

УДК 55; 504; 574

В.Т. Трофимов¹**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ЗАДАЧИ И СЛОЖНОСТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ**

Сформулированы достижения и охарактеризованы современное состояние экологической геологии, содержательные задачи и трудности ее развития. Показано, что в качестве основополагающих теоретических позиций экологической геологии выступают воззрения об эколого-геологической системе как объекте исследований, эколого-геологических условиях, экологических функциях литосферы, специальных эколого-геологических методах исследований, принципах, критериях и показателях оценки состояния эколого-геологических систем. Охарактеризованы все эти позиции и сформулированы задачи их совершенствования, в качестве важнейших сложностей дальнейшего развития экологической геологии рассмотрены научно-психологические, «терминологические», содержательные и государственно-организационные причины.

Ключевые слова: экологическая геология, геоэкология, геология окружающей среды, эколого-геологическая система, эколого-геологические условия, экологические свойства и функции литосферы, логическая структура экологической геологии, принципы оценки состояния эколого-геологических систем.

Present state, achievements, substantial tasks and difficulties of the evolution of ecological geology are characterized. It is demonstrated, that the ideas about ecological geological system as an object of investigation, ecological geological conditions, ecological functions of the lithosphere, special ecological geological methods of investigation, principals, criteria and indices of the evaluation of the state of ecological geological systems are the fundamentals of the ecological geology. All those positions are characterized. Tasks of their development are formulated. Scientific psychological, "terminological", substantial and government-organizing reasons are considered as the important difficulties of future development of ecological geology.

Key words: ecological geology, geocology, environmental geology, ecological geological system, ecological geological conditions, ecological properties and functions of the lithosphere, logical structure of the ecological geology, evaluation principals of the state of ecological geological systems.

Введение. Вторая половина XX в. — время активной экологизации многих естественных наук. Произошла она и в геологии и на начальном этапе выразилась в организации работ по оценке изменения геохимических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности. При этом никакие новые понятия со словами «экологический (ая, ое)» или «экология» не использовались. Лишь позже в геологической терминологии появились термины «экологическая геология», «геология окружающей среды», «геоэкология».

Термин «экологическая геология» был введен в отечественную научную геологическую литературу в 1984 г. Е.А. Козловским, А.И. Жамойдой и В.Б. Кушевым. В Горной энциклопедии [1984] в статье «Геологические науки» (т. 1, с. 538–543) ими написано: «Принципиально новое направление Г.н. — экологич. Геология. Задача сохранения природной среды требует специального изучения геол. Процессов, связанных с развитием биосферы и техногенного воздействия человека на природу. Не менее важно рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов, в т.ч. их сохранение в недрах...»

Затем этот термин был «забыт», необоснованно подменен термином «геоэкология», и вновь его стали использовать, но уже очень широко, в последнем десятилетии XX в. В итоге в геологии сформировалось новое направление — *экологическая геология, изучающая верхние горизонты литосферы как один из основных абиотических компонентов экосистем высокого уровня организации. В ее рамках литосфера оценивалась как вещественная и энергетическая основа существования биоты, и в первую очередь человеческого сообщества.*

Интенсивное развитие экологической геологии уже в 2004 г. позволило сформулировать ее главные достижения в виде следующих позиций:

а) определено назначение и содержание экологической геологии как нового научного направления геологической науки и практики;

б) выявлены объект экологической геологии (эколого-геологические системы разных уровней), ее предмет и задачи исследований, как типовые, так и «привязанные» к изучению каждой экологической функции литосферы;

в) разработана взаимоувязанная система фундаментальных понятий экологической геологии: экологическая геология, экологические свойства и функции

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, заведующий кафедрой, профессор; e-mail: trofimov@geol.msu.ru

литосферы (ресурсная, геодинамическая, геохимическая и геофизическая), эколого-геологическая система, эколого-геологические условия, состояние эколого-геологических условий и т.п.;

г) выявлена логическая структура экологической геологии, ее структура как науки (включает экологическое ресурсоведение, экологическую геодинамику, экологическую геохимию и экологическую геофизику);

д) выделены практические разделы (экологическая геология территории влияния городских агломераций, экологическая геология территорий влияния гидротехнических объектов и т.п., всего 9 прикладных разделов) и связь с естественными, медицинскими и социально-экономическими науками;

е) показано положение экологической геологии в системе теоретического и практического геологического знания;

ж) доказано различие содержания экологической геологии и геоэкологии (последняя — междисциплинарная наука, исследующая влияние абиотических оболочек Земли на живое, структуру и закономерности функционирования естественных и антропогенно преобразованных экосистем высокого уровня организации; в соответствии с этим экологическая геология входит в состав геоэкологии, являясь сугубо геологическим научным направлением);

з) разработаны представления о подходах, принципах, критериях и показателях оценки состояния эколого-геологических условий, показана необходимость совместного использования при эколого-геологических исследованиях геологических, биотических, биолого-медицинских и социально-экономических критериев и показателей;

и) разработаны структура научного метода экологической геологии, общая структура методики эколого-геологических исследований, представления о специальных методах исследований (эколого-геологическое картирование, функциональный анализ, моделирование, мониторинг, роль эколого-геологических исследований в структуре инженерно-экологических изысканий);

к) разработаны концептуальные положения, систематика и основы методики создания эколого-геологических карт — нового типа экологических карт;

л) опубликована серия монографических произведений и сборников о проблемах экологической геологии;

м) ведется подготовка студентов-геологов по экологической геологии на уровне бакалавриата (4 года обучения), подготовки специалиста (5 лет) и магистратуры (6 лет), а также в аспирантуре в ряде высших учебных заведений страны (Московский, Санкт-Петербургский и Воронежский университеты);

н) опубликованы учебники и учебные пособия, в том числе с грифом Министерства образования Российской Федерации и Учебно-методического объединения университетов страны;

о) регулярно проводится Международная конференция «Экологическая геология и рациональное недропользование» (1997, 2000 и 2003), молодежная школа под тем же названием (2000, 2001, 2002 и 2003), а также другие совещания, на которых обсуждаются вопросы экологической геологии [Трофимов, 2004].

