



Источник фото: ГеоИнфо

СТРУКТУРА И СИСТЕМАТИКА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНО-КОММУНИКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Поступила в редакцию: 14.06.2025

Принята к публикации 11.07.2025

Опубликована 25.11.2025

КОРОЛЁВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., профессор, г. Москва, Россия
va-korolev@bk.ru

ГАЛКИН А.Н.

Профессор кафедры экологии и географии Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, д. г.-м. н., профессор, г. Витебск, Белоруссия
galkin-alexandr@yandex.by

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются вопросы структуры, систематики и многообразия эколого-геологических систем транспортно-коммуникационных комплексов – одних из важнейших объектов техносферы, выполняющих роль перевозки различных грузов, людей, транспортировки полезных ископаемых, передачи энергии и информации и рассматриваемых как разновидность экосистем. Анализируются характерные эколого-геологические особенности их абиотических и биотических компонентов, а также взаимосвязи между ними, учет которых необходим при инженерно-экологических изысканиях и исследованиях на территориях расположения транспортно-коммуникационных комплексов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

эколого-геологическая система (ЭГС); транспортно-коммуникационные комплексы; структура; систематика, многообразие.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Королев В.А., Галкин А.Н. Структура и систематика эколого-геологических систем транспортно-коммуникационных комплексов // ГеоИнфо. 2025. Т. 7. № 3. С. 6–17. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-3-6-17.

STRUCTURE AND SYSTEMATICS OF ECOLOGICAL-GEOLOGICAL SYSTEMS OF TRANSPORT-AND-COMMUNICATION COMPLEXES

Received: 14.06.2025

Accepted for publication 11.07.2025

Published 25.11.2025

KOROLEV V.A.

DSc, professor at the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
va-korolev@bk.ru

GALKIN A.N.

DSc, professor at the Department of Ecology and Geography, Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus
galkin-alexandr@yandex.by

ABSTRACT

The article examines the structure, systematics, and diversity of ecological-geological systems of transport-and-communication complexes – some of the most important components of the technosphere, which perform the functions of transporting various goods and people, conveying mineral resources, and transmitting energy and information, and which are considered a specific type of ecosystems. The paper analyzes the characteristic ecological-geological features of their abiotic and biotic components, as well as the interrelations between them, which must be taken into account during environmental engineering surveys and investigations conducted in areas where transport-and-communication complexes are located.

KEYWORDS:

ecological-geological system (EGS); transport-and-communication complexes; structure; systematics.

FOR CITATION:

**Korolev V.A., Galkin A.N. Struktura i sistematika ekologo-geologicheskikh sistem transportno-kommunikatsionnykh kompleksov [Structure and systematics of ecological-geological systems of transport-and-communication complexes]// Geoinfo. 2025. T. 7. № 3. S. 6-17.
DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-3-6-17 (in Rus.).**

ВВЕДЕНИЕ ►

Среди существующего многообразия антропогенных эколого-геологических систем ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов занимают особое положение. Именно от их стабильного функционирования зависит не только своевременное и качественное удовлетворение потребностей населения в перевозках и различных услугах, но и бесперебойная работа всех отраслей экономики, что с точки зрения экологии является важнейшим условием функционирования экосистем. Более того, надежность и безопасность транспортно-коммуникационной инфраструктуры напрямую влияют на национальную безопасность любого государства, что также имеет экологическое значение.

Эколого-геологической системой транспортно-коммуникационного комплекса называется определенный объем литосферы, в котором происходит взаимодействие геологической среды и

биоты, включая человека (социум), и обеспечение его транспортно-информационными потоками вещества, энергии и информации. Она представляет собой часть экосистемы и рассматривается как объект исследования экологической геологии, определяющий прежде всего ресурсную экологическую функцию литосферы [1, 2]. Данная ЭГС включает в себя природные компоненты: горные породы (литотоп), подземные воды (гидротоп), почвы (эдафотоп), геохимические и геофизические поля, приземный воздух (атмотоп), а также современные геологические процессы, влияющие на существование и развитие живых организмов, но одновременно техногенно измененные в той или иной степени. Наряду с ними важную роль играют и техногенные компоненты – инженерные сооружения разных типов, многие из которых являются источниками техногенной трансформации природных компонентов этих ЭГС.

Транспортно-коммуникационная система на территории любой страны представляет собой совокупность экономических субъектов (отраслей, предприятий и организаций) и видов деятельности, обеспечивающих и (или) создающих условия для функционирования отраслей материального производства и жизнедеятельности общества путем их снабжения транспортно-информационными потоками вещества, энергии и информации. По существу, это интегрированная сеть, включающая все виды транспорта (автодорожный, железнодорожный, водный, воздушный, космический и трубопроводный), а также объекты передачи электроэнергии и связи (информации), тесно взаимосвязанные и дополняющие друг друга. Ее ключевым ядром выступает транспорт или транспортная система, которая характеризуется согласованным развитием, эффективным использованием каждого вида транспорта и включает в себя

материально-техническую базу, технические средства, мощности, пропускную способность, а также совместимость и взаимодополняемость используемых технологий. Основная роль транспортной системы – обеспечивать потребности всех хозяйствующих субъектов государства и населения в перевозках и международных связях. Кроме того, транспорт вносит большой вклад в экспортный потенциал многих стран мира, успешно экспортируя транспортные услуги и став, по существу, одной из важных отраслей специализации в международном разделении труда. С экологической точки зрения транспортная система обеспечивает реализацию ресурсной экологической функции литосферы.

Несмотря на важность ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов, их эколого-геологические особенности изучены недостаточно. Поэтому целью настоящей статьи является выявление и характеристика особенностей этих систем, а также их структуры и систематики.

РАССМОТРИМ ОСОБЕННОСТИ МИРОВОЙ ТРАНСПОРТНО-КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ►

Все коммуникационные маршруты, транспортные предприятия и транспортные средства вместе формируют глобальную транспортную сеть. Она сформировалась в XX веке и продолжает развиваться. В ней можно выделить транспортные системы экономически развитых и развивающихся стран, а также региональные транспортные системы [3].

Лидирующую позицию по уровню развития в мире занимает региональная транспортная система Северной Америки. Она охватывает около 1/3 общей протяженности мировых транспортных путей, а по некоторым их видам, таким как автомобильные и трубопроводные, эта доля еще выше. Северная Америка лидирует и по объему грузоперевозок для большинства видов транспорта. Транспортная система Западной Европы уступает североамериканской по дальности перевозок, однако превосходит по плотности сети и интенсивности движения. На региональную систему стран СНГ приходится лишь десятая часть мировой транспортной сети, но по объему грузооборота она занимает первое место в мире.

Транспортный сектор в мировом ВВП составляет от 4 до 9%. Ежегодно в мире всеми видами транспорта перевозится более 100 млрд т грузов и свыше 1 трлн

пассажиров. В этих перевозках задействовано более 650 млн автомобилей, 40 тыс. морских судов, 10 тыс. регулярных рейсов самолетов, 200 тыс. локомотивов, составляющих комплекс технических транспортных средств. И их число постоянно увеличивается [3].

Важнейшим показателем эффективности работы транспорта является транспортная производительность, которая отражает соотношение между объемом перевозок и объемом производства.

Что касается путей сообщения, протяженность железнодорожных и автомобильных дорог в 1970–1990-х годах в целом стабилизировалась. Более того, в США и Западной Европе в последние десятилетия наблюдается сокращение железнодорожной сети из-за конкуренции с автотранспортом. В целом, происходят не столько количественные, сколько качественные изменения в мировой транспортной сети: увеличивается протяженность электрифицированных железных дорог, автомагистралей с твердым покрытием и сетей трубопроводов большого диаметра.

