

УДК 55; 504; 574

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-6-67-75

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ В СТРУКТУРЕ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Виктор Титович Трофимов[✉]

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

Аннотация. Охарактеризованы содержание и назначение основных видов инженерных изысканий для строительства, в число которых входят и инженерно-экологические. Показано, что массив грунтов должен исследоваться как эколого-геологическая система, которая представляет собой определенный объем литосферы с функционирующей в нем и на его поверхности биотой. Охарактеризовано содержание этой системы, ее структура и положение литосферного блока в виде литотопа в структуре экосистемы в целом. Рассмотрены экологические функции литосферы и типы геологических показателей, изучаемых в процессе инженерно-экологических изысканий и оценки состояния эколого-геологических систем и экосистем в целом. Оценена роль геологических объектов, включая значение современных геологических процессов, в структуре современных инженерно-экологических изысканий.

Ключевые слова: инженерно-экологические изыскания, эколого-геологическая система, литотоп экосистемы, эколого-геологические условия, экологические функции литосферы, геологические объекты экосистемы, роль геологических объектов в структуре инженерно-экологических изысканий

Для цитирования: Трофимов В.Т. Геологические объекты в структуре инженерно-экологических изысканий // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 6. С. 67–75.

GEOLOGICAL OBJECTS IN THE STRUCTURE OF ENGINEERING-ECOLOGICAL SURVEYS

Victor T. Trofimov[✉]

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

Abstract. The content and purpose of the main types of engineering surveys for construction, which include engineering and environmental surveys, are characterized. It is shown that during the latter soil massif should be investigated as an ecological-geological system, which is a certain volume of the lithosphere with biota functioning in it and on its surface. lithosphere with biota functioning in it and on its surface. Characterized the content of this system, its structure and the position of the lithospheric block as a lithotope in the structure of the ecosystem as a whole. Ecological functions lithosphere and types of geologic indicators studied in the process of engineering-ecological surveys and assessment of ecological-geological systems and ecosystems as a whole. The role of geologic objects, including significance of modern geologic processes, in the structure of modern engineering-ecological surveys is evaluated.

Keywords: Engineering-ecological surveys, ecological-geological system, lithotope of ecosystem, ecological-geological conditions, ecological functions of lithosphere, geological objects of ecosystem, role of geological objects in the structure of engineering-ecological surveys

For citation: Trofimov V.T. Geological objects in the structure of engineering-ecological surveys. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 6: 67–75. (In Russ.).

Введение. Все экологически значимые характеристики абиотических и биотических сред экосистем наиболее детально изучают при выполнении инженерных изысканий для строительства. В соответствии с пунктом 4.1 СП 47.13330.2016 [2017], они рассматриваются как обязательная часть градостроительной деятельности, обеспечивающая комплексное изучение природных условий территории (региона, района, площади, участка, трассы) и факторов техногенного воздействия на территорию объектов капитального строительства. Материалы изысканий используются для: подготовки документов территориального планирования; подготовки документации по планировке территории; выбора

площадок (трасс) строительства; архитектурно-строительного проектирования; строительства и реконструкции объектов капитального строительства; капитального ремонта автомобильных дорог общего пользования.

Инженерные изыскания в СП 47-13330.2016 [2017] включали 5 основных и 6 специальных видов изысканий. К основным видам инженерных изысканий относятся инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометрологические, инженерно-экологические и инженерно-геотехнические. Инженерно-экологические изыскания выполняются для получения материалов и данных о состоянии компонентов окружающей

среды и возможных источниках ее загрязнения, необходимых для подготовки всех ранее названных документов.

