

К РАЗРАБОТКЕ НОМОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Виктор Титович Трофимов^{1✉}, Владимир Александрович Королев²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; trofimov@rector.msu.ru ✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; va-korolev@bk.ru

Аннотация. Номологическая база любой науки, состоящая из собственных законов и закономерностей, составляет ее научную основу. Номология (от греч. *nomos* — закон и *logos* — слово, учение) — раздел методологии науки, изучающий методы формулирования закономерностей, законов и создания на их основе научных теорий данной науки. В области экологической геологии номологические основы пока разработаны недостаточно, что объясняется малым возрастом этой науки и нерешенностью многих методологических вопросов ее структуры, проблематики и др. Цель настоящей статьи — проанализировать сложившееся к настоящему времени состояние номологических основ экологической геологии и дополнить их новыми положениями.

Ключевые слова: номология, экологическая геология, законы экологической геологии, закономерности, методология науки

Для цитирования: Трофимов В.Т., Королев В.А. К разработке номологических основ экологической геологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 4. С. 3–10.

TO THE DEVELOPMENT OF NOMOLOGICAL FOUNDATIONS OF ECOLOGICAL GEOLOGY

Viktor T. Trofimov^{1✉}, Vladimir A. Korolev²

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; trofimov@rector.msu.ru ✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; korolev@bk.ru

Abstract. The nomological basis of any science, consisting of its own laws and regularities, constitutes its scientific basis. Nomology (from the Greek *nomos* — law and *logos* — word, doctrine) is a section of the methodology of science that studies methods for formulating patterns, laws and creating scientific theories of a given science on their basis. In the field of environmental geology, the nomological foundations have not yet been sufficiently developed, which is explained by the small age of this science and the unresolvedness of many methodological issues of its structure, problems, etc. The purpose of this article is to analyze the current state of the nomological foundations of environmental geology and supplement them with new provisions.

Keywords: nomology, environmental geology, laws of environmental geology, patterns, methodology of science

For citation: Trofimov V.T., Korolev V.A. To the development of nomological foundations of ecological geology. *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 4: 3–10. (In Russ.).

Введение. Экологическая геология — одно из самых молодых научных направлений современной геологии, исследующее верхние горизонты литосферы как одну из основных абиотических компонент экосистем высшего уровня организации (от биогеоценоза до экосферы). При эколого-геологических исследованиях верхние горизонты литосферы изучаются как *эколого-геологические системы*, главное отличие которых заключается в наличии абиотического и живого компонентов, то есть с новых, присущих только экологической геологии позиций, их связи с оценкой влияния геологических факторов, прежде всего вещественных и энергетических, на биоту, включая человека и социум.

Эколого-геологические системы и их эколого-геологические условия относятся к числу открытых систем. По структуре они представляют собой сложные, многофакторные динамические образования, изменяющиеся под влиянием природных

и техногенных процессов, причем изменяющиеся очень быстро даже в физической временной системе, а с точки зрения геологического времени — практически мгновенно.

Теоретико-методологические основы экологической геологии как нового направления геологической науки были сформулированы в монографиях [Теория..., 1997; Экологические..., 2000]. Основополагающим в этом новом направлении геологии является учение об экологических функциях литосферы. Под ними понимается все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы, включая подземные воды, нефть, газы, геохимические и геофизические поля, и протекающие в ней геологические процессы в жизнеобеспечении биоты, и главным образом человеческого сообщества. Выделены четыре экологические функции литосферы — ресурсная, геодинамическая, геохимическая и геофизическая.

Исходя из этих положений содержание экологической геологии определяется так: *экологическая геология — новое направление геологических наук, изучающее экологические функции литосферы, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнедеятельностью биоты, и прежде всего человека.*

Любая наука, помимо предмета и объекта своих исследований, характеризуется проблематикой и задачами, решаемыми на основе собственной методологии. Важнейшей частью методологии является номологическая основа науки, состоящая из собственных аксиом, положений, законов и закономерностей. Номология (от греч. *nomos* — закон и *logos* — слово, учение) — раздел методологии науки, изучающий методы формулирования закономерностей, законов и создания на их основе научных теорий данной науки. В области экологической геологии номологические основы пока разработаны недостаточно, что объясняется малым возрастом этой науки и нерешенностью многих методологических вопросов ее структуры и проблематики.

В связи с этим цель настоящей статьи — проанализировать сложившееся к настоящему времени состояние номологических основ экологической геологии и дополнить их новыми положениями.

Современное состояние номологической базы экологической геологии. Законы экологической геологии — доказуемые научные утверждения, описывающие наиболее существенные связи между различными компонентами эколого-геологических систем, понятиями, закономерностями, явлениями, процессами, предложенные в качестве объяснения эколого-геологических фактов и согласующиеся с опытными данными (практикой) экологической геологии.