В мировом грузообороте преобладает морской транспорт, доля железнодорожного транспорта значительно сократилась, а доля трубопроводного стремительно растет. Основная часть международных морских перевозок приходится на большие объемы жидких и сыпучих грузов, исчисляемые сотнями миллионов тонн, включая сырую нефть, нефтепродукты, железную руду, каменный уголь и зерно. Отдельно стоит отметить генеральные, или тарно-штучные, грузы, включающие готовую промышленную продукцию, полуфабрикаты и продукты питания, годовой объем которых оценивается в 700 млн т.

В развитии мирового грузового транспорта важной тенденцией стала контейнеризация. Около 40% генеральных грузов теперь перевозится в контейнерах. Создаются трансконтинентальные контейнерные «мосты», комбинирующие морской транспорт с регулярными железнодорожными составами и автопоездами-контейнеровозами, например Транссибирский, Трансамериканский маршруты, маршруты Япония – Восточное побережье США, Западная Европа – Ближний и Средний Восток [3]. Ставятся все популярнее интерmodalные перевозки, в которых задействованы два или более вида транспорта. Для таких перевозок характерны строгие сроки и регулярность доставки грузов.

В 1990-е годы началось формирование транспортных коридоров (полигаммагистралей), объединяющих различные

виды транспорта для перевозок грузов через несколько стран. В настоящее время в Европе выделено девять таких коридоров. На территории России и Белоруссии есть два коридора:

- 1) Берлин – Варшава – Минск – Москва – Нижний Новгород (с возможностью продления до Екатеринбурга);
- 2) Хельсинки – Санкт-Петербург – Москва / Псков – Киев – Кишинев – Бухарест – Димитровград – Александрополис с ответвлением Калининград / Клайпеда – Каунас – Вильнюс – Минск – Киев [4].

Вышесказанное позволяет заключить, что международная транспортировка грузов все больше становится единым технологическим процессом, часто осуществляемым на основе единого транспортного документа с непрерывным отслеживанием груза от отправителя до получателя.

Во второй половине XX века активизация внешнеэкономических, туристических, научно-технических, культурных, социальных и прочих контактов спровоцировала значительный скачок в международной миграции населения. В сфере перевозок пассажиров первенство удерживает личный автотранспорт, чья доля увеличилась с 56,8 до 61,0%. Авиационный транспорт почти сравнялся с железнодорожным и в будущем может его превзойти. В международных перевозках пассажиров ведущую позицию занимает авиатранспорт, обладающий явным преимуществом перед другими видами транспорта благодаря скорости доставки.

Наряду с ролью транспорта растет значение средств коммуникации, обеспечивающих передачу информации. В настоящее время помимо традиционных средств связи (радио, телефона, телеграфа, телефакса), активно используются современные электронные и космические технологии – мобильные коммутаторы, факсимильная, оптоволоконная и спутниковая связь. Последняя оказывает неизбежное влияние на развитие разных индустриальных сфер (в том числе космической), на экономический рост государства и на уровень жизни населения.

Современное развитие коммуникационных сетей в мире характеризуется существенной неравномерностью. Около 40% всех телефонных линий на планете сосредоточено в США. В России уровень телефонизации пока не соответствует современным стандартам. В сельской местности телефонизировано только около трети торговых, меди-

цинских и образовательных учреждений. Примером инновационной технологии в сфере информатики и связи является внедрение оптоволоконной связи. В частности, созданы две подводные оптоволоконные линии – через Тихий океан длиной 11,5 тыс. км (США – Гавайи – Япония) и через Атлантический океан длиной 6,5 тыс. км (США – Западная Европа) [3].

Резюмируя вышесказанное, еще раз подчеркнем, что, несмотря на обширность территорий, занимаемых ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов, они остаются практически неизученными в эколого-геологическом отношении, а об их абиотических и биотических компонентах имеются лишь разрозненные сведения. В частности, слабо разработанными остаются вопросы их структуры и систематики, рассматриваемые ниже.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СИСТЕМАТИКИ ЭГС ТРАНСПОРТНО-КОММУНИКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ►

Структура эколого-геологических систем транспортно-коммуникационных комплексов показана на рисунке, из которого следует, что для них характерны такие же основные структурные компоненты (подсистемы), как и для других техногенных ЭГС – как абиотические (литотоп, гидротоп, атмотоп, технические сооружения) и биотические (эдафотоп), так и биотические (микробоценоз, фитоценоз, зооценоз), но техногенно измененные или искусственные (антропогенные) за счет социума и создаваемых им технических транспортно-коммуникационных сооружений.

Кроме того, как и в других техногенных эколого-геологических системах, в транспортно-коммуникационных ЭГС основное значение имеют различные технические подсистемы, такие как авто- и железные дороги, взлетно-посадочные полосы аэропортов, космодромы, линии электропередачи и связи, продукто- или трубопроводы, а также ряд других объектов их инфраструктуры (различная техника, вокзалы, депо, ангары, парки, АЗС и др.). Именно эти объекты оказывают наибольшее влияние на живые организмы в этих системах и формируют внешний вид ЭГС.

Технические сооружения вместе с их литогенной основой – литотопом – в зависимости от сочетаний образуют те или иные литотехнические системы (ЛТС). Это позволяет выделить в дан-

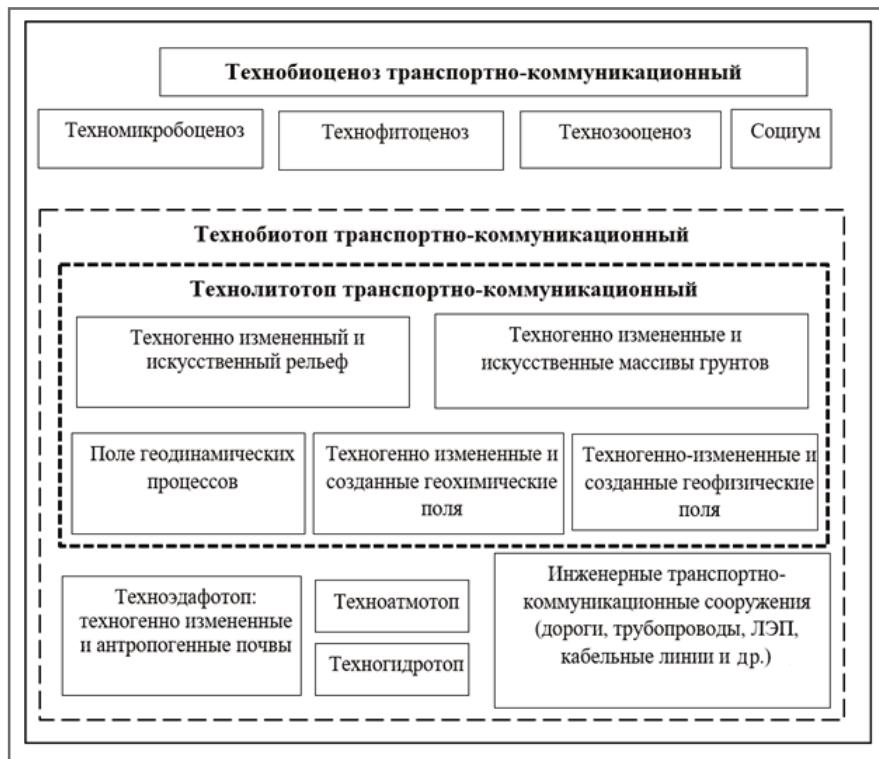


Рис. Структура ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов

ном классе ЭГС восемь их типов: ЭГС **автомобильных**, **железнодорожных**, **транспортных терминалов**, **воднотранспортных**, **авиационных**, **транспортно-космических**, **коммуникационно-энергетических** и **промышленно-продуктопроводных** комплексов (см. таблицу) [5].

Основу **ЭГС автотранспортного комплекса** составляют автотранспортные линейные литотехнические системы (ЛТС), состоящие из дорожного полотна (разных типов), дорожных инженерных устройств и комплексов вспомогательных сооружений (в том числе автотранспортных предприятий), а также все виды автотранспорта.