Термин *экосистема* (экологическая система) был введен в научную литературу английским ботаником А. Тенсли, который рассматривал экосистему как совокупность комплексов организмов с комплексом физических факторов его окружения, то есть факторов местообитания в широком смысле [Коробкин, Передельский, 2003]. Близкое по содержанию определение экосистемы дает и Ю. Одум [1975]. 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. Литосферные факторы в классификации экологических факторов, составленной Ю. Одумом, не учтены. Их нет и в схеме биогеоценоза В.Н. Сукачева [1972]. Отсутствие в структуре экосистем литотопа — это, по существу принципиальное упущение, поскольку на существование и развитие и биогеоценоза, и экосистемы (более широкое понятие) влияют не только «почвы» или «почвы, грунты» (что показано в схеме биогеоценоза Г.А. Новиковым [1979]), но и верхние горизонты литосферы в целом — их состав, подземные воды, геохимические и геофизические поля, современные эндо-, экзо- и техногенные геологические процессы. Это было убедительно показано в новом направлении геологического знания, получившего название «экологическая геология» [Теория..., 1997; Трофимов, Зилинг, 2002]. В ее рамках для устранения указанного недочета было введено понятие «эколо-

го-геологическая система» как составляющую часть экосистемы и биогеоценоза В.Н. Сукачева.

Содержание и структура эколого-геологической системы. При экологически ориентированных исследованиях массив грунтов должен рассматриваться в качестве эколого-геологической системы. Эти системы представляют собой определенный объем литосферы с функционирующей непосредственно в нем или на его поверхности биотой, включая человека и социум. По структуре они 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 [Трофимов, 2009].

Эколого-геологические системы — объект экологической геологии, нового направления геологических наук, исследующего влияние геологических факторов на функционирование всего живого. Эти системы являются и объектом экологических исследований в целом. Рассмотрим как были отражены эти два названных положения в структуре классических представлений об экосистемах — объекте изучения экологии?

Схема структуры экосистемы, составленная с учетом ранее сформулированных позиций, опыта построения схем биогеоценоза, а также изучения современной экологией системы природа–человек–общество и классов воздействий на нее, показана на рис. 1. Главные в ней — введение в структуру экотопа, экосистемы в целом литотопа, его параметров, влияющих на функционирование живого. Эта структура свидетельствует, что эколого-геологическая система представляет собой лишь часть

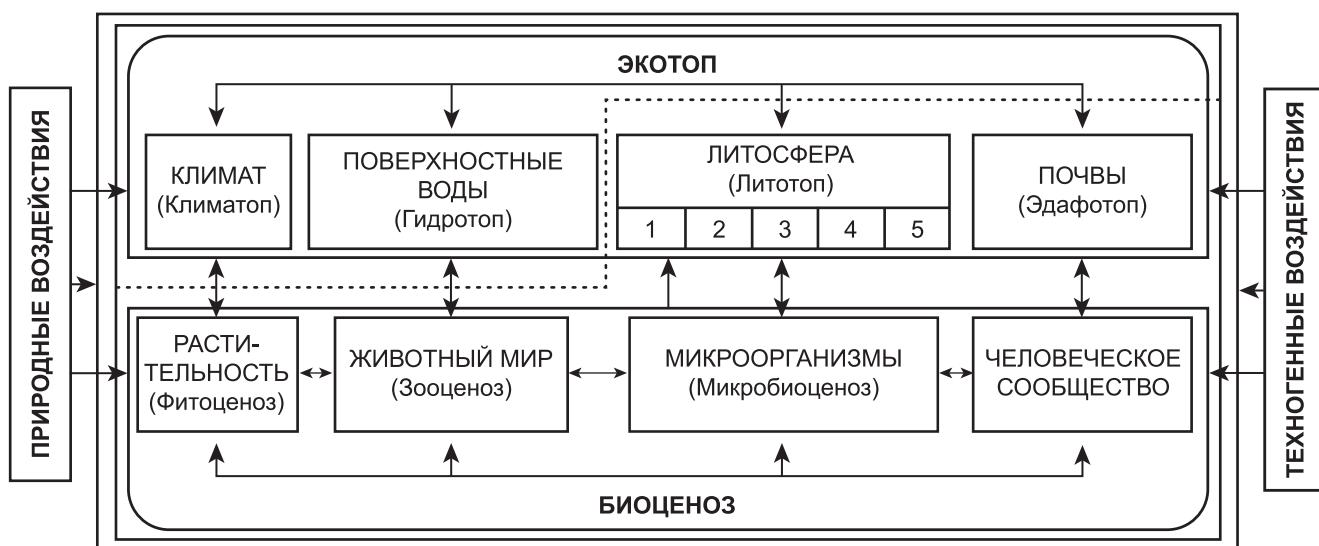


Рис. 1. Схема структуры экосистемы с учетом геологической составляющей и классов воздействий на нее. Точками выделены границы эколого-геологической системы. Параметры литосферы: 1 — состав, строение и рельеф массива, 2 — подземные воды, 3 — геохимические поля, 4 — геофизические поля, 5 — современные эндо-, экзо- и техногенные геологические процессы [Трофимов, 2009, 2024].

