

УДК 624.131; 504

В.Т. Трофимов¹, В.А. Королев²**МАССИВЫ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ КАК ОБЪЕКТЫ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ³**

В эколого-геологическом отношении песчаная грунтовая толща рассматривается как компонент эколого-геологической системы или биогеоценоза. Исследованы характерные эколого-геологические особенности песчаных массивов. Выделены типы песчаных эколого-геологических систем и описана их структура.

Ключевые слова: песок, песчаный массив, эколого-геологическая система, псаммофилы, псаммофиты, литотоп песчаный, экотоп песчаный, биоценоз песчаный.

The ecological and geological respect dirt sand stratum is considered as a component of ecological and geological systems or biogeocenoses. The characteristic ecological-geological features of sand massifs are considered. Type sand structure of sandy ecological-geological systems are distinguished.

Key words: sand, sand massif, ecological-geological system, psammophiles, psammophytes, sand lithotope, sandy ecotope, sandy biocenosis.

Введение. Пески — один из самых распространенных на Земле типов осадочных горных пород. Их широкое распространение определяет проявляемый к ним большой практический и научный интерес в разных областях знаний: в геологии, прежде всего в литологии, инженерной геологии (грунтоведении и инженерной геодинамике), гидрогеологии, геохронологии, геофизике, геологии полезных ископаемых, а также в географии, почвоведении, строительстве, материаловедении и др. [Королев, Трофимов, 2017].

В инженерно-геологическом отношении песчаные массивы часто характеризуют как грунтовые толщи. Под грунтовой толщей обычно понимают верхнюю 10-метровую часть разреза грунтов, представленную грунтами и почвами различных геоморфологических элементов и находящуюся в зоне активного воздействия (реального или потенциального) инженерных сооружений [Базовые понятия..., 2012].

Массивы песчаных грунтов, традиционно изучаемые в инженерно-геологических целях, рассматриваются как основания и среда для инженерных сооружений. При этом песчаные грунты изучаются как фактор инженерно-геологических условий, как строительный материал или полезное ископаемое. В области грунтоведения установлены многочисленные закономерности формирования состава и строения песков, а также их свойств (физических, физико-химических, физико-механических), важных для инженерно-геологических исследований и изысканий [Королев, Трофимов, 2017].

Однако в эколого-геологическом отношении массивы песчаных грунтов изучены явно недостаточно. Не выявлены эколого-геологические особенности песчаных массивов, а также типы песчаных эколого-геологических систем. Исследованию этих вопросов и посвящена статья.

Эколого-геологические особенности песчаных массивов. Песчаные массивы как объекты эколого-геологических исследований имеют специфические особенности. В эколого-геологическом отношении песчаная грунтовая толща или массив рассматривается как компонент эколого-геологической системы (ЭГС) или биогеоценоза. Под эколого-геологической системой понимается открытая динамическая система, включающая подсистемные блоки — абиотический (включая литосферный) и биотический, а также источники природных и техногенных воздействий, тесно связанные прямыми и обратными причинно-следственными связями, обуславливающими ее структурно-функциональное единство [Теория..., 1997].

В практическом плане — это определенный объем литосферы с находящейся в ней и на ней биотой, включая людей, на который воздействуют природные и техногенные факторы, под их влиянием развиваются современные геологические процессы в названной системе, влияющие на условия жизни биоты в ее рамках. Эта система исследуется как многокомпонентная, включающая породы, подземные воды, нефть и газы, геохимические и геофизические поля и протекающие современные геологические процессы, и влияющая на существование и развитие биоты, в том числе

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, профессор; *e-mail:* korolev@geol.msu.ru

³ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 17-05-00944а).

и человеческого сообщества [Трофимов, 2009; Базовые понятия..., 2012].

Исходя из этого можно конкретизировать эколого-геологические системы, формирующиеся на (в) массивах песчаных грунтов, — *эколого-геологические системы песчаные* (ЭГСП), или *биогеоценозы песчаные*. Их структура, а также вводимые нами новые понятия, показаны на рисунке.