Аналогично, основой **ЭГС железнодорожного комплекса** являются линейные железнодорожные ЛТС, состоящие из железнодорожного пути с сопутствующими инженерными сооружениями, а также подвижной состав с соответствующей инфраструктурой, депо и др.

ЭГС транспортных терминалов включает в себя комплекс наземных сооружений, технических и технологических устройств, взаимосвязанных в рамках единой системы и предназначенный для выполнения операций, связанных с процессом транспортировки, таких как: погрузочно-разгрузочные, складские работы, таможенное оформление, консолидация, декон-

солидация различных партий грузов, коммерческо-информационное и финансовое обслуживание. Такой комплекс, в котором осуществляется централизованное планирование с учетом обеспечения логистического товародвижения, еще называют транспортно-логистическим терминалом [6]. Как и прочие ЭГС, они включают в себя абиотические и биотические компоненты.

Существуют два основных типа терминалов: универсальные и специализированные. Универсальные терминалы – это комплексы складских помещений с центром распределения, предназначенные для обработки разнообразных, но совместимых грузов. В отличие от них, специализированные терминалы ориентированы на работу с конкретным видом груза, например нефтепродуктами или контейнерами.

Транспортно-логистический терминал отличается от логистического центра, склада и распределительного центра по своим функциям (**логистический центр** служит для хранения широкого спектра товаров, находящихся на разных этапах логистической цепочки – от поставщика до конечного потребителя; **распределительный центр** предназначен для хранения товаров на этапе их перемещения от места производства к оптовым или розничным точкам продаж).

Транспортно-логистические терминалы могут занимать значительные

Таблица. Систематика класса эколого-геологических систем транспортно-коммуникационных комплексов

Тип комплекса ЭГС	Подтип комплекса ЭГС	Группа комплекса ЭГС
1. Автотранспортный	Подвижного состава автотранспорта и автомобильных дорог	Грузового транспорта (общего назначения, самосвального и специализированного) Прицепов, полуприцепов и роспусков Автобусного транспорта (общего назначения и специализированного) Легкового транспорта (для личных перевозок, специализированного и специального) Автомобильных дорог разного назначения с инфраструктурой Вспомогательных сооружений (автозаправочных станций и станций технического обслуживания, мотелей, дорожных гостиниц, остановочных пунктов, станций, площадок отдыха и др.)
	Автотранспортных предприятий	Грузовых, пассажирских и смешанных грузопассажирских автокомбинатов и объединений Грузовых станций и терминалов Транспортно-экспедиционных агентств, контор и логистических центров Пассажирских станций и вокзалов Баз механизации погрузочно-разгрузочных работ, выполняющих грузовые операции
	Железнодорожного пути с инфраструктурой	Полотна (насыпи) железных дорог с инфраструктурой Раздельных пунктов (разъездов, обгонных пунктов, путевых постов и др.)
	Подвижного состава	Локомотивов (по роду работы: грузовых, пассажирских и маневровых) Моторвагонного подвижного состава (дизель-поездов, электропоездов и др.) Вагонов (пассажирских, грузовых, специализированных).
		Локомотивных депо с парком локомотивов (тепловозных, электровозных, моторвагонных, дизельных и смешанных) и инфраструктурой
		Вагонных депо (по типу вагонов с соответствующей инфраструктурой)
	Систем электроснабжения	Сооружений внешней энергетической системы (электрогенерирующих станций, распределительных подстанций, электромагистралей)
	Автоматизированных транспортных систем	Сооружений тяговой системы (тяговых преобразовательных подстанций и контактной сети)
	Систем железнодорожной сигнализации и связи	Сооружений и устройств системы автоматики и телемеханики
3. Транспортных терминалов	Универсальных и специальных транспортно-логистических терминалов	Сооружений технических средств, предназначенных для управления движением поездов и маневровой работы
4. Воднотранспортный	Универсальных и специальных транспортно-логистических терминалов	Комплексов складских и др. сооружений с логистическим центром распределения
	Водного пути	Внешнего водного пути (морей, включая заливы, и океанов)
	Флота (водных транспортных средств)	Внутреннего водного пути (естественного – реки или озера, судоходного или сплавного; искусственного – водохранилища, речного гидроузла, судоходного канала, межбассейнового водотранспортного соединения)
	Систем прибрежных пунктов	Морских и речных судов (по назначению и способу перемещения)
	Судоремонтных предприятий	Портов (по назначению с соответствующей инфраструктурой)
	Систем технических средств управления на водном транспорте	Мастерских, ремонтно-эксплуатационных баз флота, доков и т.п. Судов-мастерских
5. Авиационный	Систем технических средств управления на водном транспорте	Средств связи, приема, передачи и обработки информации
	Летательных аппаратов и их парка	Пассажирских, грузовых и специализированных (для оказания медицинской помощи, сельхоз работ, тушения пожаров и др.) летательных аппаратов
	Трасс воздушных линий	Трассовых аэропромов с инфраструктурой
	Аэропортов	Диспетчерских пунктов Взлетно-посадочных полос (разных классов) Аэровокзалов с инфраструктурой
	Систем обслуживания воздушных судов	Комплексов сооружений и устройств инженерно-авиационной службы
6. Транспортно-космический	Ракетно-космического	Ракет-носителей, космических аппаратов с инфраструктурой Стартового комплекса с инфраструктурой
	Наземного комплекса управления космическими аппаратами	Технических средств и сооружений для управления аппаратами, сбора и передачи информации
	Посадочного комплекса и поисково-спасательных средств	Зданий и сооружений с соответствующей инфраструктурой
7. Коммуникационно-энергетический	Сооружений связи	Сухопутных или подводных линий связи и сопутствующей инфраструктуры
	Электрических сетей	Линий ЛЭП разных классов с сопутствующей инфраструктурой
8. Промышленно-производственный	Нефтепродуктопроводов	Сухопутных или подводных нефтетрубопроводов с сопутствующей инфраструктурой
	Конденсатопроводов	Сухопутных или подводных конденсатопроводов с сопутствующей инфраструктурой
	Газопроводов	Сухопутных или подводных газопроводов с сопутствующей инфраструктурой
	Водопроводов	Водопроводных и канализационных сетей с сопутствующей инфраструктурой
	Аммиакопроводов	Сухопутных или подводных аммиакопроводов с сопутствующей инфраструктурой
	Пульпопроводов	Наземных пульпопроводов с сопутствующей инфраструктурой
	Метанолопроводов	Метанолопроводов с сопутствующей инфраструктурой
	Этиленопроводов	Этиленопроводов с сопутствующей инфраструктурой

площади – от 60 до 100 га и более в зависимости от выполняемых функций. Они имеют свободные проходы и проезды между зданиями, а также продуманную планировку. Грузовые терминалы, будучи предприятиями, занимаются множеством видов деятельности, таких как перевозка, обработка и хранение грузов. В процессе своей работы терминал взаимодействует с перевозчиками, клиентами, посредниками, таможенными службами, банками и другими партнерами, что часто приводит к размещению их представительств на территории терминала.

В настоящее время широко практикуется концентрированная переработка больших объемов грузов, что привело к созданию специализированных терминалов. Также существуют таможенно-логистические терминалы – комплексы зданий и площадей, которые предоставляют услуги по таможенному оформлению товаров и транспортных средств, их хранению и другим сопутствующим услугам [7].

ЭГС водно-транспортного комплекса объединяет водный путь (включая его дно – донный литотоп), флот (транспортные средства) и прибрежную сопутствующую инфраструктуру (порты, судоремонтные предприятия, средства связи и др.). Ключевым элементом данной ЭГС является линейная водно-транспортная ЛТС, включающая водный путь (то есть любой судоходный водный путь, проложенный по рекам, озерам, морям, океанам, водохранилищам или каналам), а также донный литотоп и технические средства водного транспорта с соответствующей инфраструктурой.