Факторы эколого-геологических условий и их формирования

Таблица 1

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, их состав и свойства 2. Глубина залегания и химический состав грунтовых вод 3. Характер и интенсивность экзогенных геологических процессов 4. Ландшафтные особенности 	Зональные, в основном климатические	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теплообеспеченность территории 2. Увлажненность территории 3. Соотношение теплообеспеченности и увлажненности территории 4. Ландшафтные особенности

экосистемы, входит в ее состав, но часть большую и очень важную.

Экологические функции литосферы и типы показателей, используемые при оценке состояния эколого-геологических систем. Какие же параметры массивов грунтов как литотопа следует оценивать при экологически ориентированных работах? Вопрос не простой, так как параметров очень много. Прагматический и теоретический ответ на этот вопрос принят в экологической геологии таким — это те характеристики, которые обеспечивают и влияют на функционирование биоты, включая социум: 1) состав, состояние, строение и рельеф массива, 2) подземные воды, 3) геохимические поля, 4) геофизические поля, 5) современные эндо-, экзо- и техногенные геологические процессы (рис. 1). Именно параметры этих групп факторов определяют и экологические условия массивов грунтов (табл. 1).

Но составляющих и определяющих экологическое содержание этих групп факторов-параметров велико. Из них следует изучать только те, которые определяют современные особенности экологических функций литосферы. Под ними понимается все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы, включая подземные воды, нефть, газы, геохимические, геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы, в жизнеобеспечении биоты и человеческого сообщества [Экологические..., 2000].

Научная концепция экологических функций литосферы объединяет в единый круг рассматриваемых проблем многоплановое изучение роли литосферы как среды существования органической жизни — простейших ее форм, растительного и животного мира и человеческой популяции. Основное с экологических позиций «предназначение» — ресурсное и энергетическое жизнеобеспечение биоты — реализуется через ресурсную, геодинамическую, геофизическую и геохимическую функции (рис. 2). Социально-экономические, нравственные,

эстетические аспекты функциональных взаимодействий человека и природы автор оставляет за рамками рассмотрения, так как они выходят за пределы профессиональных геологических знаний и, как нам представляется, составляют сферу интересов социальной экологии.

Содержание названных функций определено следующим образом.

Ресурсная экологическая функция литосферы — функция, определяющая роль минеральных, органических и органоминеральных ресурсов и геологического пространства литосферы для жизни и деятельности биоты как в качестве биогеоценоза, так и социальной структуры.

Геодинамическая экологическая функция литосферы — функция, отражающая свойства литосферы влиять на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные геологические процессы и явления.

Геохимическая экологическая функция литосферы — функция, отражающая свойство геохимических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты в целом, включая человека, в частности.

Геофизическая экологическая функция литосферы — функция, отражающая свойства геофизических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты, включая человека [Теория..., 1997; Экологические..., 2000].

Характеристика экологических функций литосферы требует получения в процессе экологически ориентированного изучения массивов грунтов большого количества геологических показателей (табл. 2). Но одних таких показателей для оценки состояния эколого-геологической системы, экосистемы в целом недостаточно. Необходимы данные о состоянии живого. А это требует изучения и био-



Рис. 2. Систематика экологических функций литосферы и их составляющих: РГ — разного генезиса, РЭО — разной экологической опасности



Рис. 3. Систематика типов показателей и критериев, используемых при оценке эколого-геологических условий

Таблица 2
Геологические объекты и параметры, изучаемые в процессе инженерно-экологических изысканий
[Трофимов, Зилинг, 2002; Трофимов, 2024]