Песчаная ЭГС (или биогеоценоз песчаный), как и любая ЭГС, состоит из двух подсистемных блоков: 1) абиотической подсистемы; 2) биотической подсистемы — биоценоза песчаного, а также влияющих на них источников различных природных и техногенных воздействий (рисунок).

Абиотическая подсистема ЭГС песчаных представлена песчаными литотопом, гидротопом (поверхностными и/или подземными водами песчаного массива), атмотопом (или климатопом — климатические факторы, обуславливающие термовлажностный режим песчаного массива и влияющие, в том числе, на условия жизнеобитания биоты), а также эдафотопом песчаным — почвы, развивающиеся на песчаных грунтах. Эдафотоп песчаный — переходный компонент абиотической и биотической подсистем ЭГСП, поскольку почва является «биокосным» (по В.И.Вернадскому) образованием, включающим как живые, так и неживые субкомпоненты.

Литотоп песчаный может быть представлен как природными песчаными массивами различного генезиса (аллювиального, флювиогляциального, озерного, морского и т.п.), так и техногенными (антропогенными) песчаными массивами (намывными, насыпными, техногенно преобразованными и т.п.). Это важнейшая часть ЭГС, ее литогенная основа.

Биоценоз песчаный в общем случае может формироваться за счет нескольких составляющих — псаммомикробиоценоза, псаммофитоценоза, псаммозооценоза и псаммосоциума, а в частном — за счет нескольких или лишь какой-либо одной из вышеуказанных составляющих. Дадим определения новым понятиям.

Псаммомикробиоценоз — естественное или искусственное сообщество микроорганизмов, экологически связанных с песчаным массивом (литотопом песчаным), существующее в пределах одного биотопа и характеризующееся относительной однородностью видового состава, структурой и системой взаимоотношений микроорганизмов между собой и внешней средой.

Микроорганизмы в псаммомикробиоценозах могут быть представлены как псаммофитами⁴, так и псаммофилами⁵. Из микроорганизмов прокариотов-псаммофилов в песчаных грунтах могут быть распространены бактерии, археи, цианобактерии

(в том числе одноклеточные водоросли), среди эукариотов — низшие водоросли, грибы, а также одноклеточные животные. Диапазон экологических условий, в которых живут и функционируют микроорганизмы в песках, чрезвычайно широк.

Например, в песках пустынь общая численность микроорганизмов-псаммофилов в приповерхностном слое оценена в $6 \cdot 10^8$ клеток/г грунта [Манучарова и др., 2011]. В образцах намывных песчаных грунтов бухты Даяоуань (Китай) обнаружено $9 \cdot 10^8$ клеток бактерий, около 80 м мицелия актиномицет и 25 м грибов на 1 г грунта, общая биомасса составляет 0,3 мг/г.

В песчаных грунтах водоносных горизонтов содержится около 10^8 клеток бактерий-псаммофилов на 1 г грунта. При этом количество метаболически активных клеток в 10–100 раз меньше и резко сокращается с глубиной в верхних 5 м разреза (примерно в 10 раз), затем до изученной глубины (35 м) изменяется слабо [Kolbel-Boelkeetal, 1988].

Псаммофитоценоз — естественное или искусственное сообщество растений, экологически связанных с песчаным массивом (литотопом песчаным), существующее в пределах одного биотопа и характеризующееся относительной однородностью видового состава, структуры и системы взаимоотношений растений между собой и внешней средой.

Растения в псаммофитоценозах могут быть представлены различными псаммофитами — от водорослей и травянистых растений до кустарников и древесных растений. Для растений-псаммофилов песчаный грунт служит вмещающей и питательной средой для корневых систем. Специализация растений-псаммофилов достигла такого совершенства, что, например, некоторые растения-пионеры первого порядка даже отмирают при утере подвижности песков [Гаель, Смирнова, 1999].

