. – 290 p.

259. *Cunningham, I.J.* Copper Deficiency in Cattle and Sheep on Peatlands // *New Zealand Journal of Science and Technology. Agricultural Section* . – 1946. – 27 (5). – 381-396.

260. *Cardis, Elisabeth.* Risk of thyroid cancer after exposure to <sup>131</sup>I in childhood / Elisabeth Cardis, Ausrele Kesminiene, Victor Ivanov et al. // *Journal of National Cancer Institute*. – 2005. – Vol. 97. – № 10. – P. 724-732.

261. *Caritat, Patrice de, Reimann, Clemens.* Comparing results from two continental geochemical surveys to world soil composition and deriving Predicted Empirical Global Soil (PEGS2) reference values / Patrice de Caritat, Clemens Reimann // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2012. – Vol. 319-320. – P. 269-276.

262. *Childe, V. G.* *New Light on the Most Ancient East: The Oriental Prelude to European Prehistory.* / V. G. Childe. – London: Kegan Paul, 1935. – 320 pp.

263. *Commoner, Barry.* *The Closing Circle. Nature, Man and Technology* / Barry Commoner. – New York: Knopf, 1971. – 326 pp.

264. *Darlington, C.D.* *The Evolution of Man and Society* / C.D. Darlington. – New York: Simon & Schuster, 1969. – 753 pp.

265. *De Benoist, B.* Iodine deficiency: current situation and future prospects / B. De Benoist, F. Delange. // *Sante*. – 2002. – №12(1). – P. 9-17.

266. *Atlas of Caesium 137 deposition on Europe after the Chernobyl accident* /Ed. Panel M De Cort, Sh D Fridman, Yu A Izrael et al. – EUR 1673 EN/RU. Office for Official Publications of the European Communities, ECSC – EEC – EAEC, Brussels – Luxembourg, 1998. – 63 pp.

267. *Elements and their Compounds in the Environment. Occurrence, analysis and biological relevance General Aspects* / Eds: Ernest Merian, Manfred Anke, Milan Ihnat, Markus Stoeppler). Wiley-VCH Verlag GmbH. – 2008. – 1773 p.

268. *Elton, Charles Sutherland.* *Animal Ecology* – 1st edn 1927, Sidgwick and Jackson, London.

269. *Environmental Geochemistry: Site Characterization, Data Analysis and Case Histories.* 2nd ed. / Eds: B. de Vivo, H. E. Belkin, and A. Lima). Amsterdam – Boston – London – New-York-Oxford – Paris – San Diego – San Francisco – Singapore – Sydney – Tokyo, Elsevier B.V. – 2018. – 644 p.

270. *Engels, F.* *Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft. Philosophie. Politische Ökonomie. Sozialismus/* F. Engels Leipzig: Genossenschaft-Buchdruckerei VIII, 1878). – 274 S.

271. *Essentials of Medical Geology: impacts of the natural environment on public health:* edited by Olle Selinus, Brian Alloway, Jose A. Centeno, Robert B. Finkelman, Ron Fuge, Ulf Lindh and Pauline Smedley. – Amsterdam, London : Elsevier Academic Press, 2005. – 832 p.

272. *Exposures and effects of the Chernobyl Accident Chernobyl\_releases\_UNCEAR.* Annex J, 2000. – P. 451-566.

273. *Fleming, G.A.* () Selenium occurrence in certain Irish soils and its toxic effect at animals /Fleming G.A., Walsh. – T. *Proceedings of the Royal Irish Association*. – 1957. – N 58 – 7.

274. *Fordyce, F. M.* *Database of the Iodine Content of Food and Diets Populated with Data from Published Literature* // *British Geological Survey. Commissioned Report CR/03/84N*. – 2003. – 93 p.