Изучаемые геологические параметры (показатели)	Компоненты литосферы						
	Грунты		Почвы	Донные осадки	Подземные воды	Газы	
	природные	техногенные				природные	техногенные
Сейсмические зоны	+	-	-	-	-	-	-
Литолого-фациальные	+	-	-	-	-	-	-
Структурно-текстурные	+	-	-	+	-	-	-
Физико-механические	+	-	-	-	-	-	-
Физико-химические и химические	+	+	+	+	+	-	-
Водно-физические	+	+	+	+	+	-	-
Фильтрационные	+	+	+	+	-	-	-
Сорбционные и миграционные	+	-	+	+	-	-	-
Емкость катионного обмена	+	-	+	-	-	-	-
Электропроводность	+	-	+	-	-	-	-
Геохимический состав	+	+	+	+	+	-	+
Геохимические аномалии	+	+	+	+	+	-	-
Гамма-излучение	+	+	+	+	-	-	-
Состав и содержание солей в водной вытяжке	+	-	+	-	-	-	-
Оторфованность	+	-	-+	-	-	-	-
Газогенерирующие грунты	-	+	-	-	-	-	-
Активность потока биогаза	-	+	-	-	-	-	+
Наличие метана и CO ₂ в грунтовом воздухе	-	+	-	-	-	-	+
Газогеохимические аномалии	-	+	-	-	-	+	+
Газонасыщенность грунтов	-	+	-	-	-	-	-
Газогенерационная способность грунтов	-	+	-	-	-	-	-
Активность метаногенерирующей и метанокисляющей способности микрофлоры в грунтах	-	+	-	-	-	-	-
Температурный и водный режим	+	+	+	+	+	-	-
Распределение преобладающих типов и подтипов почв	-	-	+	-	-	-	-
Характеристики почвенного профиля	-	-	+	-	-	-	-
Содержание гумуса	-	-	+	-	-	-	-
Насыщенность основаниями	-	-	+	-	-	-	-
Содержание общего азота	-	-	+	-	-	-	-
Содержание подвижного фосфора и калия	-	-	+	-	-	-	-
Эродированность	-	-	+	-	-	-	-
Биологическая активность	-	-	+	-	-	-	-
Объемная активность радона в почвенном воздухе	-	-	+	-	-	+	-
Плотность потока радона на поверхности грунта	+	+	+	-	-	-	-
Наличие и условия залегания водоупоров	+	-	-		+	-	-
Естественные и искусственные гидродинамические границы	-	-	-	-	+	-	-
Проницаемость пород зоны аэрации, водовмещающих и перекрывающих	+	-	-	-	+	-	-