Пески и песчаные почвы являются субстратом для многих растений-псаммофилов пустынь и полупустынь, как правило, эти виды растений нетребовательны к влаге и способны переносить длительную засуху. В средней полосе на песках произрастают иные растения, в основном нетребовательные к большому разнообразию питательных веществ, которыми обычно обеднены пески.

Развитие растений-псаммофилов на песках и песчаных почвах сильно зависит от термовлажностного режима и динамики песков. Низкая теплоемкость и высокая теплопроводность песков обуславливают их контрастный термический режим, т.е. быстрое прогревание — быстрое остывание поверхности. Поэтому маловлажностные сухие пески и песчаные почвы теплые, а тяжелые влажностные сырые почвы холодные, теплоемкость последних высокая, а прогреваются они медленнее [Гаель, Смирнова, 1999]. Значительная часть

⁴ *Псаммофиты* — растения (включая низшие формы), произрастающие на песках или в песках.

⁵ *Псаммофилы* — живые организмы (включая микроорганизмы), обитающие в песках.

растений-псаммофитов хорошо приспособлена кдвигающимся пескам, эоловым процессам, дефляции, эрозии и т.п.

Для фитоценозов на песках характерны специфические сукцессии. При зарастании накопивших влагу открытых песков растения-пионеры всегда более гидрофитны, чем растения последующих стадий зарастания песков. И, напротив, с превращением песчаных почв в развеиваемые пески состав растений становится все более мезофитным.

Псаммозооценоз — естественное или искусственное сообщество животных, экологически связанных с песчаным массивом (литотопом песчаным), существующее в пределах одного биотопа и характеризующееся относительной однородностью видового состава, структурой и системой взаимоотношений животных между собой и внешней средой.

Животные в псаммозооценозах могут быть представлены различными псаммофилами — от всевозможных беспозвоночных (червеобразные, членистоногие, ракообразные, насекомые и др.), головохордовых (ланцетники и мн. др.) до позвоночных (амфибии, рептилии, птицы и млекопитающие). Их видовой состав и количество в ЭГС песчаных обусловлены различными экологическими факторами: питательными ресурсами, тепло- и влагообеспеченностью и др.

Псаммосоциум — исторически сложившееся или искусственное сообщество людей, жизнь которых так или иначе экологически связана с песчаным массивом (литотопом песчаным), наложившим определенный отпечаток на формы их хозяйственной и иной деятельности, культуру и взаимоотношения. В качестве примеров псаммосоциума можно указать многие кочевые племена и народности, живущие в пустынях: бедуины Аравии и Африки, берберы Африки, кочевники Средней Азии, аборигены Австралии и т.п. Значительная часть социума древних цивилизаций Египта, Месопотамии и Китая также была связана с пустынями. По пустыням проходили многочисленные караванные торговые пути (в том числе Великий шелковый путь), играющие большую роль в культурных и экономических связях между разными народами и странами. Псаммосоциумы складывались в неблагоприятных экологических условиях. Формирование псаммосоциума в неблагоприятных условиях пустынь проходило под воздействием различных исторических факторов, а в качестве основной причины считается борьба за выживание и вытеснение одних племен другими в менее благоприятные пустынные условия.

В то же время глобальный процесс опустынивания на Земле влиял и влияет на социум, его расселение, уровень хозяйственного развития и т.п. Современное опустынивание южнее Сахары приводит к миграции миллионов людей в южные или северные районы Африки или в Европу, обостряя

миграционный кризис. По этой же причине миграция происходит во многих странах Латинской Америки, юга Азии и др.

