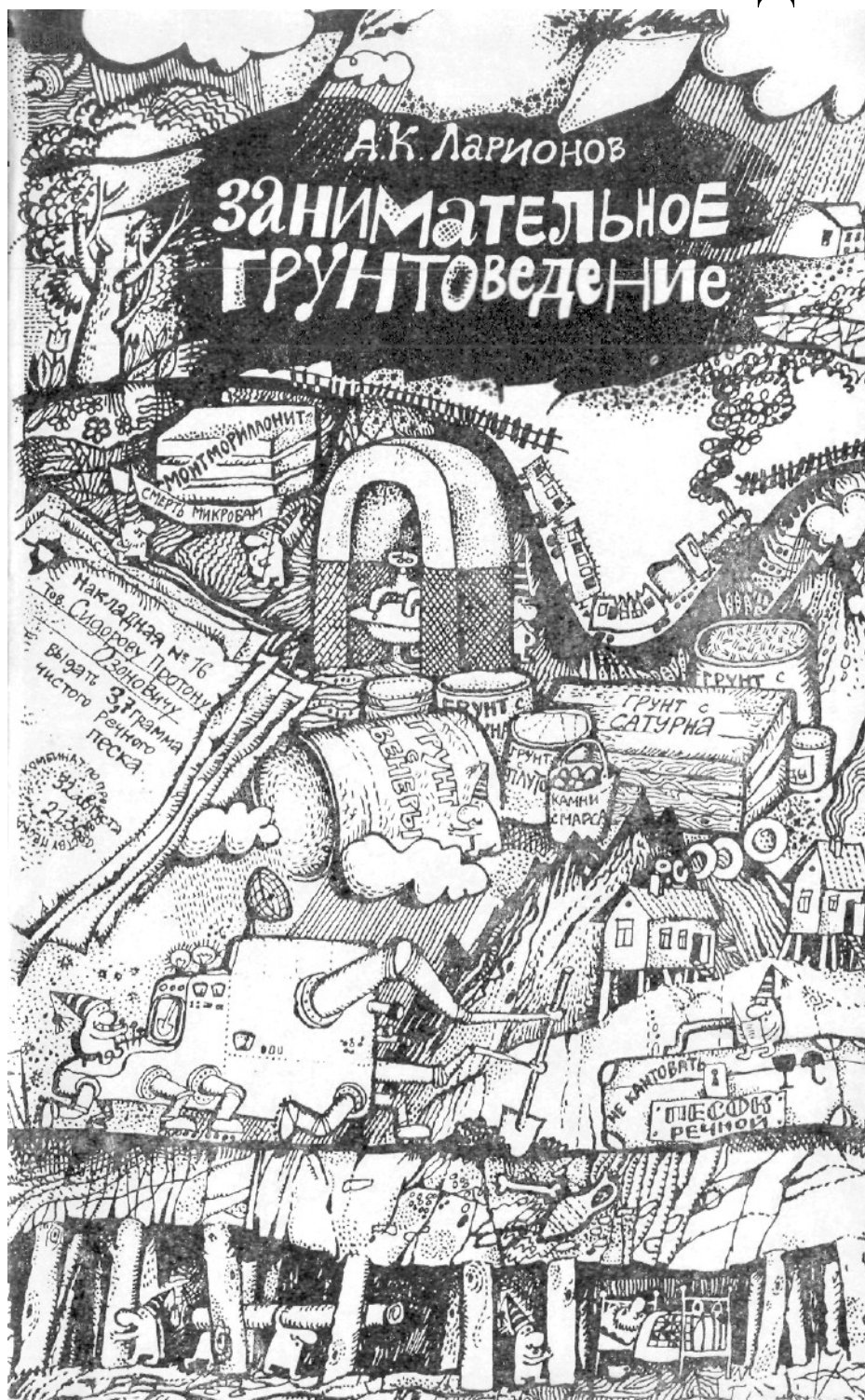


Анатолий Константинович Ларионов

ЗАНИМАТЕЛЬНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ



Рецензент — канд. геол.-минер. наук *Е. М. Пашкин* (МГРИ)

© Издательство «Недра», 1984

Предисловие

«Занимательное грунтоведение» задумано автором как третья книга, повествующая о новых разделах геологии, сформировавшихся и развившихся в XX в [Две предыдущие книги — «Занимательная инженерная геология» и «Занимательная гидрогеология» — вышли в издательстве «Недра» соответственно в 1974 и 1979 гг.].