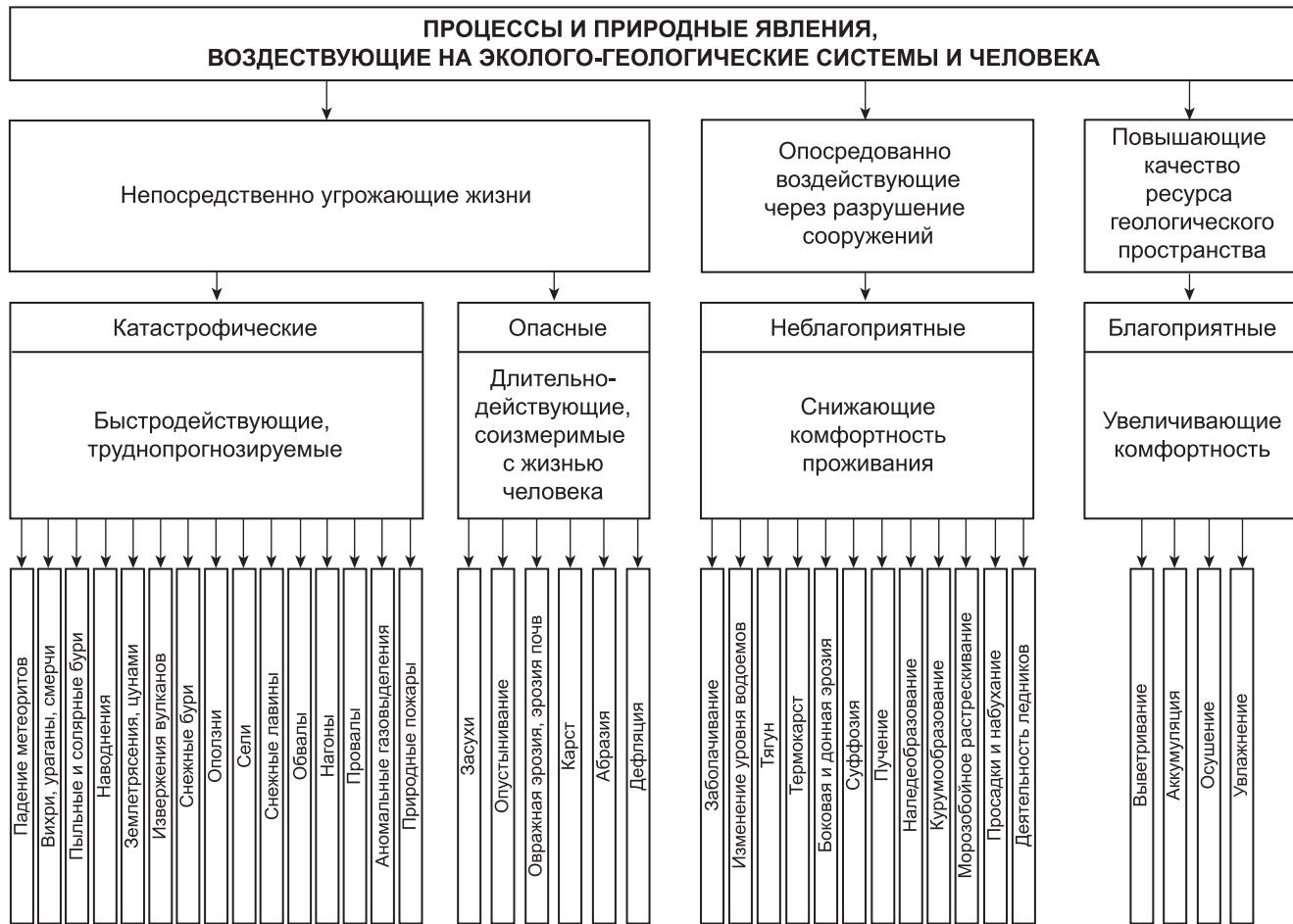


Рис. 4. Систематика природных процессов по характеру воздействия на эколого-геологические системы и человека

тических, и биолого-медицинских, и социально-экономических показателей (рис. 3).

Многие показатели этих групп нормированы и опубликованы в сводах правил по проведению инженерно-экологических изысканий для строительства [Свод..., 1997; 2017; 2021]. Методика экспериментального получения многих из них приведена в ряде этих документов. Дополнительно охарактеризуем подразделение современных геологических процессов, которым в строительных нормах и правилах, в которых впервые были введены инженерно-экологические изыскания [Строительные..., 1997] и сводах правил [1997, 2017] уделялось малое внимание.

В первых разработках сотрудников кафедры инженерной и экологической геологии в систематике этих процессов выделялись три группы процессов: катастрофические, опасные и неблагоприятные; в дальнейшем были введены процессы благоприятные (рис. 4).

Выделим сразу все четыре блока процессов.

Катастрофические геологические процессы представляют непосредственную угрозу жизни и характеризуются неопределенностью момента возникновения и высокой интенсивностью проявления. К ним относят землетрясения, извержения вулканов, цунами, нагоны, наводнения, оползни, сели, обвалы,

провалы и др. Непосредственная угроза жизни человека возникает только при определенной интенсивности проявления процесса (скорости, амплитуде, высоте подъема, радиусе действия и др.).

Опасные процессы (засуха, опустынивание, эрозия, карст и др.) оказывают непосредственное воздействие (механическое, химическое и др.) на абиотическую составляющую экосистемы и только опосредованно, через ее изменение или разрушение, на флору, живые организмы и человека. Они угрожают жизни, но их проявление растянуто во времени и сопоставимо с человеческой жизнью.