Критериями для выделения водного пути в качестве компонента экологогеологической системы¹ является наличие вдоль этого пути донного литотопа, представленного различными донными отложениями и грунтами, так или иначе взаимодействующими с проходящим водным транспортом [8]. Вопрос о выделении донного литотопа для водемов с большими глубинами (морями, океанами) остается открытым, поскольку взаимодействие донных грунтов с проходящим водным транспортом в этом случае носит косвенный (опосредованный) характер. Кроме того, необходимо иметь в виду, что водные пути прокладываются вдали от мелей, рифов, порогов и других донных препят-

ствий, но в ряде случаев вдоль водных путей проводятся дноуглубительные работы. При этом создается искусственный донный литотоп.

Судоходные водные пути делятся на внутренние и внешние. Внешние проходят в пределах морей и океанов и используются для судоходства в естественном состоянии, за исключением подходов к морским портам (морских каналов), которые устраивают с искусственными донными литотопами. Внутренние пути – это часть гидросферы, которая находится внутри какой-либо территории (озера, реки, водохранилища), обозначена навигационными знаками или иным способом и используется в целях судоходства. Примерами таких водных путей с искусственными донными литотопами являются шлюзованые реки, судоходные каналы, искусственные моря, водохранилища и др. [7]

Основным техническим компонентом такой ЭГС является флот – совокупность судов различных типов, размеров и назначений. В зависимости от типа перевозимого груза, суда делятся на сухогрузные и наливные. Сухогрузные предназначены для перевозки сыпучих материалов (зерна, руды, угля) и жидкого грузов в упаковке. Наливные суда, или танкеры, используются для транспортировки жидкостей наливом. По назначению суда также подразделяются на разные типы.

Другим техническим компонентом этих ЭГС является береговая инфраструктура (порты, пристани, остановочные пункты и т.п.).

Основу **ЭГС авиационного комплекса** составляют авиационные ЛТС, летательные аппараты разных типов и назначения и их парк, воздушные линии (трассы) и наземная инфраструктура, включая аэропорты, аэровокзалы и аэродромы со взлетно-посадочными полосами, ангары, авиаремонтные заводы и др. Как и в предыдущем случае, критерием для выделения ЭГС данного типа является наличие вдоль тех или иных участков воздушных трасс литотопа, находящегося во взаимодействии с летательными аппаратами. Если этого взаимодействия нет, то данная экосистема не может рассматриваться в качестве эколого-геологической. Это прямое взаимодействие имеется лишь на начальных и конечных участках авиатрасс – вблизи взлетно-посадочных полос, то есть там,

где высота полета летательных аппаратов незначительна, а также непосредственно на самих полосах и аэродромных площадках, литотопы которых испытывают прямое механическое и иное воздействие от самолетов. Во всех прочих случаях воздушные трассы не входят в качестве компонента в ЭГС авиационного комплекса, так как у них отсутствует литотоп. Летно-эксплуатационное обслуживание самолетов включает в себя множество различных наземных устройств и систем, необходимых для проведения полетов: аэродромное, радиотехническое, светотехническое, метеорологическое оборудование, а также медицинское обслуживание и обеспечение охраны воздушных судов и др.

ЭГС транспортно-космического комплекса объединяет ракетно-космический комплекс (РКК), наземную инфраструктуру управления космическими аппаратами, специализированные наземные комплексы, посадочный комплекс, а также поисково-спасательные силы и средства [9]. В состав таких ЭГС включаются лишь те компоненты РКК, которые имеют литотоп, то есть геологическую основу. Таким образом, космические трассы исключаются из данных ЭГС.

Ракетно-космический комплекс – это сложная система, объединяющая ракету-носитель (или несколько ракет) с необходимым оборудованием и наземной инфраструктурой для обеспечения ее функционирования. Он охватывает все этапы жизненного цикла ракеты начиная с транспортировки и хранения и заканчивая подготовкой к запуску, самим запуском и контролем полета на начальном участке траектории. В состав РКК входят [10]:

- 1) ракета-носитель – основной элемент, предназначенный для вывода космических аппаратов на орбиту;
- 2) технический комплекс – оборудование и сооружения для обслуживания, подготовки и испытаний ракеты;
- 3) стартовый комплекс – площадка и оборудование, обеспечивающие предпусковые операции и запуск ракеты;
- 4) комплекс средств измерений и обработки информации – системы для отслеживания полета и анализа данных;
- 5) комплекс падения отделяемых частей – зоны, куда падают отработавшие ступени ракеты.

Ракетно-космический комплекс – это универсальная система, являющаяся

¹ Напомним, что обязательным компонентом любой ЭГС является литотоп – геологическая составляющая экосистемы, ее литогенная основа, взаимодействующая с ее прочими абиотическими и биотическими компонентами.

частью более крупных космических комплексов. Его характеристики определяются типом используемой ракеты-носителя.

Ключевыми элементами РКК, обеспечивающими наземную подготовку ракет и космических аппаратов, являются технический (в совокупности с монтажно-испытательным комплексом) и стартовый комплексы, основанием для которых служат искусственные литотопы. Они составляют основу космической инфраструктуры космодрома. Техническое оборудование этих комплексов является базой для наземной эксплуатации ракет-носителей. Монтажно-испытательный комплекс (МИК) и технические комплексы – это взаимосвязанные системы, включающие оборудование, средства управления и сооружения, предназначенные для проведения всех необходимых работ с ракетами-носителями, космическими аппаратами и разгонными блоками до их отправки на стартовую площадку. Стартовый комплекс – это совокупность подвижного и стационарного оборудования, средств управления и сооружений, обеспечивающих все операции с ракетой-носителем (или ее частями) с момента ее прибытия на стартовую позицию и до самого запуска [9].

Монтажно-испытательный и технический комплексы, стартовый комплекс, заправочно-нейтрализационная станция, а также средства контроля и управления космическими ракетами в процессе подготовки к запуску и выведению космического аппарата (или другого орбитального объекта) на опорную орбиту находятся на космодроме – специализированном районе местности, оборудованном в инженерном и топогеодезическом отношении, с размещенными на нем сооружениями, инженерными коммуникациями, силами и средствами, осуществляющими и обеспечивающими хранение и поддержание в установленной готовности, подготовку к пуску, пуск и контроль полета ракет космического назначения на участке выведения. После того как космический аппарат (КА) будет выведен на опорную орбиту, контроль его функционирования переходит к средствам наземного комплекса управления (НКУ). НКУ представляет собой набор технических средств и сооружений, предназначенных для управления работой орбитальных объектов с момента их вывода на орбиту. Эти средства управляют как одним КА, так и несколькими одновременно. НКУ совместно с бортовым

комплексом управления (БКУ) составляет автоматизированную систему управления (АСУ) КА. Обычно в НКУ входят центр управления полетом (ЦУП) и наземный автоматизированный комплекс управления (НАКУ) орбитальными средствами. НАКУ включает в себя необходимую инфраструктуру и технические системы, командно-измерительные и измерительные пункты, центры и пункты управления орбитальными средствами, а также центры обработки измерительной информации, которые предназначены для формирования наземных комплексов, осуществляющих автоматизированный контроль параметров полета, состояния бортовой аппаратуры и управления их работой [9]. На завершающих этапах эксплуатации орбитальных средств космического комплекса могут быть задействованы поисковые и эвакуационные средства, например для спускаемого аппарата, доступные на полигоне посадки и на космодроме.

Все данные о работе бортовой аппаратуры ракеты-носителя поступают в измерительный комплекс космодрома для дальнейшего анализа. Информация о работе бортовых систем КА передается в командно-измерительные комплексы (КИК) и затем в центр управления. Необходимые команды и программы управления поступают в систему управления КА из ЦУП.

Специальный комплекс служит для приема, регистрации, обработки, хранения и передачи специальной информации с КА потребителям. Он включает в себя технические средства и сооружения с соответствующим оборудованием и размещается в центрах приема и обработки информации различных государственных структур, главных штабов видов Вооруженных сил и других заинтересованных организаций [9].