275. *Forrester, J.W.* World dynamics / J.W Forrester. – Cambridge. Massachusetts: Wright-Allen Press. – 1971.
276. *Fortescue, John A.C.* Landscape geochemistry: retrospect and prospect / John A.C. Fortescue. – Applied Geochemistry. – 1992. – No7 (1). – P. 1-53.
277. *Fuge, R.* Soils and Iodine Deficiency / R.Fuge //Essentials of Medical Geology: Ed.-in-Chief Selinus // Academic Press. – 2005. – P. 417-433.
278. *Gennadiyev, A.* Development of the Soil Cover Pattern and Catena Concept / A. Gennadiyev and J.Bockheim //Footprints in the Soil: 1st Edition. People and Ideas in Soil History: editor: Benno Warkentin. – Elsevier Science, 2006. – P. 167-186.
279. Geochemical Atlas of Sweden. Uppsala: Geological Survey of Sweden, 2014. – 208 p.
280. Geochemical Atlas of the Barents Region // Elsevier Science, 2004. – 560 P.
281. *Goldschmidt, V.M.* Geochemistry /V.M. Goldschmidt. – Oxford: Clarendon Press, 1954. – 730 pp.
282. *Grant, Verne.* Organismic Evolution / Grant Verne San Francisco: W.H. Freeman and Co, 1977. – P. xiii. + 418. pp.
283. *Henderson, Paul.* Earth Science Data / Paul Henderson, Gideon Henderson M. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 130 p.
284. *Humboldt, von Alexander.* Ansichten der Natur. / Alexander von Humboldt. – Stuttgart and Tübingen. – 1808.
285. *Humboldt, Al. de. A.* Recueil d'observations de zoologie et d'anatomie compar: faites dans l'ocn atlantique, dans l'intieur du nouveau continent et dans la mer du sud pendant les anns 1799, 1800, 1801, 1802 et 1803. V.1. / Al. de Humboldt et Bonpland. Paris, 1807, 1810, 1811.
286. *Hüttl, R.F.* Forest ecosystem development in post-mining landscapes: a case study of the Lusatian lignite district /Hüttl, R.F. & Weber. – E. Naturwissenschaften, 2001. – Vol. 88. – No8. – P. 322–329.
287. *Jackson, M.L.* Geochemical characteristics of land and its effect on human heart and cancer death rates in the United States and China / M.L. Jackson. – Applied Geochemistry, 1982. No 1. – P. 175-180.
288. *Johnson, C.C.* Database of the iodine content of soils populated with data from published literature / C.C.Johnson // British Geological Survey Commissioned Report, CR/03/004N. Keyworth. – Nottingham. – 2003. – P. 38.
289. *Jordan, David Starr.* The factors in organic evolution: a syllabus of a course of elementary lectures delivered in Leland Stanford junior university, by David Starr Jordan / David Starr Jordan // University Press Leland: Stanford junior university. – California. – 1895. – 326 p.
290. *Kabata-Pendias, A.* Trace elements in soils and plants: 3rd edition / A.Kabata-Pendias, H. Pendias/ – Florida, CRC Press, Inc. Boca Raton, 2001. – 403 pp.
291. *Korobova, E.* Evaluation of stable iodine status of the areas affected by the Chernobyl accident in an epidemiological study in Belarus and the Russian Federation / E. Korobova, Y. Anoshko, A. Kesminiene, A. Kouvyline [et al.] // Journal of Geochemical Exploration. – 2010. – Vol. 107. – P. 123-134.
292. *Korobova, Elena M.* <sup>137</sup>Cs and <sup>40</sup>K in the terrestrial vegetation of the Yenisey Estuary: landscape, soil and plant relationships / Elena M. Korobova, Justin B. Brown, Natalia G. Ukraintseva, and Vitaly V. Surkov // Journal of Environmental Radioactivity. – 2007. – Vol. 96. – № 1-3. – P.144-156.

