

УДК 55; 504; 574

В.Т. Трофимов

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ЕЕ ТИПЫ И ПОЛОЖЕНИЕ В СТРУКТУРЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Эколого-геологическая система представляет собой определенный объем литосферы с функционирующей в нем и на его поверхности биотой, включая человека и социум. Она рассматривается как объект исследования экологической геологии. Выделены и охарактеризованы четыре типа эколого-геологических систем: природная реальная, природная идеальная, природно-техническая идеальная и природно-техническая реальная. Показано положение эколого-геологической системы в структуре экосистемы.

Ключевые слова: экологическая геология, эколого-геологическая система, структура эколого-геологической системы, типы эколого-геологических систем, эколого-геологические условия, экосистема.

Ecological geological system is the specified volume of the lithosphere and biota (including man and social medium) functioning within and on its surface. Ecological geological system was considered as an object of investigation of the ecological geology. Four types of ecological geological system were distinguished and characterized: real natural, ideal natural, ideal natural technical and real natural technical. Position of the ecological geological system in the structure of ecosystem was demonstrated.

Key words: ecological geology, ecological geological system, the structure of the ecological geological system, types of the ecological geological systems, ecological geological conditions, ecosystem.

Введение. Экологическая геология — самое молодое научное направление современной геологии. Она исследует верхние горизонты литосферы¹ как одну из основных абиотических компонентов экосистемы высокого уровня организации — от биогеоценоза до экосферы [Теория..., 1997; Трофимов, Зилинг, 2002].

При эколого-геологических исследованиях верхние горизонты литосферы изучаются как *эколого-геологические системы*, главное отличие которых заключается в наличии и взаимодействии в пространстве и времени геологического абиотического и живого компонентов. Это изучение проводится с принципиально новых, присущих только экологической геологии позиций. Она рассматривает их в связи с оценкой влияния геологических факторов, прежде всего вещественных и энергетических, на биоту, включая человека и социум. Комплекс современных морфологически выраженных геологических факторов, оказывающих такое влияние, определяет *эколого-геологические условия* любого массива, любой геологической структуры. Их характеристика осуществляется на основе изучения экологических свойств и функций литосферы [Трофимов, Зилинг, 2002; Экологические..., 2000].

Эколого-геологическая система и ее типы

Эколого-геологическая система — определенный (в принципе любой по размерам) объем литосферы с функционирующей непосредственно в нем или на его поверхности биотой, включая человека и социум. Она исследуется как многокомпонентная система, включающая породы, подземные воды, нефть и газы, геохимические и геофизические поля и протекающие геологические процессы, влияющая на существование и развитие биоты, в том числе и человеческого сообщества.

Это понятие и термин «эколого-геологическая система» были введены М.Б. Куриновым. В книге «Теория и методология экологической геологии» (1997) он (совместно с Г.А. Голодковской) рассматривал эту систему как открытую динамическую, в которой в качестве подсистемных элементов выступают источник воздействия (техногенный, природный), геологический компонент природной среды и экологическая мишень, тесно связанные прямыми и обратными причинно-следственными связями, обуславливающими ее структурно-функциональное единство.

Эколого-геологические системы — объект экологической геологии. По структуре они представляют

¹ Термин «литосфера» в экологической геологии используется вполне сознательно в содержании «твердая Земля», обычно принимаемом в экологической литературе. С геологической точки зрения речь идет о приповерхностной части литосферы, обычно о верхних горизонтах земной коры.

собой сложные, многофакторные динамические образования, изменяющиеся под влиянием природных или природных и техногенных процессов, причем изменяющиеся очень быстро даже в физической временной системе, а с точки зрения геологического времени — практически мгновенно.