ЭГС коммуникационно-энергетического комплекса включает абиотические компоненты – литотоп и гидротоп (техноприродные, природно-техногенные или антропогенные), технические устройства (коммуникационно-энергетические объекты), эдафотоп как биокосный компонент, а также биотические компоненты (микробо-, фито- и зооценозы, в той или иной степени техногенно измененные, и социум). Данный комплекс предназначен для обеспечения различных видов связи (передачи информации), а также для передачи, преобразования и распределения электроэнергии. Он объединяет сооружения связи и объекты электрических

сетей. В состав комплекса входят многочисленные инфраструктурные элементы: базовые станции, ЛЭП, подстанции, распределительные пункты, токопроводы, принимающие и распределяющие устройства, а также здания и подъемно-транспортные средства, которые используются для работ, связанных с эксплуатацией этих объектов и др.

ЭГС промышленно-продуктопроводного комплекса объединяет: искусственные сооружения для транспортировки различных жидких и газообразных веществ (нефти, нефтепродукта, метана, этилена, этанола, аммиака и др.), а также твердых веществ в виде растворов (пульпы); отраслевые предприятия трубопроводного транспорта, обеспечивающие надежное функционирование инженерных сооружений по перекачке продуктов. Технические элементы системы трубопроводного транспорта включают:

- 1) непосредственно трубопровод – линейную магистраль из сваренных и соответствующим образом изолированных труб с устройствами электрозащиты;
- 2) перекачивающие и компрессорные станции в виде начальных и промежуточных станций для транспортировки жидкой или газообразной продукции по трубе;
- 3) линейные узлы, представляющие собой устройства для соединения или разъединения параллельных или пересекающихся трубопроводов и перекрытия отдельных участков линий при ремонте;
- 4) линии электроснабжения, если силовые агрегаты (насосы, компрессоры) имеют электрический привод, и линии связи для передачи необходимой информации, обеспечивающей нормальное функционирование системы [7].

Различают промышленные (технологические) и магистральные трубопроводы. Первые являются частью производственной инфраструктуры предприятий и служат для перемещения сырья (газа, пара, жидкостей), полуфабрикатов, готовой продукции или отходов в рамках технологических процессов, вторые используются для транспортировки нефти и газа от мест добычи к местам переработки и до конечного потребления.

Магистральный трубопровод – это протяженная инженерная конструкция в виде непрерывной трубы, дополненная комплексом сооружений, обеспечивающих транспортировку жидкости или газа на большие расстояния с

заданными параметрами, такими как давление, температура и объем перекачки. В отличие от других линейных объектов, например дорог, трубопровод постоянно подвергается высоким нагрузкам из-за внутреннего давления транспортируемого вещества, функционируя как сосуд под давлением. Состав и назначение элементов трубопровода зависят от типа перекачиваемого продукта. Например, основными компонентами магистрального нефтепродукто- или нефтепровода являются [11, 12]:

- 1) головная перекачивающая станция, где происходит сбор нефти или нефтепродуктов, их приемка, сортировка, учет и подготовка к дальнейшей транспортировке по трубопроводу;
- 2) подводящие трубопроводы, соединяющие источники нефти или нефтепродуктов (месторождения, заводы) с головной станцией, доставляя сырье в резервуары;
- 3) промежуточные перекачивающие станции, расположенные вдоль трассы и усиливающие давление с обеспечением дальнейшей перекачки продукта;
- 4) конечный пункт, где происходит прием продукта из трубопровода, его распределение между потребителями или перегрузка на другие виды транспорта;
- 5) линейные сооружения – сам трубопровод, а также сопутствующие объекты, такие как колодцы, системы защиты от коррозии, переходы через водные преграды и дороги, здания для обслуживающего персонала, линии связи, подъездные пути и др.

Перекачивающие станции – это ключевые и сложные элементы нефтепроводной системы.

Головные перекачивающие станции (ГПС) выполняют функцию приема нефти, прошедшей предварительную обработку, и дальнейшей ее транспортировки в магистральный нефтепровод. Они включают в себя: резервуарный парк для хранения нефти, подпорные насосы для обеспечения необходимого давления, систему учета количества нефти, магистральные насосы для перекачки на большие расстояния, узел регулирования давления для поддержания стабильной работы, фильтры для очистки от загрязнений, предохранительные устройства для предотвращения аварийных ситуаций, а также систему технологических трубопроводов [16].

Промежуточные перекачивающие станции (ППС) располагаются вдоль трассы нефтепровода на расстояниях, определенных гидравлическими расче-

тами. Типичное расстояние между станциями составляет 100–200 км для первой очереди строительства и 50–100 км для второй. В отличие от ГПС, ППС не имеют резервуарного парка, подпорных насосов и узла учета нефти [13].

На протяженных магистральных нефтепроводах организуются эксплуатационные участки длиной 400–600 км. В начале каждого участка располагается нефтеперекачивающая станция, аналогичная по составу ГПС, но с резервуарным парком меньшего объема. Насосные станции оснащаются мощными насосами и сложным энергетическим оборудованием, потребляющим до нескольких тысяч киловатт [14].

Нефть или нефтепродукт последовательно перекачивается по трубопроводу через цепь перекачивающих станций до конечного пункта назначения. Существуют различные схемы перекачки на промежуточных станциях, которые определяются способом подключения насосов и резервуаров [13]:

- а) постстанционная перекачка – нефть поочередно принимается в один резервуар, а подается на следующую станцию из другого;
- б) перекачка через один резервуар – нефть поступает в резервуар, который служит буферной емкостью, и одновременно откачивается из него;
- в) перекачка с подключенным резервуаром – уровень нефти в резервуаре изменяется в зависимости от колебаний объемов поступающей и откачиваемой нефти;
- г) перекачка «из насоса в насос» – резервуары промежуточных станций отключаются от магистрального трубопровода.

Линейная часть трубопровода, как правило, сооружается по трем конструктивным схемам: подземной, наземной и надземной. По первой схеме трубы укладываются ниже поверхности земли (самый распространенный способ – около 98% всех трубопроводов). По второй схеме трубы укладываются на поверхность земли или на специально подготовленное грунтовое основание. Третья схема предусматривает укладку труб на опоры, расположенные на определенном расстоянии друг от друга [12].

Подземная схема прокладки трубопроводов предпочтительна в массивах плотных грунтов. Она гарантирует защиту труб от внешних воздействий, эффективно стабилизирует их расположение и повышает устойчивость. Кроме того, такая прокладка не меняет рельеф

местности и не препятствует сельскохозяйственным работам и передвижению транспорта. При подземной установке трубы и ее содержимое меньше подвержены резким колебаниям температуры, что существенно влияет на надежность технологических процессов.

Наземные и надземные схемы прокладки трубопроводов чаще используют при строительстве в неблагоприятных грунтовых условиях. Особенно широко эти схемы стали применяться в условиях Севера на многолетнемерзлых грунтах [15].

Рост мирового производства нефти и газа в шельфовых и морских зонах потребовал прокладки подводных магистральных трубопроводов – как заглубленных, так и незаглубленных. Такие трубопроводы называются морскими. Иногда магистральный трубопровод имеет морскую и сухопутную часть. И тогда он называется сухопутно-морским.

Несмотря на то что магистральный трубопровод функционирует как единая система, он оснащен средствами секционирования, позволяющими оперативно перекрывать отдельные участки в аварийных ситуациях. Эта мера необходима для ограничения масштаба утечек и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Ключевым элементом этой системы, особенно на нефте- и нефтепродуктопроводах, являются задвижки. От их исправности напрямую зависит эффективность предотвращения потерь при авариях и снижение экологического риска. Помимо основной трубы нефтепровод включает в себя широкий спектр компонентов, таких как тройники, переходники для соединения труб разного диаметра, а также узлы для ввода и извлечения внутритрубных устройств очистки (скребков, шаров, поршней и др.) [16].