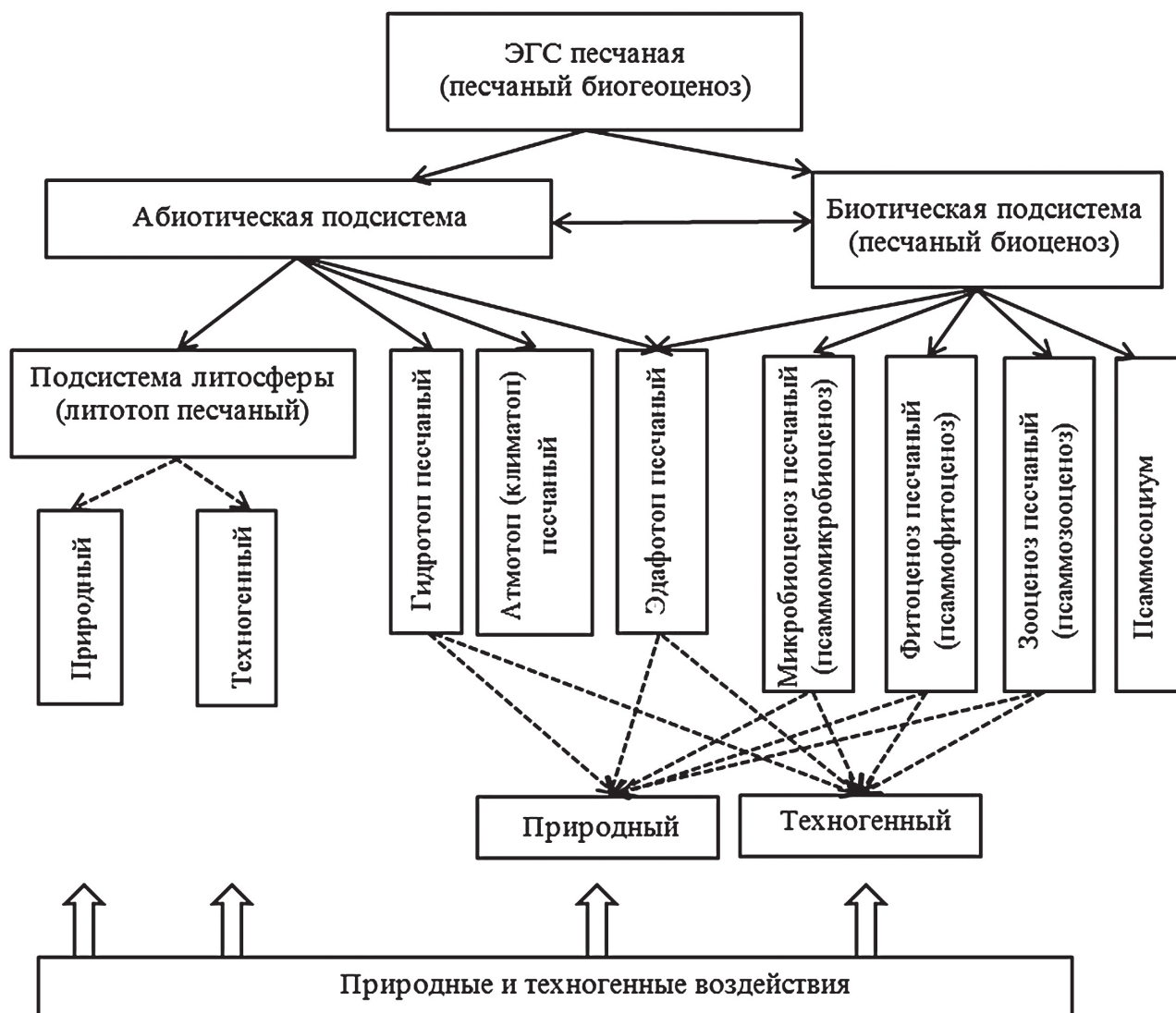
На снове концепции об экологических функциях литосферы [Трофимов, Зилинг, 2002] (главная суть которой сводится к оценке влияния неживого — литосферы — на живое — биоту, включая человечество) эколого-геологический анализ песчаных массивов заключается в оценке влияния этих массивов на биоту и их характеристике как эколого-геологических систем. При этом, анализируя массивы песчаных грунтов как объекты эколого-геологических исследований, необходимо учитывать их важнейшие эколого-геологические черты. Выделим их особенности.

Специфические эколого-геологические особенности песчаных грунтовых массивов обусловлены следующими факторами: эколого-ресурсными, эколого-геохимическими, эколого-геодинамическими, эколого-геофизическими и санитарно-эпидемиологическими. Рассмотрим их подробнее.