В последующие годы происходило интенсивное развитие экологической геологии. Многие были сделаны геологами МГУ имени М.В. Ломоносова. Одни из вышеназванных позиций сохранили свое содержание, другие были уточнены, а некоторые получили новое звучание.

Содержание экологической геологии и ее структура как науки. Эти основополагающие позиции экологической геологии, введенные еще в конце прошлого века [Теория..., 1997] и уточненные позже [Трофимов, Зилинг, 2002], остались, несмотря на имевшую место дискуссию, без изменений. И в настоящее время экологическая геология рассматривается как *научное направление геологических наук, изучающее экологические свойства и функции литосферы, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнью и деятельностью биоты, и прежде всего человека.* В ее структуре выделяются четыре научных раздела. Первый из них, *экологическое геологическое ресурсоведение*, исследует весь спектр морфологических, ретроспективных и прогнозных вопросов и проблем, связанных с обеспечением биоты, и в первую очередь человеческого сообщества, минерально-сырьевыми ресурсами литосферы и ресурсами геологического пространства. Акцент в исследованиях делается не на поиски и подсчет запасов полезных ископаемых, а на оценку их соответствия современному уровню потребления и рационального использования с учетом экологических последствий. По существу, должен решаться вопрос о регламентации потребления минерально-сырьевых ресурсов литосферы с учетом сохранения и нормального функционирования экосистем высокого уровня организации. С экологических позиций оцениваются и ресурсы геологического пространства.

Экологическая геодинамика исследует морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением воздействия природных и антропогенных геологических процессов на биоту с позиций оценки как возможных катастроф, так и комфортности ее проживания. В связи с этим геологические процессы оцениваются как катастрофические, опасные, неблагоприятные и благоприятные [Трофимов и др., 2008].

Экологическая геохимия исследует морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением влияния геохимических полей и геопатогенных аномалий природного и техногенного происхождения на биоту. Среди этих полей выделяются литогеохимические, гидрогеохимические, сноугеохимические, биогеохимические и атмогеохи-

мические. Объектами исследований являются вещественный (минеральный) состав литосферы, миграция подвижных соединений химических элементов, их аномальные концентрации и характер воздействия на биоту с использованием методов геохимии, минералогии, петрографии, гидрогеологии и данных медико-биологических оценок состояния биоты. В практическом аспекте такие исследования подразумевают тесное сотрудничество экологов-геологов с медиками и санитарной службой, так как оценка должна проводиться с медико-санитарных позиций.

Экологическая геофизика исследует морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением геофизических полей природного и техногенного происхождения, их отклонением от нормы и воздействием на биоту. Для этого привлекаются методы геофизики, геотектоники, сейсмотектоники и данные медико-биологических дисциплин. Здесь также необходимо тесное сотрудничество с представителями медико-санитарной службы.

Какие же теоретические позиции являются основополагающими в экологической геологии как науке? В качестве таковых, с моей точки зрения, выступают понятие «эколого-геологическая система», учение об экологических функциях и свойствах литосферы, представления об экологических условиях, факторах формирования эколого-геологических условий, структуре научного метода экологической геологии, принципах, критериях и показателях оценки состояния эколого-геологических условий.

Эколого-геологическая система как объект экологической геологии и ее положение в структуре экосистемы. Объект исследования экологической геологии традиционный для наук геологического цикла, т.е. теоретически это литосфера со всеми ее компонентами, в прикладном плане — ее приповерхностная часть, расположенная преимущественно в зоне возможного природного и техногенного воздействия. *При эколого-геологических исследованиях эта часть литосферы изучается 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 позиций, присущих только экологической геологии.* Она рассматривает их в связи с оценкой влияния геологических факторов, прежде всего вещественных и энергетических, на биоту, включая человека и социум.

Понятие и термин «эколого-геологическая система» были введены М.Б. Куриновым. В книге «Теория и методология экологической геологии» [1997] им совместно с Г.А. Голодковской эта система рассматривалась как открытая динамическая, 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, обуславливающи-

ми ее структурно-функциональное единство. Все названные составляющие были графически отражены на схеме, однако на ней не показаны ни составляющие экологической мишени и геологические компоненты эколого-геологической системы, ни ее положение в структуре экосистемы. Это сделано существенно позднее [Трофимов, 2009].

В настоящее время эколого-геологическая система рассматривается как 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 динамичная 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. *По структуре такие системы представляют 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: *закономерностей геологического развития в прошлом и современного тектонического режима, современного климата, а на освоенных территориях — и антропогенных (техногенных) воздействий.* 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 итоге — чаще всего воздействие неживого на живое; в перспективе возможно взаимодействие литосферы и живого. В такой конструкции системы техногенные источники взаимодействия учитываются 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].