ЭГС газопроводного комплекса состоит из трех основных технических элементов: трубопроводов, компрессорных станций и газораспределительных станций, а также литотопа, эдафотопа, гидротопа и биотических компонентов. Газораспределительные станции представляют собой комплекс технологического оборудования и устройств, предназначенный для понижения давления газа из магистрального газопровода до уровня, необходимого по условиям его безопасного потребления, включая очистку, редуцирование, предотвращение гидратообразования, одоризацию (добавления одоранта – вещества с резким запахом), а также измерение расхода газа. Рядом с

газораспределительными станциями располагаются газгольдеры – специальные хранилища для создания запасов газа, представляющие собой сосуды большого объема, предназначенные для хранения газов под давлением.

Транспортировка газа по трубопроводам осуществляется либо за счет давления газа, естественно создаваемого в скважинах, либо за счет давления, искусственно созданного с помощью компрессоров. Компрессорные станции, расположенные через каждые 100–200 км, поддерживают необходимое давление и скорость потока газа, которые снижаются из-за трения о стенки трубы. Они увеличивают давление, тем самым поддерживая пропускную способность газопровода. При этом добавляется только газ, чтобы избежать образования взрывоопасных смесей [17].

Компрессорные станции оснащены газоперекачивающими агрегатами, а также оборудованием для осушки, очистки и одоризации газа. Здесь существуют как головные сооружения (компрессорные), так и ряд вспомогательных (котельные, сооружения систем охлаждения, электро-, водоснабжения, канализации и др.). На станциях также функционируют химические лаборатории, где регулярно анализируют воду, масло и другие рабочие жидкости, а также контролируют уровень загазованности.

Газопроводы по функциям подразделяются на три основных типа: магистральные, распределительные (местные) и внутренние. Магистральные газопроводы служат для транспортировки газа на значительные расстояния от мест добывчи или производства к потребителям. Распределительные газопроводы предназначены для доставки газа в пределах населенных пунктов, а внутренние – для распределения газа внутри зданий и сооружений.

Основная часть газопроводов – как магистральных, так и распределительных – прокладывается под землей (в траншеях). Однако в целях безопасности или из-за технических ограничений иногда используют надземную прокладку на эстакадах, опорах, мостах или непосредственно по поверхности земли. Внутри зданий газопроводы обычно крепятся к стенам.

По аналогии с нефтепроводами, в морских и шельфовых зонах прокладывают подводные магистральные газопроводы, которые могут быть как заглубленными в грунт, так и проложенными по дну. Нередко магистральный

газопровод состоит из подводного (морского) и наземного участков. Современные магистральные газопроводы могут работать под давлением 5,5–7,5 МПа и выше. Это обеспечивает высокую пропускную способность, достигающую 50 млрд м³ газа в год и более [11]. Несмотря на все меры предосторожности, небольшие потери газа неизбежны из-за особенностей конструкции газопроводов, наличия соединений и механизмов (задвижек, уплотнений и т.д.). Эти потери обычно составляют от 2,5 до 4,0% от общего объема транспортируемого газа.

В определенных условиях, особенно при низких температурах, может возникнуть проблема образования газогидратных пробок. Это происходит, когда молекулы воды окружают молекулы газа, формируя структуру, похожую на лед, которая закупоривает трубу и блокирует поток газа. Для борьбы с этим явлением применяют специальные вещества, такие как метанол илиmonoэтиленгликоль, которые растворяют гидраты.

Общая протяженность магистральных газопроводов может варьировать от нескольких десятков до тысяч километров, а диаметр труб – от 150 до 1420 мм. Но большинство имеет диаметр от 720 до 1420 мм. Трубы и арматура магистральных газопроводов рассчитаны на рабочее давление до 7,5 МПа.

Наряду с трубопроводом, компрессорными и газораспределительными станциями важным элементом газовой инфраструктуры многих стран мира являются *подземные газохранилища* (ПХГ) – системы сооружений, предназначенные для резервирования больших объемов природного газа. Эти хранилища способны вмещать сотни миллионов, а в некоторых случаях и миллиарды кубометров газа. Они, как правило, формируются вблизи крупных центров газопотребления.

В основном это «природные» резервуары, расположенные глубоко под землей (300–1000 м и более), созданные в пористых породах (например, в истощенных месторождениях углеводородов, обезвоженных водоносных горизонтах и т.д.) или в полостях массивов горных пород (в подземных горных выработках, таких как шахты, штольни и т.д., а также в пустотах размытых соляных толщ и т.д.).

Существует еще один способ хранения газа – изотермические подземные хранилища. Их создают в виде котлована, стени которого поддерживаются в

замороженном состоянии. Строительство начинается с укрепления верхней части котлована бетонным кольцом, на которое устанавливается теплоизолированная крыша. Для поддержания низких температур вокруг хранилища бурят морозильные скважины. После заполнения резервуара сжиженным газом, процесс заморозки прекращается и топливо хранится при криогенных температурах (минус 161–162 °С). Изотермические ПХГ являются самым затратным способом хранения, однако они являются единственным решением в регионах, где создание других типов хранилищ невозможно [18].

Независимо от типа ПХГ, на поверхности его размещения строятся необходимые инфраструктурные объекты. Каждое хранилище оснащено очистными установками, где газ очищается от примесей перед закачкой под землю. Очищенный газ поступает в пункт замера и учета, а затем – в компрессорный цех, где его компримируют путем повышения давления (сжатия) до нужного значения. Над ПХГ располагается газораспределительный пункт, где газ после подготовки разделяется на потоки для закачки в хранилище. Все ПХГ подключены к сети магистральных газопроводов, обеспечивающих поступление газа для закачки и его отбор для транспортировки потребителям [18].

ЭГС водопроводно-канализационного комплекса выполняет такую важнейшую ресурсно-экологическую функцию, как обеспечение экосистем водой, и объединяет ряд инженерных сооружений и технических устройств, предназначенных для забора воды из природных источников, улучшения ее качества до заданных норм, транспортирования на необходимые расстояния, хранения запасов, подачи и распределения потребителям, а также для отвода сточных вод. Классическая схема функционирования данной ЭГС включает работу водозаборных сооружений (водозаборов), насосных станций или водоподъемных сооружений, сооружений для очистки и обработки воды, водовода или магистрального водопровода, резервуаров различных типов для хранения и аккумулирования воды.

Водозаборы в зависимости от назначения подразделяются на сооружения, предназначенные для хозяйствственно-питьевого, производственного, противопожарного, поливочного и комбинированного водоснабжения. По типу водоисточника их разделяют на объекты, забирающие воду из поверхност-

ных или из подземных источников. Поверхностные водозаборы направляют свои усилия на использование водных ресурсов, расположенных на поверхности земли (озера, реки, водохранилища). Они бывают берегового и русского типов. В береговом варианте вода откачивается насосами непосредственно в резервуары, тогда как в русском варианте она поступает по самотечным линиям к береговым накопителям. Качество и состав воды в таких водозаборах требуют постоянного внимательного контроля. Подземные водозаборы применяют различные конструкции, такие как вертикальные, горизонтальные водозаборы и родниковые каптажи. К этой категории относятся скважины, шахтные колодцы, галереи, штолни и многие другие сооружения. Вода из подземных источников, как правило, чище и стабильнее, поскольку она защищена от негативного воздействия окружающей среды. Кроме того, по производительности водозаборы подразделяются на малые (менее $1 \text{ м}^3/\text{с}$), средние (от 1 до $6 \text{ м}^3/\text{с}$) и большие (более $6 \text{ м}^3/\text{с}$); по компоновке – на совмещенные (в одном сооружении) и раздельные (состоящие из комплекса сооружений); по степени стационарности – на стационарные и нестационарные. Водозаборы для хозяйственного-питьевого и производственного использования функционируют круглый год и, как правило, не прерывают подачу воды [19].