Современное состояние таких систем сформировалось и трансформируется под влиянием трех групп причин: 1) закономерностей геологического развития в прошлом и современного тектонического режима, 2) современного климата, 3) а на освоенных территориях и антропогенных (техногенных) воздействий. Первая группа причин обуславливает формирование так называемых региональных геологических факторов эколого-геологических условий, а первая и вторая вместе (особенно вторая) — зональных геологических факторов. Поскольку природные эколого-геологические условия определяются естественным для данного времени сочетанием этих двух групп факторов, то необходимо в равной степени изучать причинные закономерности их формирования и пространственного распределения. Только на основе такого анализа можно познать основные закономерности формирования, пространственного распределения и изменения самих эколого-геологических условий. Эта задача решается при изучении любых природных объектов. На освоенных территориях возникает необходимость анализировать влияние антропогенных воздействий на трансформацию природных эколого-геологических условий.

В соответствии с этим при эколого-геологических работах исследуются системы литосфера—биота, техногенно измененная литосфера—биота, прямые и обратные связи между абиотическими и биотическими подсистемами, а в конечном счете чаще всего воздействие неживого на живое; в перспективе возможно взаимодействие литосферы и живого. В такой конструкции системы техногенные источники взаимодействия учитываются и опосредованно, через техногенные изменения литосферы.

Экологическая геология исследует четыре типа эколого-геологических систем: 1) природная эколого-геологическая система реальная; 2) природная эколого-геологическая система идеальная; 3) природно-техническая эколого-геологическая система идеальная; 4) природно-техническая эколого-геологическая система реальная [Трофимов, Зилинг, 2002].

Первую из этих систем — *природную эколого-геологическую систему реальную* — геолог изучает при проведении эколого-геологических исследований на неосвоенной территории, в пределах которой техногенно обусловленные изменения эколого-геологической обстановки, строго говоря, отсутствуют. Все работы направлены на получение данных о составе, состоянии и экологических свойствах литосферы и взаимодействующей с ней биоты.

Изученная эколого-геологическая система первого типа в дальнейшем может быть использована при

прогнозных исследованиях, когда анализируются возможные последствия природных воздействий. В этом случае изучается уже второй тип систем — *природная эколого-геологическая система идеальная*. Здесь рассматривают возможность изменения существующих эколого-геологических условий только под влиянием меняющихся природных воздействий. Первый тип систем можно использовать также и при изучении *природно-технической эколого-геологической системы идеальной*, исследуемой в процессе прогнозирования изменения эколого-геологической обстановки под влиянием тех или иных видов техногенных (с учетом возможных природных) воздействий в процессе освоения конкретной территории.

Природно-техническая эколого-геологическая система реальная исследуется геологом на освоенных территориях и включает уже существующие инженерные сооружения, а чаще их комплекс и несет в себе последствия и природных, и главным образом техногенных воздействий. На базе изучения таких систем определяется их современное состояние и разрабатываются в случае необходимости методы управления эколого-геологическим состоянием с целью сохранения или улучшения.

Остановимся на вопросе о границах эколого-геологических систем. С практических позиций нижняя граница этих систем не является стабильной. Для природно-технических эколого-геологических систем большинство исследователей проводят ее на глубине от нескольких сотен метров до 10—12 км, она соответствует глубине проникновения в литосферу техногенного воздействия. Для природной эколого-геологической системы положение нижней границы варьирует в еще большем диапазоне — от глубины залегания грунтовых вод до мантийного уровня, если оцениваются причины неоднородностей геофизических полей литосферы, влияющих на живое. Следовательно, в каждом конкретном случае глубина залегания нижней границы системы должна определяться и обосновываться индивидуально, в зависимости от решаемых экологических задач и специфики геологического строения литосферного блока.

С верхней границей объекта исследования вопрос не менее сложный, так как в понятие *геологическая среда*, широко используемое в экологически ориентированных работах, многие исследователи включают не только породы, но также почвы, поверхностные воды и биоту. Поэтому в работах по экологической геологии отказались от употребления этого термина и перешли на понятия «приповерхностная часть литосферы», «верхние горизонты литосферы», исключив из нее поверхностные воды, а в ряде ситуаций и почвы.