«Собственными» элементами логической структуры экологической геологии и ее основными законами является ряд положений, отражающих современные обобщенные знания о закономерностях экологических функций литосферы. Среди них можно выделить по В.Т. Трофимову и Д.Г. Зилингу [Трофимов, Зилинг, 1999], общие законы экологической геологии и частные, действующие в отдельных ее разделах. Законы и закономерности экологической геологии подчиняются действию общих экологических законов, детальный анализ которых был проведен Н.Ф. Реймерсом [Реймерс, 1994]. Среди последних выделяются следующие два **закона соответствия** [Трофимов, Королев, 2012].

1. Основной экологический закон состоит в том, что *характер развития общества и состояние природной среды находятся во взаимном соответствии, они влияют друг на друга.*

2. *Состояние любых организмов в природе находится в соответствии с взаимодействующими с ними компонентами окружающей среды.*

В настоящее время в экологической геологии обоснованы три закона наиболее общего характера [Трофимов, Зилинг, 1999].

Первый закон экологической геологии состоит в том, что *эколого-геологические свойства и функции литосферы и ее компонентов, их пространственно-временные изменения определяются историей их геологического развития во взаимодействии с внешними природными средами и техносферой.*

Методологическое значение этого закона состоит в том, что он определяет условия изменения экологических функций литосферы и ее компонентов, указывает на источники этих изменений.

Второй закон экологической геологии также имеет общий характер и состоит в том, что *динамика экологических функций литосферы и ее компонентов обусловлена их природными свойствами, видом и интенсивностью взаимодействия с внешними, в том числе техногенными средами.*

Методологическое значение второго закона состоит в том, что он определяет условия динамики экологических функций литосферы и ее компонентов.

Третий закон экологической геологии состоит в том, что *экологические качества литосферы определяются природными факторами и техногенезом, что обуславливает необходимость поиска их оптимального сочетания и разумного компромисса между природой и человеком.*

Методологическое значение третьего закона состоит в том, что он определяет особенности современного качества литосферы в условиях влияния природных и техногенных факторов.

Таким образом, именно эти три закона формируют методологический стержень, объединяющий научные основания других наук, и составляют собственную часть логической основы экологической геологии в целом.

Кроме закономерностей и законов геологических наук номологическая база экологической геологии должна включать в себя теории и законы медицинских и ряда других естественных наук, в первую очередь биологии, географии и почвоведения. Эти науки позволяют изучать смежные (внешние) по отношению к литосфере геосферные оболочки Земли, знания о которых необходимы при решении эколого-геологических задач. Однако все эти законы, используемые экологической геологией, не являются ее собственными законами.

Основные законы научных разделов экологической геологии еще далеки от оптимальных формулировок и постепенно совершенствуются. Так, например, до сих пор остаются недостаточно разработанными собственные законы об основных экологических функциях литосферы. Ниже приводятся формулировки таких законов, характеризующих некоторые наиболее общие закономерности экологических функций литосферы: ресурсной, геохимической, геодинамической и геофизической.

Законы об экологических функциях литосферы. Законы о ресурсной экологической функции литосферы — собственные законы экологической геологии, характеризующие ресурсную экологическую функцию литосферы. Напомним, что *ресурсная экологическая функция литосферы* — взаимосвязь, определяющая роль минеральных, органических, органо-минеральных ресурсов литосферы, а также ее геологического пространства для жизни и деятельности биоты как в качестве биоценоза, так и человеческого сообщества как социоструктуры [Базовые..., 2012].

Они основываются на ряде следующих **аксиом**.

1. Для формирования и нормального функционирования экосистем необходимы ресурсы питательных веществ, включая водные и почвенные ресурсы, а также энергетические ресурсы, ресурсы геологического пространства, а для социальных экосистем — и минерально-сырьевые ресурсы полезных ископаемых.

2. Ресурсная экологическая функция литосферы является определяющей для экосистем, т.к. обуславливает возможность ее существования и развития.

3. Любые экологические оценки экосистем без анализа ресурсной составляющей будут неполными и чреваты негативными последствиями [Трофимов, Зилинг, 2002].

4. Ресурсная экологическая функция литосферы наиболее тесно связана с социально-экономическими проблемами человеческого сообщества [Трофимов, Зилинг, 2002].

5. Минерально-сырьевые ресурсы литосферы делятся на возобновляемые и невозобновляемые.

6. Некоторые виды техногенеза (включая загрязнение грунтов и подземных вод) снижают ресурсы геологического пространства, а также невозобновляемые минерально-сырьевые ресурсы.

На базе этих аксиом выводятся законы о ресурсной экологической функции литосферы. Эти законы определяют некоторые закономерности влияния литосферы на различные ресурсы экосистем. Таких законов несколько.