Графическая структура эколого-геологической системы и ее положение в структуре экосистемы показаны на рис. 1. По содержанию этой схемы сделаем два замечания:

1) она составлена с учетом изменения содержания экологии, выхода за ее границы биоэкологии, изучающей взаимодействия биотического и абиотического компонентов внутри экосистемы, и превращения в междисциплинарную науку, исследующую систему природа–человек–общество (расширились и пред-

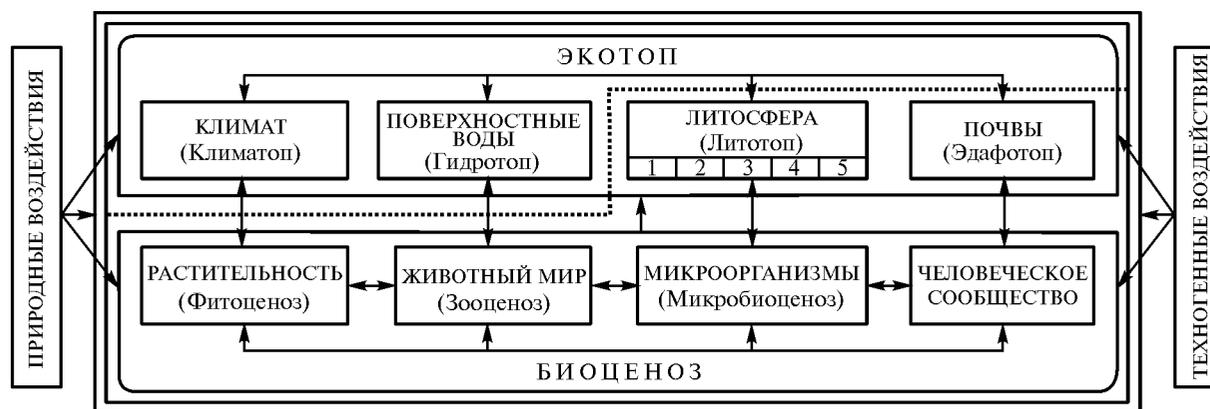


Рис. 1. Схема структуры экосистемы и положение в ней эколого-геологической системы и классов воздействий на нее. Точками выделены границы эколого-геологической системы: параметры литосферы: 1 — состав, строение и рельеф массива; 2 — подземные воды; 3 — геохимические поля; 4 — геофизические поля; 5 — современные эндо- и экзогенные процессы, по [Трофимов, 2009]

ставления о типах исследуемых экосистем — природные экосистемы, экосистемы селитебные, экосистемы промышленные и т.п.);

2) введение «литотопа» в структуру экосистемы устранило *принципиальную ошибку* классических представлений об экологических факторах [Одум, 1975] и структуре биогеоценоза [Сукачев, 1972; Новиков, 1979], в которых литосферные факторы учтены явно недостаточно. Ведь на существование и развитие и биогеоценоза и экосистемы (как более широкого понятия) оказывают влияние не только «почвы» [Сукачев, 1972; Одум, 1975] или «почвы, грунты» [Новиков, 1979], но и верхние горизонты литосферы в целом — их состав, строение, подземные воды, геохимические и геофизические поля, современные эндо- и экзогенные процессы.

Экологические функции и свойства литосферы. Базовыми в экологической геологии являются представления об экологических функциях и экологических свойствах литосферы [Теория..., 1997; Экологические..., 2000; Трофимов, Зилинг, 2002]. Под *экологическими функциями литосферы* понимается *все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы, включая горные породы, осадки, антропогенные породоподобные образования, подземные воды, нефть, газы, геохимические и геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы, в жизнеобеспечении биоты и человеческого сообщества.* Это многообразие сводится к следующим четырем функциям:

ресурсная экологическая функция литосферы определяет роль минеральных, органических и органо-минеральных ресурсов и геологического пространства литосферы для жизни и деятельности биоты в качестве как биогеоценоза, так и социальной структуры;

геодинамическая экологическая функция литосферы отражает свойства литосферы влиять на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления;

геохимическая экологическая функция литосферы отражает свойства геохимических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты в целом, включая человека;

геофизическая экологическая функция литосферы отражает свойства геофизических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты, включая человека.

Систематика названных функций показана на рис. 2. В ней выделены три классификационных уровня, во второй и третий уровень которых по сравнению с ранее опубликованными вариантами внесены уточнения. Характеристика всех выделенных на рис. 2 категорий приведена в [Экологические..., 2000; Трофимов, Зилинг, 2002].

Материальными носителями проявлений экологических функций литосферы, которые можно измерить и отразить на картографических моделях, являются *экологические свойства литосферы*. Каждое из них — одна из сторон литосферы, ее специфический, экологически значимый атрибут, обусловленный природой ее вещественного состава, геодинамических, геохимических и геофизических полей и органически связанный с жизнеобеспечением биоты, условиями ее существования и эволюции. Эти свойства литосферы следует рассматривать как результат ее эволюционного развития и техногенного преобразования, с которыми связано существование биоты и ее дальнейшее функционирование. Их примерный перечень приведен в работе [Экологические..., 2000].

Дальнейшее развитие представлений об экологических функциях литосферы сейчас трансформируется в развитие одноименного *учения об экологических функциях литосферы*. Под этим учением предложено понимать совокупность теоретических положений и представлений об экологических функциях литосферы, эколого-геологических условиях, их состоянии и экологических свойствах литосферы как ее специфических атрибутивных компонентах, а также