293. *Korobova, E.* Experience of mapping spatial structure of Cs-137 in natural landscape and patterns of its distribution in soil toposequence / E. Korobova, S. Romanov // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2011. – V.109. – № 1-3. – P. 139-145.
294. *Korobova, E.M.* Radionuclide Distribution in the Lower Yenisey and Pechora Reaches: Landscape geochemical Signatures and Patterns in Global and Regional Contamination / E.M. Korobova, N.G. Ukraintseva, V.V. Surkov [et al.] // *River Pollution Research Progress*. – 2009. – P. 91-156.
295. *Kovalsky, V.V.* Geochemical ecology and problems of health / V.V. Kovalsky // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1979. – B 288. – P. 185-191.
296. *Lamarck, J. B.* Hydrogeologie /Lamarck J. B. – Paris [n. p.]. – 268 pp.
297. *Leuthardt F.* Mineralstoffwechsel und die Spurenelemente. *Ergeb. Physiol.* – 1941. – Vol. 44. – P. 588–643.
298. *Levit, George S.* Biogeochemistry – Biosphere – Noosphere: The Growth of the Theoretical System of Vladimir Ivanovich Vernadsky (Studien zur Theorie der Biologie, Vol. 4) / George S. Levit // Verlag für Wissenschaft und Bildung. – Berlin, 2001. – 116 pp.
299. *Li, Min.* National multi-purpose regional geochemical survey in China /Min Li, Xiaohuan Xi, Guiyi Xiao // *Journal of Geochemical Exploration*, 2014. – No139. – P. 21–30.
300. *Lindeman, R.L.* The trophic-dynamic aspect of ecology / R.L. Lindeman // *Ecology*. – 1943. – Vol. 23. – P. 399–418.
301. *Makhonko, K.P.* Local contamination with 131I after the Chernobyl nuclear power plant accident and estimates of the dose burdens from its radiation / K.P. Makhonko, E.G. Kozlova, A.N. Silantev [et al.] // *Atomic Energy*. – 1992. – № 4. – P. 339-344.
302. *Maslennikov, V.V.* Chimneys in Paleozoic massive sulfide mounds of the Urals VMS deposits: Mineral and trace element comparison with modern black, grey, white and clear smokers / V.V.Maslennikov, S.P. Maslennikova, R.R. Large [et al.] // *Ore Geology Reviews*. – 2017. – No 85. P. 64-106.
303. *Meadows, Donella H.* Limit to growth. A Report for THE CLUB OF ROME'S Project on the Predicament of Mankind. / Donella H. Meadows, Dennis L.Meadows, Jürgen Randers, William W. Behrens III. – New-York: Universe Books, 1973. – 205 p.
304. *Medical Geochemistry: Geological Materials and Health* /Paolo Censi, Thomas H. Darrah, Yigal Erel. — Dordrecht: Springer, 2013. — 250 pp.
305. *Milne, G.* Some suggested units for classification and mapping, particularly for East African soils /G. Milne // *Soil Research*. – 1935. – No 4. P. 183–198.
306. *Milne, G.* A Soil Reconnaissance journey through parts of Tanganyika Territory, 1935-1936 /G. Milne // *Journal of Ecology*. – 1947. – No 35. – P. 192-26 5.
307. *Fundamentals of ecology* /Eugene P. Odum with Howard Odum. – 3-rd edition. – Philadelphia – London – Toronto: W.B. Saunders Company, 1971. – 574c.
308. *Osborn, Henry Fairfield.* The Age of Mammals in Europe, Asia and North America /Henry Fairfield Osborn. – New York: The Macmillan Company, 1910. – 636p.
309. *Paracelsus (Theophrastus Bombastus von Hohenheim).* Essential Theoretical Writings (Edited and translated with a Commentary and Introduction by Andrew Weeks) /Paracelsus. – Leiden – Boston: Hotei Publishing, IDC Publishers, Martinus Nijhoff Publishers and VSP, 2008. – 986 p.
310. *Geochemical Atlas of Scottish soils [Электронный ресурс]* / E. Paterson. – Электрон. текстовые дан. – Aberdeen: Macaulay Land Use Research Institute, Craigiebuckler, 2011. – Режим доступа: <http://www.hutton.ac.uk/sites/default/files/files/>

soils/GeochemicalAtlas\_web\_aug11.pdf, свободный. – Edited and updated by: Colin Campbell, Malcolm Coull, Charles Shand.

311. *Pauling, L.* General Chemistry /L. Pauling, P. Pauling. – San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1970. – 959 pp.

312. *Paulus, H.* Co-Evolution zwischen Blüten und ihren tierischen Bestäubern /H. Paulus //Co-Evolution. 20-ste Phylogenet. Symp. (Hamburg, 28-30 Nov., 1975). – Humburg; Berlin. – 1978. – P. 51 – 81.

313. *Pilbeam, D.* The descent of huminoids and hominids / Pilbeam, D. //Scientific American. – 1984. No 250. – P. 84-96.

314. *Prat, S.* Die erblichkeit der Resistenz gegen Kupfer / S. Prat // Ber. Dtsch. bot. Ges. – 1934. – Vol. I.- P. 65 – 67.

315. Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region [Электронный ресурс] / C. Reimann, M.Åyräs, V. Chekushin, I. Bogatyrev «et al.». – Электрон. текстовые дан. — Trondheim: Geological Survey of Norway, 1998. – Режим доступа: <http://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510652631>.

316. *Reimann, Clemens, de Caritat, Patrice.* Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors / Clemens Reimann, Patrice de Caritat // Geosciences. – 2005. – Vol. 31. – P. 579–587.

317. *Rune, O.* Plant life in serpentines and related rocks in North Sweden /O. Rune // Acta Phytogeografika. Suecica.– 1953. Vol. 31. – 139 pp.

318. *Russel, B.S.* Minerals in pasture: deficiencies and excess in relation to animal health /B.S. Russel, D.L. Duncan. – 2-nd edition. – Cambridge, Farnham Royal, Bucks: Commonwealth Agricultural Bureaux. – 1956.

319. *Schindewolf, O.* Neokatastrophism? /O. Schindewolf // Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft. – 1963. – Vol. 114. – №. 2. –P. 430 – 455.

320. *Shakhtarin, V.V.* Iodine deficiency, radiation dose, and the risk of thyroid cancer among children and adolescents in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl power station accident/ V.V. Shakhtarin, A.F. Tsyb, V.F. Stepanenko [et al.] // International Journal of Epidemiology. – 2003. – Vol.32. – P. 584-591.

321. *Shaw, W.H.R.* Studies in biogeochemistry-I: A biogeochemical periodic table /W.H.R. Shaw //Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1962. – Vol. 19. – № 3. – P.196-207.