Закон о биоразнообразии ресурсов экосистем состоит в том, что *биоразнообразие природной экосистемы прямо пропорционально зависит от разнообразия и количества в литотопе, как литогенной основе экосистемы, ресурсов питательных веществ, ресурсов геологического пространства и энергетических ресурсов*.

Методологическое значение этого закона определяется тем, что он позволяет оценивать биоразнообразие экосистемы на основе анализа различных ресурсов ее литотопа. Доказательство данного закона следует из общеприродного закона перехода количественных изменений в качественные: с увеличением количества и разнообразия ресурсов питательных веществ, геологического пространства и энергетических ресурсов биоразнообразие экосистемы в целом также возрастает и переходит в новое качество.

Законы о геохимической экологической функции литосферы — собственные законы экологической геологии, характеризующие геохимическую экологическую функцию литосферы. Напомним, что *геохимическая экологическая функция литосферы* — взаимосвязь, отражающая способность геохимических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты в целом и человеческое сообщество в частности [Базовые..., 2012].

Эти законы определяют общие черты влияния геохимии литосферы на особенности экосистем. Отметим для формулировок таких законов в отношении геохимической экологической функции литосферы важность четкого понимания одного из положений, сформулированных В.И. Вернадским: «... всё время на земной поверхности шли те же процессы выветривания, т.е. в общем наблюдался тот же средний химический состав живого вещества и земной коры, какой мы и ныне наблюдаем» [Вернадский, 1994, с. 326]. По сути, это тезис о постоянстве химизма живого вещества и его первостепенной роли в биохимических процессах на Земле на всем протяжении ее геологической истории.

Одним из важнейших на наш взгляд законом о геохимической экологической функции литосферы является **закон о геохимическом круговороте веществ в экосистеме**, который свидетельствует о том, что *гомеостаз и функционирование экосистемы определяется особенностями геохимического круговорота веществ в литотопе и связанных с ним почвами, микробными, растительными и животными сообществами*.

Доказательством данного закона служит наличие в природе глобальных круговых процессов различных веществ и химических элементов (воды, углерода, азота, фосфора и т.д.), обеспечивающих функционирование биосферы Земли. Механизм и природа этих глобальных круговых процессов объясняется, в том числе, законами термодинамики [Реймерс, 1994; Королев, 2020а]. В пределах локальных экосистем формируются «малые круговые процессы», существенная роль в которых принадлежит литотопам.

Закон о геохимических аномалиях экосистем состоит в том, что *наличие в литосфере (литотопе) геохимической аномалии веществ обуславливает появление соответствующей аномалии в почвах и, как следствие, — аномалий в биотических компонентах: микробных, растительных и животных сообществах, а также в человеческом обществе, проявляющиеся в виде эндемических заболеваний*.

Доказательством данного закона служат многочисленные факты одновременного выявления эндемических заболеваний и локальных геоботанических аномалий, обусловленных локальными природными аномалиями в почвах и подпочвенных грунтах. Эндемические заболевания растений, животных и человека связаны с резкой недостаточ-

ностью или избыточностью содержания какого-либо химического элемента в среде — чаще всего в литотопе и эдафотопе. На техногенно освоенных территориях не менее широко распространены и техногенные геохимические аномалии, связанные с различными видами химического загрязнения почв и подпочвенных грунтов, которые в свою очередь вызывают аномалии в биотических компонентах экосистем. В этом случае аномалии биоты чаще всего выражаются в ее угнетении вплоть до полной гибели популяций организмов. В целом же необходимо иметь в виду, что геохимические аномалии могут оказывать на экосистемы как отрицательное, так и положительное влияние.

Законы об экологической геодинамической функции литосферы — собственные законы экологической геологии, характеризующие геодинамическую экологическую функцию литосферы. Напомним, что *геодинамическая экологическая функция литосферы* — взаимосвязь, отражающая способность литосферы влиять на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные геологические процессы [Базовые..., 2012].

Эти законы также базируются на ряде **аксиом**, в том числе следующих.

1. Любой геодинамический процесс имеет экологические последствия.

2. Геологические и инженерно-геологические процессы влияют на состояние и функционирование экосистем прямым или косвенным способом (через опосредованное влияние на ресурсную, геохимическую и геофизическую функции).

3. Геодинамические процессы в литосфере могут оказывать как отрицательное, так и положительное влияние на экосистему.

Среди **законов об экологической геодинамической функции литосферы** предложено несколько формулировок. Так, например, в рамках экологической геодинамики предложена в качестве одного из законов или критериальных положений позиция о том, что *изменение эколого-геологического состояния литосферы и ее компонентов определяется как природными свойствами, так и видом и интенсивностью взаимодействия с внешними, в том числе техногенной, средами* [Трофимов, Зилинг, 1999].