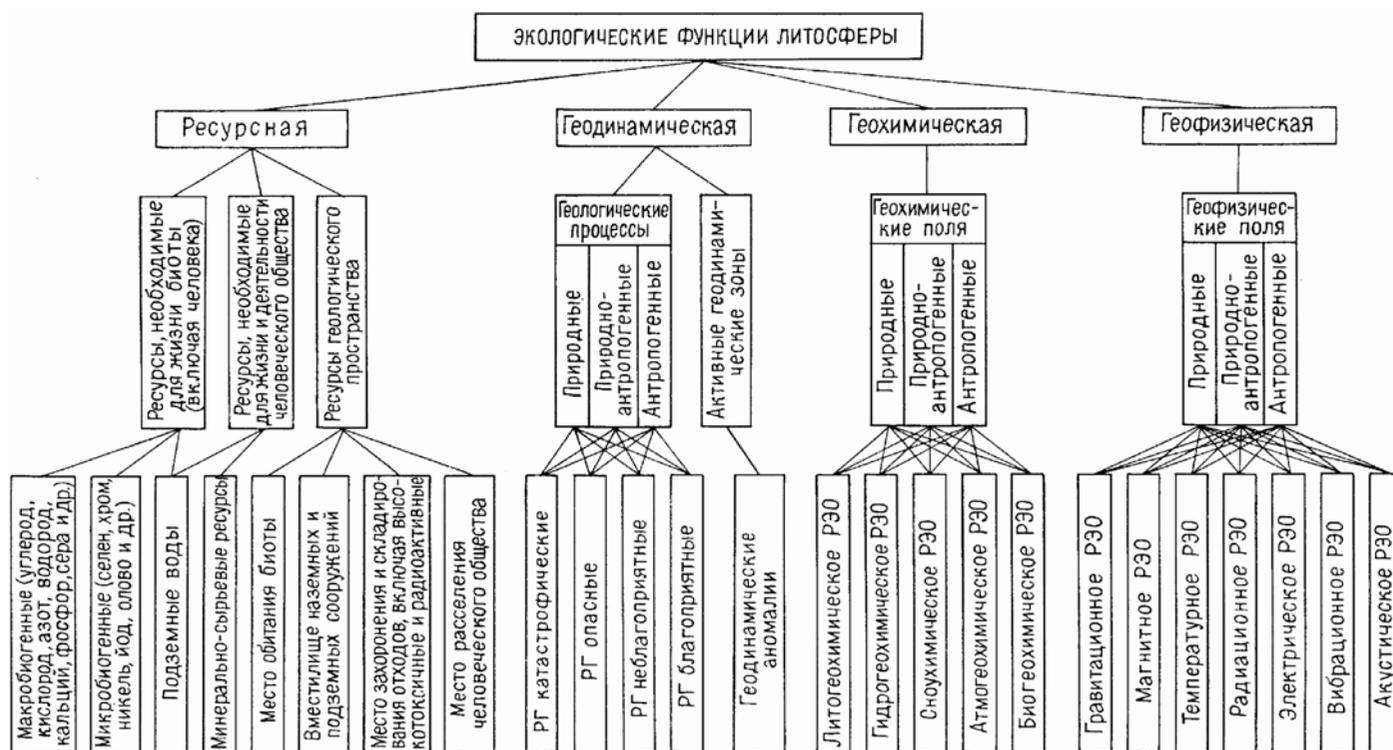


Рис. 2. Систематика экологических функций литосферы, по [Трофимов, Зилинг, 2002], с дополнениями: РГ — разного генезиса; РЭО — разной экологической опасности

как определенную, экологически ориентированную систему воззрений на взаимодействие литосферы и биоты. Это понятие достаточно широкое и охватывает не только идеологию исследования и его функциональную направленность, но и материальные атрибуты объекта изучения, такие, как «экологические свойства литосферы», «эколого-геологические условия» и их состояние и др., т.е. параметры, которые можно измерять, оценивать, классифицировать и моделировать.

В качестве составляющих в структуре учения об экологических функциях литосферы следует выделять следующие блоки: а) экологические функции литосферы — фундаментальное понятие экологической геологии; б) закономерности природного этапа формирования экологических функций литосферы; в) закономерности трансформации экологических функций литосферы в эпоху техногенеза; г) современные особенности проявления экологических функций литосферы; д) прогноз трансформации экологических функций литосферы под воздействием природных и техногенных факторов. Многие из этих позиций уже обсуждались в работах [Трофимов, Зилинг, 2005; Трансформация..., 2006].

Об эколого-геологических условиях эколого-геологических систем и факторах, их формирующих. Под *эколого-геологическими условиями* следует понимать обстановку, создаваемую комплексом современных, морфологически выраженных геологических факторов, влияющих на особенности функционирования биоты, включая человека, в рамках эколого-

геологической системы [Трофимов, 2010]. Многообразие геологических особенностей, рассматриваемых при эколого-геологических исследованиях, не мешает выделить среди них комплекс определяющих, самых важных, которые в той или иной степени изучаются всегда. Этот комплекс включает восемь составляющих, которые называются факторами (компонентами) эколого-геологических условий: 1) геологическое строение местности и характер слагающих ее пород; 2) рельеф; 3) гидрогеологические условия; 4) мерзлотные условия; 5) геохимические условия; 6) геофизические условия; 7) ландшафтные особенности; 8) современные геологические процессы (таблица). Закономерное сочетание этих компонентов формирует эколого-геологический облик любого природного региона, определяет его эколого-геологические условия.