Неблагоприятные геологические процессы (заболачивание, суффозия, пучение, наледеобразование, морозобойное растрескивание и др.), не представляющие непосредственной угрозы для жизни, негативно воздействуют на условия жизнедеятельности человека через деформацию и осложнение эксплуатации инженерных сооружений и влияют на существование биоты через деградацию почв. Это процессы длительного действия, с продолжительным периодом подготовки, с отдаленными и опосредованными экологическими последствиями как для человека, так и всего живого.

Благоприятные процессы (выветривание, аккумуляция, увлажнение, осушение) позитивно влияют на условия существования биоты и опосредованно

Виды подготовки документации	ТП	ПТ	ВПТ	АРСП		СЗС	РЗС	КРАД
				ПДI	ПДII			
Объемы ИЭК информации								

Рис. 5. Соотношение объемов инженерно-экологической (ИЭК) информации, получаемой в процессе инженерно-экологических изысканий для подготовки документов территориального планирования (ТП), документации по планированию территории (ПТ), выбора площадок (трасс) строительства (ВПТ), архитектурно-строительного проектирования (АРСП) при подготовке проектов капитального строительства — первый этап (ПДI) и второй этап (ПДII), при строительстве (СЗС) и реконструкции зданий и сооружений (РЗС), подготовке документации капитального ремонта автомобильных дорог общего пользования (КРАД) [Трофимов, 2024]

на комфортность проживания человека за счет увеличения ресурса геологического пространства или улучшения его качества.

Важное значение для эколого-геологических работ и инженерно-экологических изысканий в целом имел выпуск строительных норм и правил СНиП 22-01-95 «Геофизика опасных природных воздействий» и его актуализированный вариант — свод правил СП 115.13330.2016 [2018]. В последнем документе присутствует таблица, в которой выделены и охарактеризованы показатели, используемые при оценке категории опасности природного процесса, и четыре категории опасности процессов — чрезвычайно опасные (катастрофические), весьма опасные, опасные, умеренно опасные. Границы каждой из этих категорий для 20 природных процессов охарактеризованы численными показателями.

Итог рассмотрения: казалось бы, теоретически все ясно и понятно. Но в результате практической деятельности возникает значительное число неопределенностей при оценке категории опасности природных геологических (да и антропогенных) процессов. Это обусловлено зависимостью оценки категорий опасности природных процессов не только от природных факторов, но и социальных причин — плотности населения, научно-технического уровня развития общества и территориальной принадлежности; далеко не каждое проявление опасного процесса, даже катастрофического (по классификациям), сопровождается человеческими жертвами, разрушением экосистем.

Оценка роли геологических объектов в системе современных инженерно-экологических изысканий. При инженерно-экологических изысканиях на любой стадии их проведения изучается и анализируется система геологических объектов, влияющих на состояние экологической обстановки. К их числу относятся *природные* и техногенные грунты, почвы, донные осадки, подземные воды, природные и техногенные газы, являющиеся составными компонентами литосферы. Для этих геологических объектов в процессе инженерно-экологических изысканий и в СП 11-102-97 [1997] и в СП 502.1325800.2021 [2021] предусмотрено изучение большого числа

параметров, наглядно представленных в табл. 2. Методы исследования и оценки этих параметров нормированы в СП 502.1325800.2021 [2021].

Геологические объекты и характеризующие их параметры изучаются в ходе инженерно-экологических изысканий для обоснования и подготовки документов при различных видах градостроительной деятельности. Объемы решаемых задач и получаемой информации в процессе их выполнения на разных этапах этой деятельности неодинаковы (это схематично показано на рис. 5). С переходом от первого этапа этой деятельности к последующим сокращаются размеры изучаемого в процессе инженерно-экологических изысканий пространства, усложняются виды и объемы инженерно-экологических и других специальных работ, возрастают требования к точности инженерно-экологических оценок, прогнозов и рекомендаций.