Другой **закон экологической геодинамики** был сформулирован В.А. Королевым [Королев, 2006] применительно к эколого-геологическим системам: *динамика геологических и инженерно-геологических процессов определяет скорость и характер сукцессий в эколого-геологических системах*. Однако он может быть расширен на геодинамические функции литосферы: *геодинамические процессы литосферы определяют скорость и характер сукцессий в экосистемах*.

Доказательством этого закона служат данные о ходе сукцессий на территориях, пораженных теми или иными опасными экзогенными геологическими процессами: если скорость геологического про-

цесса мала, то экосистема успевает адаптироваться к новым меняющимся условиям, если же скорость геологического процесса велика, то экосистема разрушается и лишь потом постепенно восстанавливается, проходя через ряд последовательных стадий — сукцессий. Циклические, повторяющиеся на одном и том же месте геологические процессы могут вообще приостановить сукцессии и процесс восстановления экосистемы. Примером тому могут служить склоны массивов, сложенных дисперсными грунтами, на которых развивается плоскостная эрозия. На таких склонах отсутствуют и почвы, и растительность.

Законы о геофизической экологической функции литосферы — собственные законы экологической геологии, характеризующие геофизическую экологическую функцию литосферы. Напомним, что *геофизическая экологическая функция литосферы* — взаимосвязь, отражающая способность природных и техногенных геофизических полей влиять на состояние биоты и здоровье человека [Базовые..., 2012].

Эти законы определяют влияние геофизических полей литосферы (теплового, гравитационного, радиоактивного и др.) на экосистемы. Они также основываются на ряде **аксиом**.

1. Геофизические поля в литосфере могут быть природными и техногенными.

2. Основными геофизическими полями литосферы являются гравитационное, геомагнитное, сейсмическое, температурное, электрическое и электромагнитное, радиационное поле.

3. Для всех геофизических полей литосферы характерны аномалии — природные или техногенные.

4. Геофизические поля в литосфере взаимодействуют друг с другом, накладываются и вызывают синергетические эффекты.

5. Экосистемы биосферы адаптированы к естественным геофизическим полям литосферы, но не адаптированы к техногенным полям.

На базе этих аксиом могут быть сформулированы некоторые законы о геофизической экологической функции литосферы.

Закон об аномалиях геофизических полей литосферы позволяет судить об их влиянии на экосистемы и состоит в том, что *наличие в литосфере (литотопе) аномалий геофизических полей вызывает трансформацию экосистем и формирование в них аномалий биокосных и биотических компонентов*.

Доказательством данного закона служат многочисленные факты в аномалиях почв и растительных сообществ, а также сообществ животных и микроорганизмов, обусловленных локальными (местными) аномалиями теплового поля, что особенно ярко проявляется в криолитозоне, а также на территориях геотермальных полей. При этом необходимо иметь в виду, что геофизические аномалии могут оказывать как отрицательное, так и положительное влияние на биоту в зависимости от интенсивности аномалий, их природы и т.п.

Дальнейшее развитие номологических основ экологической геологии — разработка законов об эколого-геологических системах. Наряду с законами об экологических функциях литосферы не менее важными являются собственные **законы об эколого-геологических системах** (ЭГС), как компонентах экосистем. Процесс обоснования новых научных положений, аксиом, закономерностей и собственных законов экологической геологии продолжается. В основе разработки номологической базы экологической геологии и законов об эколого-геологических системах лежат также некоторые **аксиомы**, характеризующие особенности эколого-геологических систем. Главными из них являются следующие.

1. Все ЭГС состоят из абиотических (включая биокосные) и биотических компонентов.

2. ЭГС могут быть природными, техногенно-измененными и техногенными (искусственными).

3. Всякая ЭГС меняется под влиянием внешних и внутренних факторов.

4. Литотопы природных ЭГС, как многокомпонентных систем, состоят из следующих абиотических компонентов: массивов грунтов того или иного генезиса, состава и строения, подземных вод (гидротоп), рельефа, а также полей геодинамических, геохимических и геофизических процессов, находящихся во взаимосвязи и взаимодействии.

5. Во всякой ЭГС осуществляется взаимное влияние живого и неживого.

6. Взаимное влияние живого и неживого в ЭГС может быть как прямым, так и косвенным.

7. Существование и устойчивость ЭГС поддерживается гомеостазом ее компонентов: чем их больше, тем выше устойчивость.

8. Устойчивость природных ЭГС определяется наименее устойчивым (слабым) компонентом.

9. Развитие ЭГС, ее полнота и совершенство зависит от «проницаемости» грунтового массива (литотоп) для биоты и ее «проникающей способности». Проницаемость грунтовых массивов для биоты возрастает в ряду «монокристаллические скальные» < «скальные трещиноватые» < «скальные выветрелые и пористые» < «глинистые литифицированные» < «суглинистые» ≈ «крупнообломочные» < «песчаные», а проникающая способность биоты возрастает с уменьшением размера организмов.