Именно эти компоненты формируют различные экологические свойства и функции литосферы. Используя эти фундаментальные понятия экологической геологии, В.Т. Трофимов и Д.Г. Зилинг [2002] предложили под *эколого-геологическими условиями* понимать совокупность конкретных экологических свойств и функций литосферы, определяющих современное состояние условий жизнедеятельности живых организмов в данном объеме литосферы как среде их обитания. Эти условия могут изменяться как от места к месту, так и во времени в пределах одного массива, одного района. В последнем случае эколого-геологические условия проходят ряд состояний, трансформируясь во времени от одного состояния к другому. В связи с этим были введены понятие и термин «состояние эколого-

Факторы эколого-геологических условий и факторы формирования эколого-геологических условий

Факторы (компоненты) эколого-геологических условий		Факторы формирования эколого-геологических условий	
Региональные геологические	<ol style="list-style-type: none"> 1. Мега- и мезорельеф. 2. Состав, строение и свойства пород, условия их залегания и распространения. 3. Условия залегания и химический состав подземных вод глубоких горизонтов. 4. Геохимические поля, их неоднородность. 5. Геофизические поля, их неоднородность. 6. Характер эндогенных и экзогенных геологических процессов 	Региональные геологические	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность геологических процессов, реализованных в ходе истории геологического развития территории. 2. Современное тектоническое развитие территории
Зональные геологические и ландшафтные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Современное состояние пород и их состав и свойства. 2. Глубина залегания и химический состав грунтовых вод. 3. Характер и интенсивность экзогенных геологических процессов. 4. Ландшафтные особенности 	Зональные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теплообеспеченность территории. 2. Увлажненность территории. 3. Соотношение теплообеспеченности и увлажненности территории. 4. Ландшафтные особенности

Антропогенные (техногенные)

геологических условий» — их временное состояние, оцениваемое спецификой проявления одного, нескольких или совокупностью экологических свойств и функций литосферы в данный момент времени, определяющих степень (уровень) благоприятности и возможности проживания живых организмов. Именно поэтому при эколого-геологических работах необходимо использовать не только одни геологические критерии и показатели, но и биотические, и медико-санитарные, и социально-экономические.

В содержательном плане необходимо строго различать факторы (компоненты) эколого-геологических условий и факторы формирования эколого-геологических условий. Под первыми подразумевают современные, морфологически выраженные геологические особенности территорий, изучаемые в связи с оценкой их влияния на живое, — именно современные и именно морфологически выраженные. Вторые — факторы формирования эколого-геологических условий — эндогенно и экзогенно обусловленные особенности развития территории, которые служат *причиной*, создавшей наблюдаемые в настоящее время сочетания эколого-геологических факторов и параметров, эколого-геологических условий в целом. Из этого следует, что между факторами эколого-геологических условий и факторами их формирования существует причинно-следственная связь, т.е. факторы формирования являются причиной, а факторы условий — следствием действия вторых.

Типовые и содержательные научные и практические задачи изучения эколого-геологических систем.

Экологическая геология при изучении эколого-геологических систем исследует задачи трех типов — *морфологические, ретроспективные и прогнозные*. *Морфологические задачи* — это задачи, связанные с изучением состава, состояния, строения и свойств анализируемой системы, ее эколого-геологических условий в целом. Решение задач этого типа позволяет ответить на вопросы, что это за система и какие качества ей присущи, а также получить качественные и количественные показатели, характеризующие современные эколого-геологические условия (обстановки) изучаемого объекта. Именно эти задачи решает специалист в процессе натурных исследований и камеральной обработки материалов.

Ретроспективные задачи — задачи, обращенные в прошлое и связанные с изучением (точнее, восстановлением) истории формирования эколого-геологической системы, формирования ее современного качества. Решение задач этого типа позволяет ответить на вопрос: почему объект такой, каким путем он сформировался? Классический пример задач такого типа — исследование истории формирования эколого-геологических условий (обстановок) какой-либо территории либо литосферного блока (массива). Методика решения ретроспективных эколого-геологических задач основана на общегеологических методах.

Прогнозные задачи — задачи, связанные с изучением поведения, тенденций развития эколого-геологической системы в будущем под воздействием различных причин природного и техногенного происхождения. Решение задач этого типа позволяет ответить на вопрос: как будет вести себя объект в будущем при тех или иных воздействиях? Приходится решать задачи пространственного, временного и пространственно-временного прогноза изменения эколого-геологической системы под влиянием причин либо естественных (природных), техногенных, либо естественных и техногенных, действующих совместно. Методика решения прогнозных задач разработана значительно слабее, чем для морфологических и ретроспективных задач.

Научные содержательные задачи изучения эколого-геологических систем сформулируем вслед за автором и Д.Г. Зилингом [2002] в виде следующих позиций:

— изучение экологических свойств и функций эколого-геологических систем, закономерностей их формирования и динамики развития под влиянием природных и техногенных процессов;

— разработка теории и методов оценки устойчивости приповерхностной части литосферы (как эколого-геологических систем) к природным и техногенным воздействиям с точки зрения изменения ее экологических свойств и функций;

— разработка теории и методов эколого-геологического обоснования управления состоянием и свойствами массивов приповерхностной части литосферы как эколого-геологических систем с целью

сохранения или улучшения их экологических свойств и функций;

— разработка теории, методов и геологически обоснованных рецептур утилизации экологически опасных промышленных отходов и выбор оптимальных (по геологическим условиям) участков массивов для их захоронения с целью наименьшего ухудшения экологических свойств территории;

— разработка теории и методов геологического обоснования инженерной защиты эколого-геологических систем от природных и антропогенных геологических процессов, ухудшающих экологические свойства и функции.

Прикладные содержательные задачи в укрупненном виде и типологическом плане сформулированы так: а) обоснование рационального использования ресурсов литосферы для нормального функционирования экосистем; б) установление влияния техногенного воздействия на приповерхностную часть литосферы при проектировании или функционировании конкретных объектов или их комплексов на биоту; в) геологическое обоснование для разработки и принятия решений по управлению состоянием экосистем.