Эколого-ресурсные особенности песчаных массивов определяют возможность реализации ресурсной экологической функции литосферы, а в данном случае — песчаных массивов. В ЭГС песчаных эта функция выполняется за счет всех подсистем песчаного биогеоценоза (рисунок).

За счет *литотопа песчаного* формируются: а) ресурсы геологического пространства; б) ресурсы полезных ископаемых; в) вещественно-энергетические ресурсы. При этом ресурсы геологического пространства песчаных ЭГС используются псаммофитами, а также различными микро- и макроорганизмами как среда их обитания (устройство нор, гнезд, убежищ и т.п.). Ресурсы полезных ископаемых, связанные с ЭГС песчаными, обусловлены возможностью использовать пески как важнейший строительный материал, а также с некоторыми специфическими типами других полезных ископаемых, формирующихся в песчаных массивах (нефтяные месторождения и т.п.). Вещественно-энергетические ресурсы ЭГС песчаных обусловлены наличием в песках высокой пористости и аэрируемости (в зоне аэрации), способствующей формированию доступных газовых ресурсов, необходимых аэробным псаммофилам и псаммофитам. В то же время необходимо отметить характерную для песков бедность ресурсными элементами минеральной и азотной пищи для биоты.

За счет *гидротопы песчаного* формируются ресурсы подземных вод, обусловленные наличием в песках высокой пористости и водопроницаемости. Поэтому при наличии водоупора песчаные толщи содержат горизонты подземных вод, рассматриваемые как ресурсы питьевого и/или технического водоснабжения. Водные ресурсы являются необходимым компонентом для существования биоты. В ЭГС песчаных они обусловлены наличием ресурсов воды в пределах капиллярной каймы и



Структура песчаной эколого-геологической системы

ниже, доступной для растений и иных организмов. Этот ресурс формируется и за счет *атмотопа (климатоп) песчаного*, поскольку влагообеспеченность песчаных массивов зависит от климатических факторов и в региональном плане подчиняется широтной и вертикальной зональности. От атмотопа зависит и теплообеспеченность песчаных ЭГС, влияющая на условия обитания биоты. Освоение и обитаемость песков животными-псаммофилами тесно связаны с их тепловлажностным режимом: животные не выносят температуры воздуха более 54–55 °С и тем более температуры поверхности песка свыше 80 °С.

За счет *эдафотоп песчаного* формируются почвенные ресурсы, рассматриваемые как источник плодородия в сельском хозяйстве. Почвы, формирующиеся на песчаных толщах, обладают специфическими особенностями [Гаель, Смирнова, 1999].

И наконец, за счет *биоценоза песчаного* формируются питательные ресурсы для самих организ-

мов, которые обусловлены наличием различных пищевых цепей между продуцентами и консументами в пределах ЭГС песчаной.

Эти и другие эколого-ресурсные факторы, каждый в отдельности и вместе взятые, будучи нередко крайне обостренными, создают противоречия между песчаной средой и живыми организмами. В результате у обитателей песков возникают приспособления, позволяющие преодолевать воздействие среды и жить в ресурсных условиях, казалось бы, исключающих возможность жизни [Гаель, Смирнова, 1999].

Эколого-геохимические особенности песчаных массивов определяют возможность реализации геохимической экологической функции литосферы, а в данном случае — песчаных массивов. В ЭГС песчаных эта функция также выполняется за счет всех подсистем песчаного биогеоценоза (рисунок).

Так, например, за счет литотопа песчаного реализуется возможность относительно высокой геохимической миграции различных жидких,

газообразных и биотических компонентов как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, что обусловлено высокими значениями коэффициента проницаемости и коэффициента фильтрации песков и их низкой сорбционной способностью.

При этом в пределах зоны аэрации наблюдается в основном вертикальная миграция компонентов (воды, газов, растворенных компонентов и т.п.). Испарение влаги с песчаной поверхности приводит к кристаллизации водорастворимых солей на фронте испарения, особенно характерной для районов с высоким индексом сухости.