322. *Shelford, V. E.* Some Concepts of Bioecology / V.E. Shelford // Ecology. – 1931. – № 12 (3). – P. 455–467.

323. *Shelford, V.E.* Animal communities in temperate America, as illustrated in the Chicago Region; a study in animal ecology / V.E. Shelford // Bull. Geogr. Soc. Chicago. – 1913. – № 5. – P. 362.

324. *Shelford, V.E.* Basic principles on the classification of communities and habitats and the use of terms/V.E. Shelford // Ecology. – 1932. – Vol. 13. – P. 105-120.

325. Soil mineral–organic matter–microorganism interactions and ecosystem health. Dynamics, mobility and transformation of pollutants and nutrients. Developments in Soil Science, 28A /eds: A. Violante, P.M. Huang, J.-M. Bollag, L. Gianfreda. – Amsterdam – Boston – London – New-York- Oxford – Paris – San Diego – San Francisco – Singapore – Sydney – Tokyo: Elsevier Science, 2002. – 460 pp.

326. *Steines, E.* Soils and geomedicine /E. Steines //Environmental Geochemistry and Health. – 2009. – No31, P. 523-535.

327. *Suess, E.* Die Entstehung der Alpen/ E. Suess. – Wien, 1875. – 168 S.



328. *Targulian, Victor O.* Soil memory: Types of record, carriers, hierarchy and diversity: Types of record, carriers, hierarchy and diversity / Victor O. Targulian, Sergey V. Goryachkin // *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* – 2004. – Vol. 21, No 1. – P. 1-8.
329. *The Human Revolution: Behavioral and Biological Perspectives on the Origins of Modern Humans* / eds: Mellars Paul, Cris Stringer. – Edinburgh: University Press, 1989. – 800 pp.
330. *Thornton, Iain.* Environmental Geochemistry: 40 years research at Imperial College, London, UK. /Iain Thornton. – Applied Geochemistry. – 2012. – No 27. – P. 939-953.
331. UNSCEAR. Ionizing Radiation: Health and Biological Effects [Электронный ресурс] /. – Электрон. журн. – New York: United Nations, 1993. – Режим доступа: [http://www.unscear.org/docs/reports/1993/1993a\\_pages%201-30.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/1993/1993a_pages%201-30.pdf).
332. *Underwood, B.* Nutritional Anemias Worldwide: A Historical Overview: ed. Usha Ramakrishnan /B. Underwood //Nutritional Anemias. – Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC Press LLC, 2001. – P. 1-6.
333. *Violante, A., Cozzolino, V., Perelomov, L., Caporale, A.G., Pigna, M.* Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments // *J. Soil. Sci. Plant Nutr.* – 2010. – Vol. 10(3). – P. 268-292.
334. *Von Liebig, Justus.* Letters on modern agriculture. 1859 /Justus von Liebig; ed: John Blyth. – New York: John Wiley, 1978.
335. *Wahlert, G.* Co-Evolution herrscht iberall / G. Wahlert // *Co-Evolution. 20-ste Phylogenet. Symp.* – Berlin. – 1978. – P. 101 – 125.
336. *Wahlert, G.* Phylogenie als okologischer Prozess /G. Wahlert // *Naturwiss. Rdsch.* – 1973. – Vol. 26. – № 6. – P. 247-250.
337. *Walther, I.* Einleitung in der Geologie als historische Wissenschaft. Iena, 1893 – 1894. XXV+1017S.
338. *Warren, H.V.* Biogeochemistry, trace elements and mineral exploration / H.V. Warren. – Applied Soil Trace Elements, 1980. – Chichester: Wiley. – P. 353-380.
339. *Watt, A. S.* Pattern and Process in the Plant Community / A. S. Watt // *Journal of Ecology.* – 1947. – Vol. 35 (1). – P. 1–22.
340. *Whitehead, D. C.* The distribution and transformations of iodine in the environment /D.C. Whitehead // *Environment International.* – 1984. – Vol. 10. – P. 321-339.
341. *Wirth, Reinhard.* Colonization of Black Smokers by Hyperthermophilic Microorganisms /Reinhard Wirth // *Trends in Microbiology.* -2017. – Vol 25. – No2. – P. 92-99.

Е.М. Коробова

**Эколого-геохимические  
проблемы современной ноосферы**

Монография

Формат 60x84 1/8

Гарнитура Times

Усл.-п. л. 14,18. Уч.-изд. л. 7,84

Тираж 300 экз.

Издатель – Российская академия наук

Публикуется в авторской редакции

Отпечатано в экспериментальной цифровой типографии РАН

Издается по решению Научно-издательского совета  
Российской академии наук (НИСО РАН)  
и распространяется бесплатно