Полный перечень эколого-геологических задач, «расписанный» применительно к каждой экологической функции литосферы, опубликован в работе [Экологические..., 2000], а также в учебнике В.Т. Трофимова и Д.Г. Зилинга «Экологическая геология» [2002]. Решение многих из этих задач позволило получить новые данные, в частности, о морфологической выраженности и закономерностях формирования экологических функций в различных геолого-структурных и климатических обстановках, об особенностях их трансформации в эпоху техногенеза под влиянием различных видов инженерно-хозяйственной деятельности человека. Но реализация всего комплекса сформулированных эколого-геологических задач потребует длительного времени при условии их активной разработки.

Логическая структура экологической геологии. Центральная проблема любого естественно-научного знания — вопрос о логической структуре науки, включающей основы науки, основные понятия, теории и идеи, законы. Исходя из представления о том, что экологическая геология является научным направлением в геологии, а не отдельной (частной) геологической наукой, ее логическая структура должна формироваться как за счет ассимиляции определенных элементов логической структуры частных геологических наук, привлекаемых для решения экологических задач, так и за счет собственной логической основы, причем ассимиляция носит не механический характер, а подчинена вполне определенным закономерностям, логике экологического подхода. Следовательно, общее поле логической структуры экологической геологии включает определенные по объему части поля логической структуры разных геологических

наук и свою «собственную часть логической основы», тот стержень, который позволяет целенаправленно использовать привлекаемые теории, идеи и законы отдельных геологических наук.

В схематическом виде такая трактовка вопроса отражена на рис. 3, на нем показана мозаичность поля логической структуры экологической геологии, он дает представление о геологических науках, принимающих участие в обосновании решения экологических задач, а также о вкладе этих наук в логическую структуру экологической геологии. Нетрудно заметить, что наибольший объем информации и методов исследования для экологической геологии поставляет инженерная геология, геокриология, гидрогеология, геохимия, геофизика и геология полезных ископаемых. Остальные науки геологического цикла и их логические структуры играют меньшую роль.

Принятое в экологической геологии понимание экологических функций литосферы позволяет отнести к важнейшим элементам собственной части логической структуры экологической геологии следующие позиции:

а) положение о том, что структура, свойства и пространственные закономерности строения приповерхностной части литосферы и ее экологические функции есть результат историко-геологического развития во взаимодействии с внешними природными средами и техносферой;

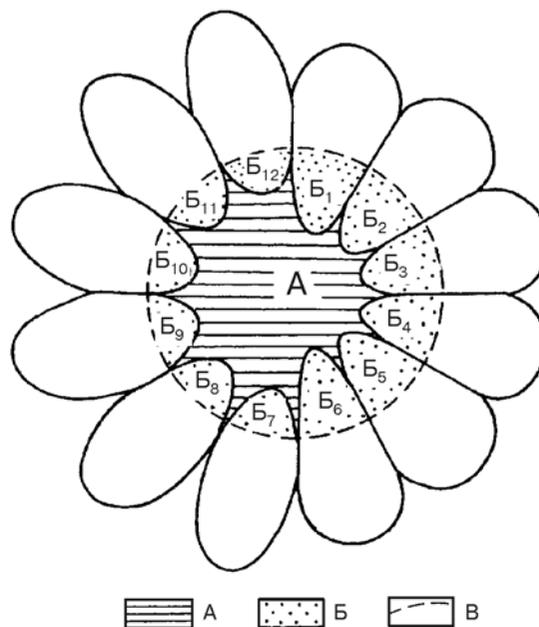


Рис. 3. Принципиальная схема строения общего поля логической структуры экологической геологии, по [Трофимов, Зилинг, 2002]: А — «собственная часть» логической основы логической структуры экологической геологии; Б — части логической структуры геологических наук, используемые экологической геологией (Б₁ — инженерная геология, Б₂ — геокриология, Б₃ — гидрогеология, Б₄ — геохимия, Б₅ — геофизика, Б₆ — геология полезных ископаемых, Б₇ — неотектоника, Б₈ — сейсмоструктурная геология, Б₉ — геоморфология, Б₁₀ — историческая геология и палеонтология, Б₁₁ — петрология и литология, Б₁₂ — минералогия); В — контуры общего поля логической структуры экологической геологии

б) положение о том, что динамика (скорость, характер движения) литосферы, ее компонентов и изменение экологических функций обусловлены их природными свойствами, видом и интенсивностью взаимодействия с внешними, в том числе техногенными, средами;

в) закон соответствия при взаимодействии организмов с окружающей, в том числе геологической, средой.

О методах исследования эколого-геологических систем. Сформулированные позиции о содержании экологической геологии, структуре эколого-геологической системы, задачах эколого-геологических исследований однозначно свидетельствуют о том, что *для их (позиций) практической реализации необходим широкий спектр методов исследования, причем не только наук о Земле.* Необходимо применение и методов естественных негеологических, биологических, медицинских и социально-экономических наук. Осмысливание полученной этими принципиально различными методами информации возможно только на основе методологии системного подхода, так как объекты исследования находятся между собой в сложных причинно-следственных зависимостях и связях.

Для получения экологически значимой геологической информации используются методы практически всех геологических наук. Но наибольшее количество такой информации позволяют получить методы геологии полезных ископаемых, геохимии, гидрогеологии, инженерной геологии, геокриологии, геофизики, динамической геологии. К специальным методам изучения эколого-геологических условий относятся эколого-геологическое картирование, функциональный эколого-геологический анализ, эколого-геологическое моделирование и эколого-геологический мониторинг.