Дело в том, что к педосфере как объекту исследования можно подходить с разных позиций. Если подходить к почве как к минерально-органогенной породе, выполняющей роль первого геохимического барьера на пути миграции техногенных загрязнений

или среды развития экзогенных процессов, то она должна входить в объект экологической геологии, а если как к разделяющей геосферной оболочке — аккумулятору, источнику и носителю почвенного плодородия, логичнее считать почвы объектом исследования почвоведов. В последней трактовке почвы, как правило, выпадают из объекта исследования экологической геологии или включаются в него только при решении эколого-геохимических и эколого-геодинамических задач. Поверхностные воды, атмосфера с позиций экологической геологии рассматриваются в ранге смежных сред, информация о которых используется при решении функциональных эколого-геологических задач.

Место эколого-геологических систем в структуре экосистем

Экосистема (экологическая система) — объект изучения экологии. Этот термин был введен в научную литературу еще в 1935 г. английским ботаником А. Тенсли, который рассматривал экосистему как «совокупность комплексов организмов с комплексом физических факторов его окружения, т.е. факторов местообитания в широком смысле» [Коробкин, Передельский, 2003].

Близкое по содержанию определение экосистемы дает и Ю. Одум. В его книге «Основы экологии» (1975) в качестве экосистемы рассматривалась любая «единица (биосистема), включающая все совместно функционирующие организмы (биотическое сообщество) на данном участке и взаимодействующая с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенные биотические структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями».

Понятие «экосистема» применяется к природным объектам. Природные экосистемы — системы *открытые*. Даже биосфера Земли (в целом) получает вещество и энергию из Космоса и отдает его туда же.

«С точки зрения пищевых взаимодействий организмов **трофическая структура** экосистемы делится на два яруса: 1) верхний — *автотрофный ярус*, или «зеленый пояс», включающий фотосинтезирующие организмы, создающие сложные органические молекулы из неорганических простых соединений, и 2) нижний — *гетеротрофный ярус*, или «коричневый пояс» почв и осадков, в котором преобладает разложение отмерших органических веществ снова до простых минеральных образований. Однако чтобы разобраться в сложных биологических взаимодействиях в экосистеме, следует выделить ряд компонентов, об экологической роли которых мы уже говорили выше: 1) *неорганические вещества* (С, N, CO₂, H₂O, P, O и др.), участвующие в круговоротах; 2) *органические соединения* (белки, углеводы, липиды, гумусовые вещества и др.), связывающие биотическую и абиотическую части; 3) *воздушную, водную и субстратную среду*, включающую абиотические факторы; 4) *продуценты* — автотрофные организмы, в основном

зеленые растения, способные производить пищу из простых неорганических веществ; 5) *консументы*, или *фаготрофы* (пожиратели), гетеротрофы — в основном животные, питающиеся другими организмами или частицами органического вещества; 6) *редуценты*, или *сапротрофы* (питающиеся гнилью), — гетеротрофные организмы, в основном бактерии и грибы, получающие энергию путем разложения отмершей или поглощения растворенной органики. Сапротрофы высвобождают неорганические элементы питания для продуцентов и, кроме того, являются пищей для консументов» [Коробкин, Передельский, 2003, с. 121—123].

В настоящее время в связи с изменением содержания экологии, выходом ее за границы биоэкологии, изучающей взаимодействия биотического и абиотического компонентов внутри экосистемы, и превращением в междисциплинарную науку, исследующую систему природа—человек—общество, расширились и представления о типах исследуемых экосистем. Наряду с природными экосистемами исследуются экосистемы селитебные, экосистемы техногенные и т.п.

Параллельно с развитием представлений об экосистемах за рубежом в нашей стране в самом конце 30-х гг. прошлого века В.Н. Сукачев (1972) ввел понятие *биогеоценоз*. Под ним было предложено понимать однородный участок суши с определенным составом живых (*биоценоз*) и абиотических (*биотоп*) компонентов, функционально взаимосвязанных между собой. Его структура показана на рис. 1.

Эти представления были разработаны В.Н. Сукачевым в то время, когда техногенное воздействие социума на биоту и абиотические среды было еще незначительно. С его ростом потребовалось уточнение схемы биогеоценоза. В итоге последняя приобрела вид, показанный на рис. 2.