10. Биоразнообразие природных ЭГС зависит от видового разнообразия ее абиотических и биотических компонентов, количества пищевых цепей и видов взаимодействий.

11. Любому процессу в ЭГС предшествует определенная причина.

12. Компоненты ЭГС, не имеющие между собой ничего общего, не могут быть познаваемы один через другой и наоборот.

За время, прошедшее с момента формулирования первых законов экологической геологии, накопились новые научно обоснованные теоретические положения, которые существенно расширяют ее

номологические основы. В их числе — новые закономерности и законы, описывающие и предсказывающие изменение эколого-геологических систем (ЭГС) и их абиотических и биотических компонентов. Рассмотрим некоторые из них.

Закон о доминирующей роли литотопов в природных ЭГС: *литотоп природных ЭГС оказывает определяющее влияние на формирование особенностей биокосных (почв) и биотических компонентов, особенно микробо- и фитоценозов.*

Доказательство данного закона следует из накопленных к настоящему времени многочисленных фактов о формировании почв, состав которых полностью определяется их подпочвенным субстратом, а также о приуроченности микробных и растительных сообществ к определенным типам массивов грунтов, от скальных до дисперсных, в том числе и при отсутствии почв. Кроме того, это доказывается наличием большого числа выявленных *облигатных видов* микробов-литофилов, мхов и лишайников-эпилитов и растений литофитов (петрофитов, хасмофитов, гляреофитов, псаммофитов, пелитофитов, кальцефитов и др.), приуроченных лишь к определенным субстратам — массивам различных типов грунтов.

На наш взгляд это один из важнейших законов об эколого-геологических системах, поскольку именно он устанавливает важнейшие причинно-следственные связи в ЭГС, от которых зависят все прочие особенности этих систем. Более того, данный закон имеет важное значение и для анализа рассмотренных выше экологических функций литосферы, поскольку указывает не только на потенциальную возможность влияния грунтов на биокосные и биотические компоненты ЭГС, но и раскрывает механизм реализации экологических функций литосферы. Следует также отметить, что именно игнорирование данного закона привело к неверной современной трактовке структуры биогеоценоза по В.Н. Сукачеву, в которой не нашлось места подпочвенным грунтам.

Закон целостности эколого-геологической системы: *целостность эколого-геологической системы обусловлена взаимодействием между всеми ее абиотическими (литотоп, эдафотоп) и биотическими (микробоценоз, фитоценоз, зооценоз) компонентами и их взаимным влиянием друг на друга, обеспечивающим их единство и общность.*

Доказательство этого закона следует из общепризнанного философского закона единства и борьбы противоположностей: абиотические и биотические компоненты ЭГС, несмотря на их разную природу, создают определенное единство в рамках данной ЭГС.

Значение этого закона состоит в том, что он предопределяет рассмотрение любой ЭГС как *целостной системы*, которой присущи все системные атрибуты, рассматриваемые в системном анализе [Королев, 2020б].

При этом, выделяя ЭГС как часть экосистемы, необходимо подчеркнуть ведущую роль литотопов,

Систематика природных эколого-геологических систем по иерархическим уровням организации (по В.А. Королеву [Королев, 2020a] с изменениями авторов)

Иерархические типы ЭГС	Уровень иерархии	Критерии выделения ЭГС					
		Абиотические и биокосные			Биотические		
		Литотоп		Эдафотоп	Микробоценоз	Фитоценоз	Зооценоз
		Тип геологического строения	Рельеф				
Биосфера	V. Глобальный	Литосфера Земли	Глобальный рельеф Земли	Глобальный почвенный покров	Глобальный микробоценоз	Глобальный фитоценоз	Глобальный зооценоз
Надрегиональная ЭГС	IV. Надрегиональный	Континентальные и океанические платформы и орогены	Рельеф континентов и океанов	Надрегиональный эдафотоп (сочетание отделов и стволоч почв)	Сочетание макромикробоценозов	Группы, классы и тип растительных формаций	Биофилотические царства
МакроЭГС	III. Региональный	Массив III-го порядка	Макроформа рельефа, сочетание мезоформ	Региональный эдафотоп (сочетание типов почв)	Комплекс мезомикробоценозов (макромикробоценоз)	Комплекс фитоценозов (макрофитоценоз — растительные формации)	Комплексы зооценозов (макрозооценоз, биофилотические области)
МезоЭГС	II. Локальный	Массив II-го порядка (сложная грунтовая толща)	Гетерогенная мезоформа рельефа	Локальный эдафотоп (почва одного типа)	Сочетание мономикробоценозов (мезомикробоценоз)	Сочетание фитоценозов (мезофитоценоз — группы ассоциаций)	Сочетания зооценозов (мезозооценоз)
МоноЭГС	I. Элементарный	Массив I-го порядка (однородная грунтовая толща)	Элементарная форма рельефа	Элементарный эдафотоп (почва одного подтипа)	Однородный микробоценоз (мономикробоценоз)	Однородный фитоценоз (монофитоценоз растительная ассоциация)	Однородный зооценоз (монозооценоз)

поскольку именно литотоп определяет и обеспечивает целевую функцию эколого-геологической системы: литотоп является обязательным компонентом всякой эколого-геологической системы.