Эколого-геологическое картирование — основной, сложный по содержанию, очень дорогой метод исследования пространственного распределения объемов геологического пространства с разными эколого-геологическими условиями. Он основан на рациональном сочетании частных прямых или косвенных наземных методов точечного или линейного изучения параметров эколого-геологических условий и методов (площадной) экстраполяции этих данных. В качестве последних обычно используются аэрофотоматериалы и данные аэрогеофизических работ. Эколого-геологическое картирование как специальный метод экологической геологии находится на стадии разработки.

Эколого-геологический мониторинг — это система постоянных наблюдений, оценки, прогноза состояния и изменения эколого-геологической обстановки-системы, проводимая по заранее намеченной программе с целью разработки рекомендаций и управляющих решений, направленных на обеспечение ее оптимального экологического функционирования и устойчивого развития. Исходя из этого, подчеркнем,

что независимо от вида эколого-геологического мониторинга (комплексный — частный (поэлементный); государственный — отраслевой; региональный — локальный и др.), характера инженерно-хозяйственного освоения территории, организующих его служб, масштаба исследований главным является установление тенденций развития, трансформации литосферы и ее компонентов, их экологических последствий для человека и биоты в целом и на этой основе принятие управляющих решений.

Эколого-геологическое моделирование — метод создания моделей состояния эколого-геологической системы той или иной территории и прогноза трансформации ее при реальных или возможных изменениях геологического компонента в процессе его взаимодействия с источниками воздействия, как природными, так и техногенными. Конечная цель моделирования — прогнозная оценка последствий этих воздействий на литосферу и через нее на биоту.

Функциональный анализ эколого-геологической обстановки занимает среди специальных методов экологической геологии центральное место. Именно его реализация позволяет решить основную стратегическую задачу — произвести оценку современного состояния эколого-геологической системы, определить пути и способы достижения стабильного развития этой системы. Методология этого метода базируется на принципах, которые широко используются и в геологии и в экологии, — системном подходе, принципе историзма, принципе целостности объекта.

Необходимо отметить, что содержание специальных методов эколого-геологических исследований теоретически определено. Идет их практическая разработка. Необходимо более активное внедрение в практику инженерно-экологических изысканий [Трофимов, 2011].

Главный принцип оценки и совокупность критериев и показателей, которые необходимо использовать при изучении эколого-геологических систем. Эколого-геологическая система — система сложная, многофакторная. Ее невозможно изучить, оперируя только одними геологическими критериями и показателями. Необходимо совместное использование и биотических, и медико-санитарных, и социально-экономических показателей. Только их совокупное использование позволяет оценить влияние экологических свойств и функций литосферы на биоту. *Главное при этом — обязательный анализ функциональных зависимостей между всеми составляющими эколого-геологической системы — ее эколого-геологическими условиями и состоянием биоты.*

Геологические (литосферные) критерии включают ресурсные, почвенные, геодинамические, геохимические и геофизические типы показателей; биотические (биоцентрические) — ботанические, биохимические, зоологические и микробиологические типы показателей; биолого-медицинские (антропоцентрические) — биосубстратные, медико-статистические,

демографические и санитарно-гигиенические типы показателей; социально-экономические — социально-страховочные, социальные и экономические типы показателей. Каждый из названных типов включает различные по природе критерии, для характеристики которых используют различные виды показателей, их число достаточно велико. Многие из них, характеризующие биотические и биолого-медицинские критерии, широко освещены в литературе, в том числе с привязкой к зонам экологических нормы, риска, кризиса и бедствия экосистем. Их взаимоувязка с классами состояния эколого-геологических условий осуществлена в работе [Трофимов, Зилинг, 2002].

О сложностях изучения эколого-геологических систем и дальнейшего развития экологической геологии. Формирование таких сложностей обусловлено разными причинами. Главными из них, с моей точки зрения, являются научно-психологические, содержательные, «терминологические» и государственно-административные.

Научно-психологические причины наиболее контрастно проявились на этапе формирования экологической геологии [Теория..., 1997; Трофимов, Зилинг, 2002], но они существуют и в настоящее время. Главные из них — необходимость осознания сообществом геологов действительной роли геологии в решении экологических задач и выработка консенсуса о содержании и задачах экологической геологии, понимания того, что ни одна из ранее сформировавшихся современных геологических наук (геохимия, гидрогеология, инженерная геология, геофизика и др.) не смогла и не сможет самостоятельно рассмотреть и решить *весь комплекс* эколого-геологических задач.

В рамках традиционного геологического подхода к изучению объекта решение экологически ориентированных задач невозможно; эколого-геологическое понимание объекта принципиально новое.

Содержательные причины. Сложности изучения эколого-геологических систем как объекта экологической геологии обусловлены сложностью и широтой задач этой новой геологической науки. В частности, показано, что эколого-геологическая съемка и эколого-геологические карты по содержанию являются одними из самых сложных в системе геологических карт [Эколого-геологические карты, 2002, 2007]. Это предъявляет четкие и жесткие требования к информационной базе для их разработки, поскольку такие карты нельзя составить на основе одних геологических показателей. Необходимо иметь биологические и антропоцентрические (медицинские) характеристики для изучаемой территории.

Такая информация собирается при общепринятых геолого-съемочных работах как попутная и требует дополнительного финансирования, поскольку представляет, по существу, дополнительный и специально ориентированный вид работ. При специальных, экологически ориентированных геологических (эколого-геологических) съемках сбор такой инфор-

мации — один из основных видов исследований, который следует проводить в тесном контакте с медиками, биологами, социологами и экономистами. Именно эта информация, используемая совместно с данными карты современного состояния верхних горизонтов земной коры, позволит составить эколого-геологические карты разного содержания.