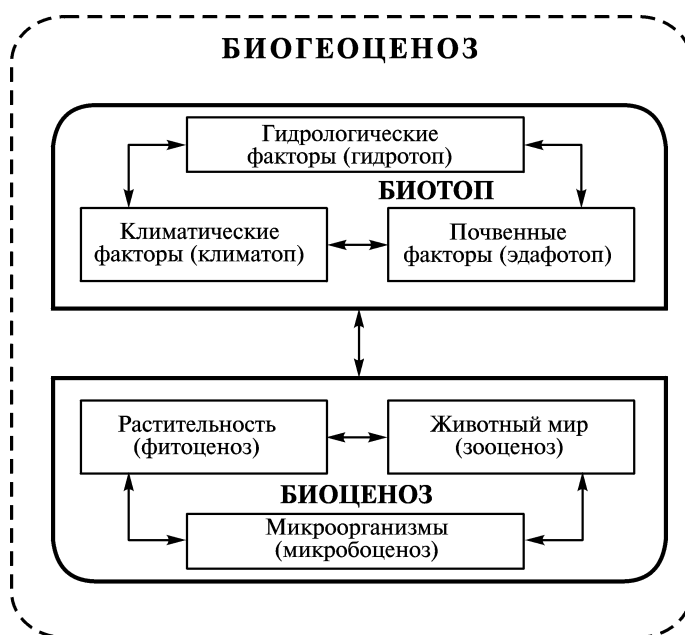


Рис. 1. Схема биогеоценоза по В.Н. Сукачеву

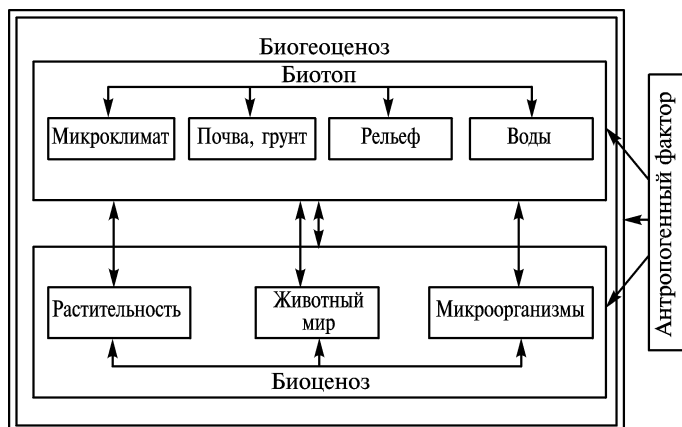


Рис. 2. Схема биогеоценоза по Г.А. Новикову (1979)

Необходимо отметить, что термины «экосистема» и «биогеоценоз» часто рассматривают как синонимы. Это не всегда правомерно; биологи отмечают такую тонкость: в биогеоценозах, в отличие от экосистем, обязательно присутствие растительности (фитоценоза). Каждый биогеоценоз, как пишут биологи, может быть назван экосистемой, но не каждая экосистема является биогеоценозом.

В схеме биогеоценоза, показанной на рис. 2, по сравнению с содержанием рис. 1 есть три новых фактора: рельеф, грунты и антропогенный. Введение первого и последнего из них принципиально расширило содержание биотопа; перечисление же «почва, грунт»² не сняло вопроса о том, что в содержании биогеоценоза и его биотопа явно недостаточно отражена литосфера как одна из экологически важнейших абиотических сфер Земли. Литосферные факторы не учтены и в классификации экологических факторов, составленной Ю. Одумом (рис. 3). Это, по существу, принципиальная ошибка, поскольку на существование и развитие и биогеоценоза и экосистемы (более широкое понятие) влияют не только «почвы» или «почвы, грунты» (что показано на рис. 1 и 2), но и верхние горизонты литосферы в целом — их состав, подземные воды, геохимические и геофизические поля, современные эндо- и экзогенные процессы. Схема структуры экосистемы, составленная с учетом всех этих позиций, опыта построения схем биогеоценоза, а также изучения современной экологией системы природа—человек—общество и классов воздействий на нее, показана на рис. 4.