Закон иерархии эколого-геологических систем: с увеличением ранга организации (иерархичности) эколого-геологическая система приобретает новые, эмерджентные особенности, обусловленные проявлением синергизма и масштабного эффекта во всех ее абиотических и биотических компонентах.

Доказательство данного закона следует из общепризнанного философского закона перехода количественных изменений в качественные: с увеличением ранга организации ЭГС осуществляется скачкообразный переход постепенно накапливаемых изменений в компонентах ЭГС в новое состояние — новое качество.

Значение этого закона для экологической геологии состоит в том, что все ЭГС должны рассматриваться как иерархические объекты, взаимосвязанные друг с другом на разных масштабных уровнях. Задача ученых — выявить механизм и особенности этой взаимосвязи.

Поскольку ЭГС сама является частью экосистемы, а та в свою очередь является компонентом биосферы, то их соотношение можно иллюстрировать с помощью логической схемы, представленной на рис. 1.

На основе закона иерархии эколого-геологических систем нами была предложена следующая иерархия природных ЭГС (таблица).

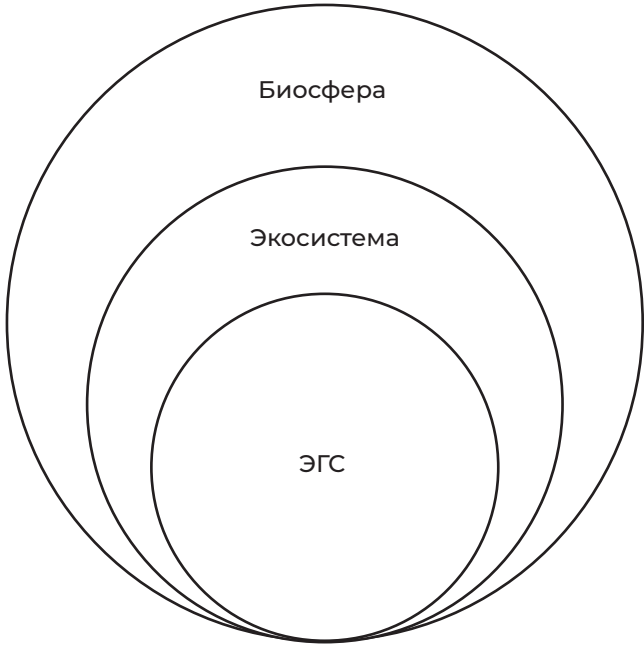


Рис. 1. Соотношение эколого-геологической системы (ЭГС) с окружающими системами

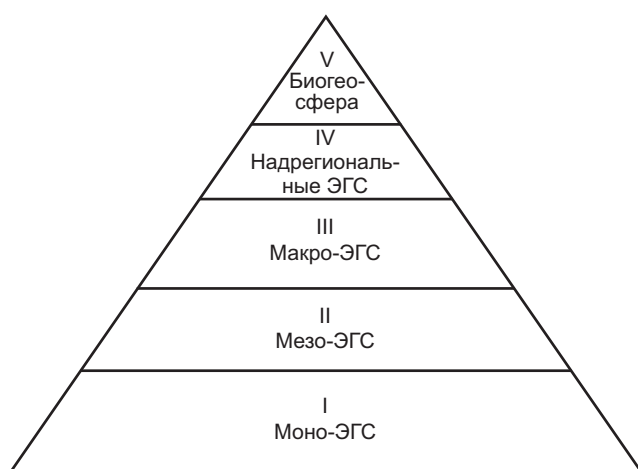


Рис. 2. Пирамида эколого-геологических систем различного иерархического уровня организации

В этой классификации учтена иерархия всех компонентов ЭГС, как абиотических, биокосных, так и биотических. При этом важно подчеркнуть, что подобная классификация может служить основой для картографирования ЭГС разного масштаба. Также отметим, что в представленной классификации, в отличие от предыдущего варианта [Королев, 2020б], учтены, кроме того, и микробеценозы как составляющие ЭГС. Необходимо также подчеркнуть, что для макро-ЭГС, а также ЭГС надрегионального уровня должны учитываться и климатические условия их существования. Именно в системах этих уровней будет проявляться климатическая зональность, как широтная, так и высотная.