«Терминологическая» причина. Как ни парадоксально, эта причина является одной из главных, затрудняющих изучение эколого-геологических систем, сдерживающей более интенсивное развитие экологической геологии, в том числе и более активное введение в практику геолого-разведочных работ. Суть этой причины заключается в содержательно-терминологической путанице по отношению к областям знаний, обозначенным терминами «экологическая геология», «геоэкология» и «геология окружающей среды», «медицинская геология». Их часто рассматривают как синонимы, вплоть до планов работы геологов в системе РАН. *Это принципиальная ошибка!* В действительности же области знаний, сформировавшиеся под этими названиями, имеют различное содержание и разную экологическую направленность [Трофимов, 2008; Трофимов, Зилинг, 2002]. И до тех пор, пока геологическое сообщество не разберется в этом вопросе, эта причина будет работать в качестве тормоза развития экологической геологии, включая ее преподавание в высшей школе.

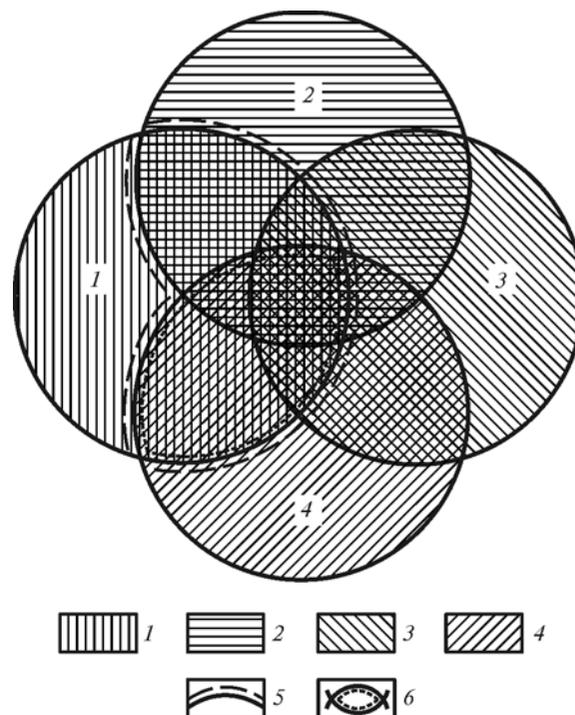


Рис. 4. Соотношение наук о жизни, атмосфере, поверхностной гидросфере и литосфере, изучающих экосистемы высокого уровня организации, и формируемые ими общие объектные и предметные поля, по [Трофимов, 2008]: 1 — науки о жизни; 2 — науки об атмосфере; 3 — науки о поверхностной гидросфере; 4 — науки о литосфере; 5 — граница совместных объектных и предметных полей наук об абиотических сферах Земли и Жизни, очерчивающая предметное поле геоэкологии как междисциплинарной науки; 6 — граница области исследований экологической геологии

Объем содержания геоэкологии определяется мной как поле пересечения наук о жизни, атмосфере, поверхностной гидросфере и литосфере (рис. 4). Исходя из этого во всех науках, изучающих такой объект, правомерно развитие экологически ориентированных направлений. Из этого же рисунка следует ответ на вопрос о соотношении «экологической геологии» и «геоэкологии»: они совершенно различны по объему и содержанию, так как экологическая геология является составляющей частью геоэкологии. Это различие четко проявляется и в характере исследуемых систем: экосистемы со всеми ее абиотическими составляющими — в геоэкологии, эколого-геологической системы — в экологической геологии.

Государственно-административные причины. Эти причины также играют роль в развитии экологической геологии. Приведу лишь два примера. Первый: в самом конце прошлого века в номенклатуру

специальностей Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации была введена специальность «экологическая геология». Это обусловило подготовку аспирантов в этой области и развитие научного направления. При очередном сокращении списка специальностей «экологическая геология» была упразднена, а специальность «геоэкология» сохранена. Это, естественно, сказалось в жизни, и эколого-геологические диссертации стали защищать по этой специальности.

Второй пример: в первый период существования Российской Федерации функционировало Министерство (или комитет) геологии, а затем было создано Министерство природных ресурсов страны. Первое из них активно поддерживало зарождение экологической геологии, второе — геоэкологические работы как междисциплинарные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Горная энциклопедия. Т. 1. М.: Советская энциклопедия, 1984.

Новиков Г.А. Основы общей экологии и охраны природы. Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. 350 с.

Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.

Сукачев В.Н. Основы типологии и биогеоценологии: Избр. тр. Т. 1. Л.: Наука, 1972. 332 с.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 368 с.

Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Ноосфера, 2006. 320 с.

Трофимов В.Т. Итоги и задачи развития экологической геологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2004. № 5. С. 44–51.

Трофимов В.Т. Об экологических функциях абиотических сфер Земли // Там же. 2005. № 2. С. 59–65.

Трофимов В.Т. Экологическая геология, геология окружающей среды, геоэкология — содержание и соотношение // Там же. 2008. № 2. С. 12–21.

Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Там же. 2009. № 2. С. 48–52.

Трофимов В.Т. Эколого-геологические условия и факторы их формирования // Там же. 2010. № 1. С. 52–55.

Трофимов В.Т. О необходимости совершенствования идеологии инженерно-экологических изысканий и геологизации их содержания // Инженерные изыскания. 2011. № 9. С. 22–28.

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

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Формирование экологических функций литосферы. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 190 с.

Трофимов В.Т., Харьковина М.А., Григорьева И.Ю. Экологическая геодинамика. М.: КДУ, 2008. 473 с.

Эколого-геологические карты / Под ред. В.Т. Трофимова. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. 132 с.

Эколого-геологические карты: Теоретические основы и методика составления / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Высшая школа, 2007. 407 с.

Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 432 с.

Поступила в редакцию
03.09.2012