Насосные станции являются ключевым элементом систем водоснабжения, обеспечивающим подачу воды в необходимом объеме и под нужным давлением. Насосы, используемые на различных типах станций, классифицируются по некоторым признакам: по конструкции (горизонтальные, вертикальные, центробежные, осевые), по способу установки и по области применения (станции первого и второго подъема, циркуляционные, повышательные). В зависимости от уровня воды в водозаборе, насосные станции могут быть с положительной или с отрицательной высотой всасывания. Расположение машинного отделения (наземное, полузаглубленное или подземное) определяется особенностями местности и проектными решениями. Надежность водоснабжения и допустимость перерывов в подаче воды определяют категорию насосной станции (I, II или III), каждая из которых имеет свои требования к резервированию оборудования. При возникновении аварии, чтобы не останавливать работу, автоматически включаются запасные агрегаты. Кроме того,

работа оборудования может быть временно остановлена для его ремонта или замены. Чем выше категория надежности станции, тем более строгие требования к ней предъявляются [19].

Транспортирование воды к потребителям осуществляется по водоводам и магистральным водопроводам – протяженным трубопроводам преимущественно большого диаметра (от 300 мм и более), соединяющим отдельные элементы системы водоснабжения.

Основными требованиями, которые предъявляются к водоводам и магистральным водопроводам, являются их надежная и экономичная работа в период нормативного срока службы, что достигается правильным выбором трассы, материала и диаметров труб, а также режима их работы [20]. Для повышения надежности функционирования системы водоснабжения водоводы часто прокладываются в несколько линий (в одну, две или больше). Желательно, чтобы они проходили по возвышенностям, имели минимум искусственных сооружений и были легко доступны для обслуживания и ремонта. Для стабильного водоснабжения между параллельными водоводами делают перемычки, а вдоль трассы и на объектах устанавливают резервуары, компенсаторы и запорную арматуру.

По принципу работы водоводы делятся на напорные, безнапорные и комбинированные. В напорных водоводах вода перекачивается насосами или течет под давлением за счет разницы высот между источником и точкой потребления. Водоводы, использующие насосы, называются нагнетательными, а те, что работают за счет гравитации – гравитационными напорными или самотечно-напорными. Безнапорные водоводы (гравитационные или самотечные) работают с неполным заполнением трубы. Они используются реже, чем напорные, и их применение зависит от перепада высот между началом и концом трассы, рельефа местности и расстояния между точками подачи и отбора воды. Безнапорные трубы дешевле напорных, но необходимость обеспечения определенного уклона может увеличить длину трассы и общую стоимость строительства. Гравитационные водоводы часто встречаются в гористой местности, где вода из источника (каптажа) самотеком поступает к потребителю, расположенному ниже [19, 20].

Водоводы технической и другой непитьевой воды прокладываются, как правило, от водозабора до очистной станции или непосредственно до насе-

ленного пункта, крупного промышленного предприятия или другого объекта. Водоводы питьевой воды осуществляют подачу от накопительных резервуаров чистой воды до водопроводной сети объекта; при этом потребители получают воду через распределительную сеть, а не напрямую из водоводов.

Одними из основных сооружений в системе водоснабжения, гарантирующими хранение запасов воды и обеспечение ее подачи потребителю в необходимом количестве в любое время суток, являются резервуары. Их различают по следующим признакам: назначению; форме в плане (круглые или прямоугольные); высоте расположения (напорные и безнапорные); степени заглубления (подземные, наземные); материалу (железобетонные, стальные, бетонные и т.д.) [19].

В зависимости от назначения резервуары подразделяются на запасные, регулирующие и противопожарные. Запасные резервуары обеспечивают стабильную работу водопроводных систем. Регулирующие емкости способствуют более равномерной работе насосов, уменьшая необходимость в подаче воды в периоды ее наибольшего потребления; таким примером служат водонапорные башни. Противопожарные резервуары, которые часто устанавливаются на промышленных и сельскохозяйственных объектах, создают нужные запасы воды для борьбы с огнем. Резервуары, находящиеся на высоте, функционируют как водонапорные башни; при этом их стоимость ниже, чем у башен. Высоко расположенные напорные резервуары также часто используются для хранения аварийных и пожарных запасов. В отличие от них, безнапорные резервуары обычно выполняют регулирующую функцию на очистных сооружениях и называются резервуарами чистой воды. Они располагаются на границе двух зон системы: равномерной подачи насосами I подъема и неравномерной (ступенчатой) подачи насосами II подъема. Крупные резервуары из монолитного железобетона имеют объем от 50 до 2000 м^3 при диаметре от $4,7$ до $25,4 \text{ м}$ и высоте $3,5$ – $4,5 \text{ м}$. Сборные железобетонные резервуары имеют объем 50 – 3000 м^3 , если обладают цилиндрической формой, и 50 – 20000 м^3 , если их форма прямоугольная. Цилиндрические резервуары с купольным перекрытием могут иметь объем до 600 м^3 ; в регионах с умеренным климатом их заглубляют на половину высоты цилиндрической части, а верхнюю часть покрывают слоем земли толщиной около 1 м .

для теплоизоляции. Резервуары объемом более 600 м³ строятся с плоским перекрытием [19].

Таким образом, класс ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов включает восемь типов, а каждый из них – ряд подтипов и групп экологогеологических систем, охватывающих все их многообразие.

Предложенная систематика ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов может использоваться при составлении карт эколого-геологического зонирования различных территориальных образований (например, администра-

тивных областей, районов и т.д.), а также в ходе инженерно-экологических изысканий и исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ►

В результате выполненной работы можно сделать следующие выводы.

1. На основе учета специфики эколого-геологических систем транспортно-коммуникационных комплексов разработана их структура, отражающая характерные черты их компонентов с выделением технобиоценоза, технобиотопа и технолитотопа, обладающих специфическими особенностями.

2. Предложена систематика эколого-геологических систем транспортно-коммуникационных комплексов, включающая восемь основных типов, разделенных на подтипы и группы, что позволяет охватить все многообразие этих систем.

3. Выявленные особенности структуры и систематики ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов можно рассматривать как общие, которые необходимо учитывать при инженерно-экологических исследованиях и изысканиях на различных территориях. 

Список литературы ►

1. Трофимов В.Т. Эколо-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2009. № 2. С. 48–52.
2. Трофимов В.Т. Экологическая геология: учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2024. 415 с.
3. Мировая экономика: учебник / под ред. А.С. Булатова. М.: изд-во «Экономистъ», 2005. 734 с.
4. Леонович И.И., Пупейко О.В. Сеть дорог Республики Беларусь как составляющая транспортно-логистической системы // Вестник Белорусского национального технического университета. 2009. № 6. С. 71–81.
5. Галкин А.Н., Королев В.А. Классификация эколого-геологических систем Беларуси на основе учета особенностей литотопов и инженерно-хозяйственных объектов // Литасфера. 2023. № 1 (58). С. 98–109.
6. Загорский И.О., Володькин П.П., Рыжова А.С. Транспортная инфраструктура: учебное пособие. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. 228 с.
7. Пильгун Т.В., Осипова Ю.А. Транспортные системы: учебно-метод. пособие: в 2 ч. Минск: БНТУ, 2023. Ч. 1. Инфраструктура грузовых перевозок. 87 с.
8. Ивуть Р.Б., Косовский А.А., Стефанович Н.В. Единая транспортная система и география транспорта: учеб. пособие. Минск: БНТУ, 2009. Дата последнего обращения: 16.05.2025. URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/236>.
9. Пузин Ю.Я., Сафонов С.Л. Основы устройства и эксплуатации космических комплексов: учебное пособие. Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2022. 236 с.
10. Сердюк В.К. Проектирование средств выведения космических аппаратов: учеб. пособие для вузов. М: Машиностроение, 2009. 504 с.
11. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г., Юфин В.А., Яковлев Е.И. Трубопроводный транспорт нефти и газа: учебник (2-е изд., перераб. и доп.). М.: Недра, 1988. 368 с.
12. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы. М.: ГУЛ ЦПП, 1998. 60 с.
13. Абузова Ф.Ф., Алиев Р.А., Новоселов В.Ф., Тугунов П.И., Несговоров А.М. Техника и технология транспорта и хранения нефти и газа: учеб. пособие. М.: Недра, 1992. 320 с.
14. РД 153-39.4-113-01. Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов. М.: АК «Транснефть», ОАО «Гипротрубопровод», 2002. 141 с.
15. Сошников Е.В. Проектирование и эксплуатация нефтеперекачивающих станций: учеб.-метод. пособие. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2020. 51 с.
16. Петров О.Н., Сокольников А.Н., Агровиченко Д.В., Верещагин В.И. Сооружение и эксплуатация насосных и компрессорных станций: учеб. пособие. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2018. 192 с.
17. Бердник А.Н. Компрессорные станции магистральных газопроводов: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. 142 с.
18. Подземные хранилища газа. Назначение и особенности эксплуатации // Отраслевой портал Dprom.online. Дата последнего обращения: 19.06.2025. URL: <https://dpronline.oilgas/podzemnye-hranilishcha-gaza/?ysclid=mc6w9y4s0109846115>.
19. Водопроводные системы и оборудование // Сайт ООО «Роспайп». Дата последнего обращения: 01.07.2025. URL: https://rospipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/vodoprovodnye-sistemy-i-oborudovanie.
20. Магистральный водопровод // Сайт Tak-stroy.ru. Энциклопедия Строительства. Дата последнего обращения: 01.07.2025. URL: <https://tak-stroy.ru/vodoprovod/magistralnyj-vodoprovod>.