Иерархия организации природных эколого-геологических систем наглядно может быть представлена и в виде логической пирамиды понятий разного уровня (рис. 2). Здесь в основании пирамиды лежат моно-ЭГС элементарного уровня организации, отличительной особенностью которых является однородность всех их компонентов — литотопа, рельефа, эдафотоп, микробо-, фито- и зооценозов. Их литогенной основой являются массивы I-го порядка, или однородные грунтовые толщи. Это самые многочисленные типы ЭГС.

Их закономерное сочетание образует ЭГС более высокого, второго иерархического уровня — мезо-ЭГС, представляющие собой локальные гетерогенные образования, отличительной особенностью которых является наличие в них специфических комплексов или сочетаний элементарных ЭГС. Для них литогенной основой служат массивы II-го порядка или сложные грунтовые толщи.

Более высокий, третий или региональный иерархический уровень организации ЭГС образован комплексами или сочетанием мезо-ЭГС. Их отличительной особенностью является то, что они выявляются при региональных оценках ЭГС того или иного масштаба, а литогенной основой для них служат массивы III-го порядка.

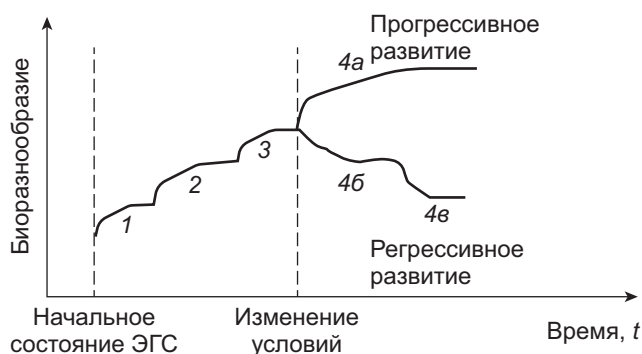


Рис. 3. Изменение биоразнообразия в ЭГС во времени при смене условий: 1–4 — смена сукцессий и сообществ животных

И, наконец, в вершине пирамиды находится биосфера Земли в целом, рассматриваемая как глобальная эколого-геологическая система. Ее литогенной основой является вся литосфера Земли, а выявляется она по сочетанию надрегиональных ЭГС.

Закон развития (эволюции) эколого-геологических систем: эволюция эколого-геологических систем осуществляется за счет процессов конкуренции (борьбы) ее биотических компонентов за существование (за жизненное пространство), проявляющееся в смене сукцессий и сообществ животных с достижением состояния гомеостаза (неустойчивого равновесия), которое нарушается (отрицается) при изменении внешних условий (природных или техногенных), запуская вновь механизм формирования нового состояния гомеостаза, которое может быть или прогрессивным или регрессивным.

Доказательство этого закона следует из общепризнанных философских законов отрицания отрицания, а также закона единства и борьбы противоположностей. Проиллюстрировать действие этого закона можно при анализе эволюции биоразнообразия эколого-геологической системы (рис. 3).

В естественных условиях биоразнообразие данной ЭГС, оцениваемое каким-либо количественным показателем, меняется по сравнению с начальным состоянием в соответствии со сменами сукцессий, проходящих ряд последовательных стадий (рис. 2). Изменение внешних условий в какой-либо момент времени (t) приводит к смене механизмов развития сукцессий, которые после этого могут иметь либо прогрессивный характер, наследующий предыдущие циклы сукцессий, либо регрессивный, приводящий к регрессивным сукцессиям и обуславливающим регрессивное изменение биоразнообразия (рис. 3).

Закон изменения (консервативности) абиотических и биотических компонентов ЭГС: в цепи взаимосвязи абиотических и биотических компонентов эколого-геологической системы «литотоп ↔ эдафотоп ↔ микробеценоз ↔ фитоценоз ↔ зооценоз» консервативность (устойчивость и сменяемость) компонентов уменьшается слева-направо и наоборот.