Рис. 3. Классификация экологических факторов (по Ю. Одуму (1975), с изменениями В.И. Коробкина и Л.В. Передельского (2000))

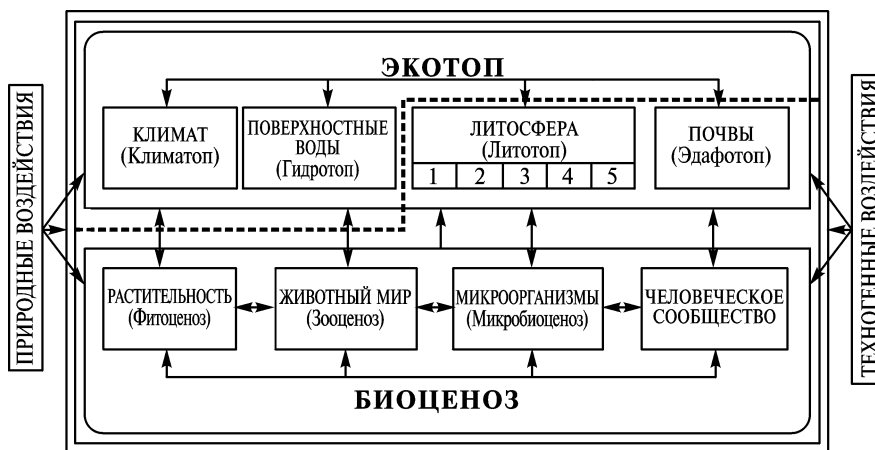


Рис. 4. Схема структуры экосистемы с учетом геологической составляющей и классов воздействий на нее. Точками выделены границы эколого-геологической системы: 1—5 — параметры литосферы: 1 — состав и строение; 2 — подземные воды; 3 — геохимические поля; 4 — геофизические поля; 5 — современные эндо- и экзогенные процессы

² Следует отметить, что употребление в схеме словосочетания «почвы, грунты» неправомерно, поскольку под грунтами понимаются любые горные породы, почвы, осадки и антропогенные геологические образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы и исследуемые в связи с планируемой, осуществляемой или осуществленной инженерной деятельностью человека. В общем случае грунт — это минеральная или минерально-органическая, органо-минеральная, многокомпонентная, многофазовая система, которая включает твердую, жидкую и газообразную компоненты (как костную, так и живую) и изучается в инженерно-геологическом отношении.

Какое же место в этой структурной схеме занимает **эколого-геологическая система**? Напомню, что последняя представляет собой определенный (в принципе любой) объем литосферы с функционирующей непосредственно в нем или на его поверхности биотой, включая человека и социум. И в рамках этой системы в процессе эколого-геологических исследований изучается влияние геологических факторов на живое. Из этого следует, что эколого-геологическая система представляет собой лишь часть экосистемы, входит в ее состав. Теоретические объем и структура

эколого-геологической системы при таком ее понимании с учетом всех задач, решаемых экологической геологией, показаны на рис. 4.

Следует подчеркнуть, что при реальных эколого-геологических работах объем и границы эколого-геологической системы являются параметрами динамическими. Так, при эколого-геохимических и эколого-геодинамических исследованиях почвы рассматриваются, как отмечалось ранее, в объеме эколого-геологической системы, а при эколого-геофизических — вне ее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов н/Д.: Феникс, 2003.

Новиков Г.А. Основы общей экологии и охраны природы. Л.: Изд-во ЛГУ, 1979.

Одум Ю. Основы экологии / Пер. с англ. М.: Мир, 1975.

Сукачев В.Н. Основы типологии и биогеоценологии // Сукачев В.Н. Избр. труды. Т. 1. Л.: Наука, 1972.

Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
зав. кафедрой инженерной и экологической геологии,
профессор, e-mail: trofimov@rector.msu.ru

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1997.

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

Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000.

Поступила в редакцию
07.07.2008