Кроме того, геохимическая экологическая функция ЭГС песчаных обусловлена потенциальным наличием засоленности песков, особенно присущей пескам аридной зоны и обусловленной, в том числе и зонально-климатическими факторами (песчаным климатопом). В связи с этим рассматриваемая функция также определяется потенциальной возможностью формирования в песчаных грунтовых толщах специфических геохимических барьеров в зависимости от типа засоления (хлоридное, сульфатное, бикарбонатное и т.п.), играющих важную экологическую роль на пути миграции различных компонентов.

Эколого-геодинамические особенности песчаных массивов определяют возможность реализации геодинамической экологической функции литосферы, а в рассматриваемом случае — песчаных массивов, в пределах которых формируются специфические экзогенные геологические процессы, влияющие на экосистемы. В структуре ЭГС песчаных они формируются в основном за счет песчаных литотопа и атмосфера.

В эколого-геодинамическом отношении рассматриваемые особенности обусловлены:

1) потенциальным развитием на территориях распространения песчаных грунтовых толщ эоловых процессов, влияющих на формирование, состояние и деградацию природных экосистем, а также их биоразнообразие;

2) в региональном плане — подчиненностью районов распространения эоловых процессов климатической зональности;

3) влиянием эоловых процессов (эоловый перенос, движущиеся пески и т.п.) на урбанизированные экосистемы и социумы, вплоть до их уничтожения;

4) отрицательным влиянием эоловых процессов на инфраструктуру урбанизированных экосистем и инженерные сооружения;

5) положительным влиянием песчаных пляжей на подавление береговой абразии и их использованием для систем береговой инженерной защиты.

Можно привести множество негативных исторических примеров гибели городов и даже целых цивилизаций от наступающей пустыни, когда под

слоем песка оказывались дома, дороги, сельхозугодья и т.п. (Древний Египет, Месопотамия, Харахото и др.). Но и в наше время подобные явления не являются исключением, яркий пример — город Кольманскоп в пустыне Намиб (Намибия), который еще 100 лет назад процветал и был мировым центром по добыче алмазов, а сейчас превратился в покинутый город-призрак, засыпанный песком.

Эколого-геофизические особенности песчаных массивов определяют возможность реализации геофизической экологической функции литосферы, а в рассматриваемом случае — песчаных массивов, в пределах которых формируются специфические геофизические поля, влияющие на экосистемы. Указанные особенности изучены в наименьшей степени.

В эколого-геофизическом отношении они прежде всего обусловлены влиянием песчаных грунтовых толщ на формирование природных аномалий геофизических полей (теплового, электромагнитного и др.) вследствие наличия у песков специфических параметров теплофизических, электрических и других свойств.

Санитарно-гигиенические особенности песчаных массивов заключаются в наличии в пределах ЭГС песчаных определенных факторов, важных в санитарно-гигиеническом отношении.

Для ЭГС песчаных они обусловлены:

1) потенциальным наличием в песках пляжей, используемых в курортно-рекреационных целях, патогенных микроорганизмов, что особенно актуально при массовом скоплении отдыхающих;

2) отрицательным влиянием на организмы (включая человека) цианобактерий (синезеленых водорослей), содержащихся в значительном количестве в песках морских побережий.

Например, по результатам обследования около 50 калифорнийских песчаных пляжей в песках было обнаружено около 1 тыс. таксонов микроорганизмов [Voehn et al., 2014]. При этом в пляжных песках выявлены фекально-индексные организмы-спаммофиты, являющиеся непатогенными микроорганизмами, используемыми для выявления степени фекального загрязнения. Они, как правило, присутствуют в пляжном песке в гораздо большем количестве, чем патогенные микроорганизмы, и легко выделяются, идентифицируются и подсчитываются. Фекально-индексные микроорганизмы, отмеченные на пляжах, включают колиформы (собственно колиформы, термостойкие колиформы и кишечную палочку), кишечные энтерококки, бактериофаги и клостридии [Guidelines..., 2003].