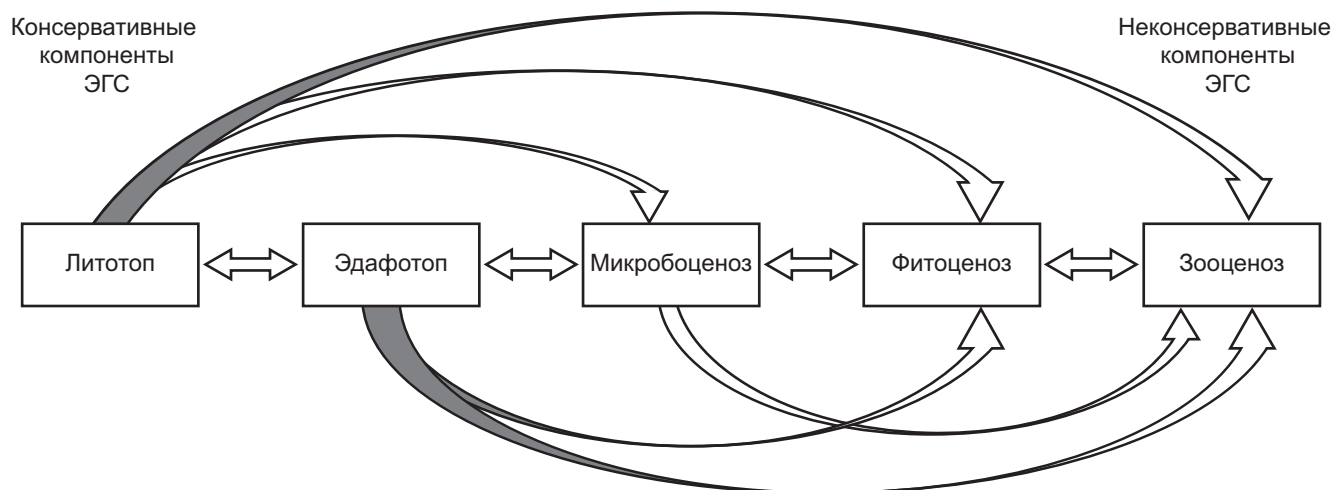


Рис. 4. Схема консервативности взаимодействия компонентов эколого-геологической системы

Доказательство этого закона основывается на **аксиоме** о том, что *все ЭГС состоят из консервативных (или медленно меняющихся во времени) компонентов и неконсервативных (быстро меняющихся) компонентов*, при этом данное свойство ЭГС обусловлено особенностями их состава, строения и свойств.

На основе этой аксиомы можно сформулировать следующую **теорему**: *изменение какого-либо компонента указанного ряда в приведенной схеме ЭГС вызывает в первую очередь изменение соседнего компонента справа, и только потом — слева* (см. рис. 4). Кроме того, деградация или полное уничтожение какого-либо компонента этого ряда вызывает деградацию или уничтожение компонентов ЭГС, стоящих правее, но не вызывает прямое уничтожение компонентов, стоящих левее данного.

Как видно из изложенного, законы динамики, развития или эволюции ЭГС являются одними из самых актуальных для экологической геологии и совершенствования ее номологической основы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов / Колл. авторов: Трофимов В.Т., Королев В.А., Харьковина М.А. и др. / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: ОАО «Геомаркетинг», 2012. 320 с.

Вернадский В.И. [Очерк первый] Биосфера в Космосе // Живое вещество и биосфера / Отв. ред. А.Л. Яншин. М.: Наука, 1994. 672 с.

Королев В.А. Влияние динамики геологических процессов на эколого-геологические системы // Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики: Труды межд. конф. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. С. 129–130.

Королев В.А. Экологическая геокибернетика: Теория управления эколого-геологическими системами. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2020а. 440 с.

Королев В.А. Методология научных исследований в инженерной геологии: Уч. пособие. М.: ООО Самполиграфист, 2020б. 353 с.

Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Журнал «Россия Молодая», 1994. 367 с.

Заключение. Выполненный анализ современного состояния номологической базы экологической геологии, а также разработанные теоретические положения и номологические высказывания позволяют сделать следующие выводы.

1. Современная экологическая геология обладает собственной номологической базой, представляющей ее теоретико-методологическую основу, которая постоянно развивается и совершенствуется.

2. Наряду с общими законами экологической геологии выделяется ряд аксиом и собственных частных законов экологической геологии как в области оценки экологических функций литосферы, так и в области оценки особенностей эколого-геологических систем.

3. Несмотря на имеющиеся достижения в разработке номологических основ экологической геологии, вопросы их дальнейшего совершенствования и разработки собственных законов экологической геологии остаются актуальными.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова // В.Т. Трофимов, Т.И. Аверкина, Б.В. Виноградов, Г.А. Голодковская и др. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 368 с.

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Инженерная геология и экологическая геология: теоретико-методические основы и взаимоотношения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. 120 с.

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология: Учебник. М.: Геоинформмарк, 2002. 415 с.

Трофимов В.Т., Королев В.А. Законы экологической геологии // Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов / Колл. авторов: Трофимов В.Т., Королев В.А., Харьковина М.А. и др. / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: ОАО «Геомаркетинг», 2012. С. 205–206.

Экологические функции литосферы / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Барабошкина и др. М.: Изд-во МГТУ, 2000. 432 с.

Статья поступила в редакцию 20.02.2024, одобрена после рецензирования 21.03.2024, принята к публикации 18.08.2024