References ►

1. Trofimov V.T. Ekologo-geologicheskaya sistema, yevo tipy i polozheniye v strukture ekosistemy [Ecological-and-geological system, its types and position in the ecosystem structure] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya. 2009. № 2. S. 48–52 (in Rus.).
2. Trofimov V.T. Ekologicheskaya geologiya: uchebnik [Ecological geology: a textbook]. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2024. 415 s. (in Rus.).
3. Mirovaya ekonomika: uchebnik [World Economy: a textbook] / pod red. A.S. Bulatova. M.: izd-vo "Ekonomist", 2005. 734 s. (in Rus.).
4. Leonovich I.I., Pupeyko O.V. Set' dorog Respubliki Belarus' kak sostavlyayushchaya transportno-logisticheskoy sistemy [Road network of the Republic of Belarus as a component of the transport and logistics system] // Vestnik Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. 2009. № 6. S. 71–81 (in Rus.).
5. Galkin A.N., Korolev V.A. Klassifikatsiya ehkologo-geologicheskikh sistem Belarusi na osnove ucheta osobennostei litotopov i inzhenerno-khozyaistvennykh ob"ektorov [Classification of ecological-geological systems of Belarus on the basis of the characteristics of lithotopes and engineering-economic facilities] // Litasfera. 2023. № 1 (58). S. 98–109 (in Rus.).
6. Zagorskiy I.O., Volod'kin P.P., Ryzhova A.S. Transportnaya infrastruktura: uchebnoye posobiye [Transport infrastructure: a textbook]. Khabarovsk: Izdatel'stvo Tikhookeanskogo gos. universiteta, 2015. 228 c. (in Rus.).
7. Pil'gun T.V., Osipova Yu.A. Transportnye sistemy: uchebno-metodicheskoye posobiye: v 2 ch. [Transport systems: teaching aid: in 2 parts]. Minsk: BNTU, 2023. Ch. 1. Infrastruktura gruzovykh perevozok [Part 1. Freight transport infrastructure]. 87 s. (in Rus.).
8. Ivut' R.B., Kosovskiy A.A., Stefanovich N.V. Yedinaya transportnaya sistema i geografiya transporta: uchebnoye posobiye [Unified transport system and geography of transport: a textbook]. Minsk: BNTU, 2009. Data poslednego obrashcheniya: 16.05.2025. URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/236> (in Rus.).
9. Puzin Yu.Ya., Safronov S.L. Osnovy ustroystva i ekspluatatsii kosmicheskikh kompleksov: uchebnoye posobiye [Fundamentals of the design and operation of space complexes: a textbook]. Samara: Izdatel'stvo Samarskogo universiteta, 2022. 236 s. (in Rus.).
10. Serdyuk V.K. Proyektirovaniye sredstv vyvedeniya kosmicheskikh apparatov: uchebnoye posobiye dlya vuzov [Design of spacecraft launch vehicles: a textbook for universities]. M: Mashinostroyeniye, 2009. 504 s. (in Rus.).
11. Aliyev R.A., Belousov V.D., Nemudrov A.G., Yufin V.A., Yakovlev Ye.I. Truboprovodnyy transport nefti i gaza: uchebnik (2-ye izd., pererab. i dop.) [Pipeline transport of oil and gas: a textbook (2nd ed., revised and enlarged)]. M.: Nedra, 1988. 368 s. (in Rus.).
12. SNiP 2.05.06-85. Magistral'nyye truboprovody [SNiP 2.05.06-85. Main pipelines]. M.: GUL TSPP, 1998. 60 s. (in Rus.).
13. Abuzova F.F., Aliyev R.A., Novoselov V.F., Tugunov P.I., Nesgovorov A.M. Tekhnika i tekhnologiya transporta i khraneniya nefti i gaza: uchebnoe posobiye [Engineering and technology of transport and storage of oil and gas: a textbook]. M.: Nedra, 1992. 320 s. (in Rus.).
14. RD 153-39.4-113-01. Normy tekhnologicheskogo proyektirovaniya magistral'nykh nefteprovodov [RD 153-39.4-113-01. Standards for the technological design of main oil pipelines]. M.: AK "Transneft", OAO "Giprotruboprovod", 2002. 141 s. (in Rus.).
15. Soshnikov E.V. Proyektirovaniye i ekspluatatsiya nefteperekachivayushchikh stantsiy: uchebno-metodicheskoye posobiye [Design and operation of oil pumping stations: a textbook]. Khabarovsk: Izdatel'stvo DVGUPS, 2020. 51 s. (in Rus.).
16. Petrov O.N., Sokol'nikov A.N., Agrovichenko D.V., Vereshchagin V.I. Sooruzheniye i ekspluatatsiya nasosnykh i kompressornnykh stantsiy: uchebnoe posobiye [Construction and operation of pumping and compressor stations: a textbook]. Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'nyy universitet, 2018. 192 s. (in Rus.).
17. Berdnik A.N. Kompressornyye stantsii magistral'nykh gazoprovodov: uchebnoe posobiye [Compressor stations of main gas pipelines: a textbook]. Khabarovsk: Izdatel'stvo Tikhookeanskogo gos. universiteta, 2019. 142 s. (in Rus.).
18. Podzemnyye khranilishcha gaza. Naznacheniye i osobennosti ekspluatatsii [Underground gas storage facilities. Purpose and operational features] // Otraslevoy portal Dprom.online. Data poslednego obrashcheniya: 19.06.2025. URL: <https://dpronline.oilgas/podzemnye-hranilishcha-gaza/?ysclid=mcd6w9y4s0109846115>. (in Rus.).
19. Vodoprovodnyye sistemy i oborudovaniye [Water supply systems and equipment // Sayt OOO «Rospayp». Data poslednego obrashcheniya: 01.07.2025. URL: https://ros-pipe.ru/tekhn_info/tekhnicheskie-stati/vodoprovodnye-sistemy-i-oborudovanie. (in Rus.).
20. Magistral'nyy vodoprovod [Main water supply] // Sayt Tak-stroy.ru. Entsiklopediya Stroitel'stva. Data poslednego obrashcheniya: 01.07.2025. URL: <https://tak-stroy.ru/vodoprovod/magistralnyj-vodoprovod> (in Rus.).