Но наряду с этим было установлено, что ряд обнаруженных в песке родов и видов микроорганизмов, которые могут встретиться в результате контакта человека с песком, являются для него потенциально патогенными. Вследствие этого высказывалась обеспокоенность тем, что пляжный песок может выступать в качестве резервуара или

источника развития инфекций [Mendes et al., 1997; Nestor et al., 1984; Roses Codinachs et al., 1988].

В ряде морей (Балтийское, Северное и др.) наблюдаются периодические вспышки размножения цианобактерий, фиксируемого в виде «цветения воды». При этом резко увеличивается их количество и в прибрежных песках. Токсичные вещества, содержащиеся в цианобактериях, могут попадать в водоросли и по пищевым цепям в другие морские организмы, а также к человеку, вызывая отравления [Guidelines..., 2003].

Типы природных эколого-геологических систем песчаных. На основе вышерассмотренной структуры ЭГС песчаной (рисунок) можно предложить систематику ее типов, показанную в таблице.

Все многообразие природных эколого-геологических систем песчаных можно свести к двум основным типам: сухопутным и подводным (таблица). В перечне наиболее распространенных природных литотопов песчаных, обусловленных песчаными грунтовыми толщами, следует выделять следующие.

I. Среди *сухопутных* — литотопы песчаные (таблица):

- речных террас, сложенных песчаными аллювиальными отложениями;
- морских террас, сложенных песчаными морскими отложениями;
- песчаных водоразделов и долин, сложенных флювиогляциальными песчаными отложениями;
- пустынь и полупустынь, сложенных преимущественно эоловыми песчаными отложениями;
- песчаных кор выветривания, сложенных элювиальными отложениями;

f) прибрежных пляжей, сложенных морскими песчаными отложениями;

g) территорий распространения вулканогенно-осадочных песчаных отложений.

II. Среди *аквальных* (подводных) — литотопы песчаные:

- донных песчаных аллювиальных отложений постоянных водотоков (рек, ручьев);
- донных песчаных озерных отложений;
- донных морских отложений.

Типы природных эколого-геологических систем песчаных. Для каждого из перечисленных литотопов характерен свой гидротоп песчаный (таблица). Так, для сухопутных литотопов песчаных могут выделяться гидротопы зоны аэрации и гидротопы подземных вод. Последние могут подразделяться на различные подтипы в соответствии с особенностями грунтовых вод, количеством водоносных горизонтов, гидрохимическим составом и динамикой подземных вод.

Кроме того, каждая из вышеперечисленных эколого-геологических систем, обусловленных песчаными грунтовыми толщами, может формироваться в разных условиях тепло- и влагообеспеченности, подчиняющихся климатической зональности. В связи с этим их необходимо подразделять по крайней мере на подтипы песчаных аэротопов, развитых на территориях: 1) с положительными температурами; 2) с сезонным промерзанием грунтов и 3) с многолетнемерзлыми песчаными породами.

Эдафотопы песчаные в пределах рассматриваемых типов ЭГС песчаных могут быть в той или иной степени развиты (как, например, на аллювиальных или флювиогляциальных литотопах

Тип ЭГСП	Тип литотопа песчаного	Гидротоп песчаный	Аэротоп песчаный	Эдафотоп песчаный	Преобладающий биоценоз песчаный
Сухопутный	речных террас	а) подземных вод; б) зоны аэрации	зональной тепло- влагообеспеченности	развитый	сухопутный псаммофитоценоз
	морских террас			развитый	то же
	флювиогляциальных толщ			развитый	то же
	эоловых толщ пустынь и полупустынь	полного водонасыщения	зональной тепло- влагообеспеченности	отсутствует или слабо развитый	сухопутный псаммозооценоз
	кор выветривания			отсутствует или слабо развитый	сухопутный псаммофитоценоз
	прибрежных пляжей			отсутствует	сухопутный псаммомикробиоценоз
	вулканогенно-осадочных толщ			отсутствует или слабо развитый	сухопутный псаммофитоценоз
Аквальный (подводный)	донных аллювиальных толщ	полного водонасыщения	зональной тепло- обеспеченности	отсутствует	пресноводный псаммомикробиоценоз, псаммофито- и зооценозы
	донных озерных толщ				пресноводный псаммомикробиоценоз, псаммофито- и зооценозы
	донных морских толщ				морской подводный псаммомикробиоценоз, псаммофито- и зооценозы

песчаных), а могут и отсутствовать (как, например, в пустынях).