Подчеркнем, что основы методики и основные методы полевых, специальных и лабораторных исследований инженерно-экологических изысканий (включая их эколого-геологическую составляющую), проводимых для получения необходимых и достаточных материалов для обоснования и подготовки документов при различных видах градостроительной деятельности, стали достаточно стабильными. Меняется значимость того или иного метода, его роль в получении экологической информации, но не основы их перечня. Сказанное относится и к исследуемым геологическим параметрам: они остаются прежними, но изменяется детальность их изучения, необходимость получения количественных характеристик, а, следовательно, частота и детальность опробования. К этому добавим, что объем эколого-геологической составляющей в составе инженерно-экологических изысканий существенен (табл. 3).

Заключение. Роль геологических показателей в сводах правил систематически возрастала и стала очень существенной (см. табл. 3). Сами нормативные документы систематически совершенствовались. В СП 502.1325800.2021 [Свод..., 2021] включен целый ряд новых позиций: о выполнении инженерно-экологических изысканий в благоприятных условиях; о возможности использования результатов инженер-

Таблица 3

Статистика по составу работ на изучение компонент экосистем в нормативно-технических документах
(М.А. Харькина [Трофимов, 2024])

Компоненты экосистем		Количество позиций, регламентирующих состав работ инженерно-экологических изысканий в нормативах			
		СП 11-102-97 (регламентируют только инженерно-экологические изыскания)	СП 47.13330.2012	СП 47.13330.2016	СП 502.1325800.2021 (регламентируют только инженерно-экологические изыскания)
Абиотические	Литосфера и ее компоненты (грунты, донные отложения, подземные воды, подземные газы, ландшафты, геологические процессы, радиационная обстановка, радиоопасность, вибрация, электромагнитные излучения)	82	21	10	163
	Педосфера и ее компоненты (почвы, плодородный слой, гумус)	35	7	8	83
	Атмосфера и ее компоненты (воздух, электромагнитные излучения, шумы, инфра- и ультразвук, гидрометеорологические процессы)	19	9	9	46
	Поверхностная гидросфера и ее компоненты (поверхностные воды суши, морские воды, гидрометеорологические процессы)	17	14	10	52
Биотическая	растительный и животный мир (растения, мхи, лишайники, животные, птицы, рыбы, микроорганизмы, бактериопланктон, фитопланктон, зоопланктон, ихтиопланктон, макробентос)	22	13	5	41
	социум (санитарно-эпидемиологическая и медико-биологическая обстановка, заболевания населения, социально-экономические условия)	18	6	6	21
Все абиотические и биотическая компоненты экосистем		193	70	48	406

Примечания. Пункты СП, в которых одновременно регламентировано изучение нескольких компонентов экосистем, учитывались несколько раз.

но-экологических изысканий прошлых лет; списки нормативных документов (законы, ГОСТы, СанПины и др.), а в ряде случаев — и таблицы с величинами оценочных показателей изучаемых характеристик; использование понятия «экосистема»; введение в состав инженерно-экологических изысканий в качестве обязательного элемента изучение опасных

природных и природно-антропогенных процессов; исследование и оценка загрязнения грунтов; изучение воздействия опасных природных и природно-антропогенных геологических процессов на окружающую среду. Среди этих процессов — большая группа эндогенных, экзогенных и антропогенно обусловленных геологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов н/Д.: Феникс, 2003. 575 с.

Новиков Г.А. Основы общей экологии и охраны природы. Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. 352 с.

Одум Ю. Основы экологии / Пер. с англ. М.: Мир, 1975. 746 с.

Свод правил СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-55. М.: Стандартинформ, 2018. 36 с.

Свод правил СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М.: Госстрой России, 1997. 51 с.

Свод правил СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. М.: Минстрой России, 2021. 150 с.

Свод правил СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. М.: Стандартинформ, 2017. 90 с.

Строительные нормы и правила СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М.: Госстрой России, 1997. 61 с.

Сукачев В.Н. Основы типологии и биогеоценологии // Сукачев В.Н. Избр. труды: В 3-х т. Т. 1. Л.: Наука, 1972. 420 с.

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

Трофимов В. Т. Экологическая геология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2024. 415 с.

Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 48–52.

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

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

Статья поступила в редакцию 21.04.2025,
одобрена после рецензирования 23.05.2025,
принята к публикации 26.12.2025