Что касается биотопов песчаных, то их состав определяется всем комплексом вышеперечисленных факторов и подсистем, составляющих ЭГС. Среди них можно выделить два основных типа: сухопутные и подводные, а среди последних — пресноводные и солоноводные (морские). В пределах ЭГС песчаных могут формироваться и псаммомикробиоценозы, и псаммофитоценозы, и псаммозооценозы; они могут существовать все вместе, а могут присутствовать и по отдельности — это зависит от особенностей данной ЭГС песчаной.

Наряду с вышеуказанными типами природных ЭГСП могут быть выделены и их соответствующие техногенные аналоги в зависимости от оказываемых на ЭГСП видов антропогенных воздействий и масштабов искусственного преобразования этих систем.

Таким образом, массивы песчаных грунтов представляют собой сложные и специфические

объекты для эколого-геологических исследований, в ходе которых необходимо учитывать их важнейшие эколого-геологические особенности. В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

Выводы. 1. Обоснована структура эколого-геологических систем песчаных (биогеоценозов песчаных).

2. Выделены новые понятия, раскрывающие структуру ЭГС песчаных (псаммофитоценоз, псаммозооценоз, псаммосоциум и др.), и даны их определения.

3. Установлены основные особенности ЭГС песчаных, обуславливающие реализацию экологических функций: ресурсной, геохимической, геодинамической, геофизической.

4. Предложена систематизация типов ЭГС песчаных на основе анализа составляющих их абиотической и биотической подсистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии. 280 основных терминов / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: ОАО Геомаркетинг, 2012. 320 с.

Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.

Королев В.А., Трофимов В.Т. История инженерно-геологического изучения песков в СССР и Российской Федерации // Инженерная геология. 2017. № 1. С. 4–19.

Манучарова Н.А., Власенко А.Н., Менько Е.В. Специфика хитинолитического микробного комплекса в почвах, инкубируемых при различных температурах // Микробиология. 2011. Т. 80, № 2. С. 219–229.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 368 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: Учебник. М.: ЗАО Геоинформмарк, 2002. 415 с.

Boehm A.B., Yamahara K.M., Sassoubre L.M. Diversity and transport of microorganisms in Intertidal sands of the

California Coast // Appl. and Environm. Microbiol. 2014. Vol. 80 (13). P. 3943–3951.

Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1. Coastal and fresh waters. Geneva: World Health Organization, 2003. 220 p.

Kolbel-Boelke J., Anders E.-M., Nehr Korn A. Microbial communities in the saturated groundwater environment. II. Diversity of bacterial communities in a Pleistocene sand aquifer and their *in vitro* activities // Microb. Ecol. 1988. Vol. 16, N 31.

Mendes B., Urbano P., Alves C. et al. Sanitary quality of sands from beaches of Azores islands // Water Sci. and Technol. 1997. Vol. 35, N 11–12. P. 147–150.

Nestor I., Costin-Lazar L., Sovrea D., Ionescu N. Detection of enteroviruses in sea water and beach sand // Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene Abteilung 1. 1984. Bd. 178, N 5–6. S. 527–534.

Roses Codinachs M., Isern Vins A.M., Ferrer Escobar M.D., Fernandez Perez F. Microbiological contamination of the sand from the Barcelona city beaches // Revista de Sanidad e Higiene Publica. 1988. Vol. 62, N 5–8. P. 1537–1544.

Поступила в редакцию
25.08.2017