В ней идет речь о грунтоведении — науке, еще сравнительно малознакомой широкой публике.

Изучение грунтов имеет большое значение в выполнении целого ряда задач, поставленных XXVI съездом КПСС. Так, их исследование необходимо для решения проблемы развития железнодорожных и автодорожных магистралей, освоения морского шельфа, возведения тепловых, атомных и гидроэлектростанций, сельскохозяйственной мелиорации, промышленного и гражданского строительства, а также для других целей.

Задача книги — в занимательной форме рассказать читателю об этой части инженерной геологии и постараться возбудить к ней интерес; показать внутренние причины и движущие силы ряда природных явлений и процессов, встречающихся в повседневной жизни; познакомить с особенностями грунтов, определяющих решение многих вопросов освоения земной коры для нужд человечества.

Грунтоведение в настоящее время составляет важнейшую часть комплекса наук, объединяемых инженерной геологией. Поэтому в тексте неизбежна встреча с некоторыми общими вопросами, частично рассмотренными в ранее вышедшей книге автора «Занимательная инженерная геология» [8].



В старинной русской сказке повествуется о том, что претендентам на руку царевны было предложено ответить на три вопроса. Первый из них: «Без чего человек не может жить?»

Выступил сказочно богатый принц с Востока и сказал: «О, великий царь, без золота и алмазов жить на свете нельзя».

Принц с Запада утверждал, что существование царства невозможно без железа и меча.

Третий претендент уверял: «Жизни не может быть без царя».

В конце концов, вышел из толпы простой, крестьянский паренек Иванушка и дал правильный ответ: «Жить нельзя без воды, воздуха и земли». Мудрецы согласились с ним.

На второй вопрос: «Чего больше всего на Земле?» высокородными гостями были высказаны разные мнения. Однако верным оказался лишь ответ Иванушки: «На Земле больше всего капель воды и зерен песка и глины».

Последний вопрос гласил: «Что является нашим домом?» Вспоминали все: и роскошные дворцы, и неприступные крепости, и даже бедные хижины. Один Иванушка сказал: «Наш дом — Земля. На ней мы рождаемся, живем и умираем».

Мудрость ответов Иванушки очевидна. Все живое на Земле помещается в экосфере (рис. 1). Если перевести это греческое слово, то «*oikos*» означает — дом, жилище. Сама эта сфера, или оболочка, жизни достаточно тонка. Она включает нижний слой атмосферы, водную оболочку и верхнюю часть земной коры.

Важнейшей составляющей экосферы является поверхностная часть земной коры. Здесь развиты почвы, которые дают пищу человечеству. Мы живем и работаем на поверхности Земли, сложенной

различными грунтами — горными породами. Можно образно сказать, что грунты служат полом нашего общечеловеческого дома. Именно они несут бесчисленные жилые здания, заводы, дороги, плотины... В них мы строим метро и склады, из них черпаем материалы для строительства.

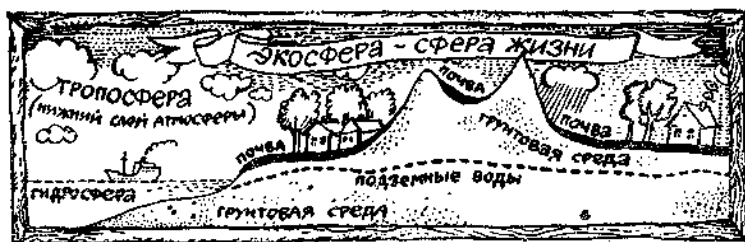


Рис. 1. Экосфера — сфера жизни

Что же такое грунт? Напрашивается естественный вопрос: «Зачем называть один и тот же камень то горной породой, то грунтом?»

Давайте разберемся. Дело в том, что понятие «грунт» появилось в России во времена Петра I. Тогда делались первые попытки соединить каналом Волгу с Балтийским морем и началось строительство новой столицы государства российского — Санкт-Петербурга. Этот термин понравился, был быстро подхвачен строителями и вошел в обиход.

После Великой Октябрьской социалистической революции наша Родина превратилась в обширную стройку: начали создаваться электростанции, новые города, масса предприятий, железные и автомобильные дороги, рукотворные моря. Возникла острая необходимость в широком освоении верхней части земной коры. Потребовалось познать многое из того, чего раньше не знали о составе, строении и связанных с ними свойствах земных слоев.

Еще в двадцатые годы было уточнено, что понимать под словом «грунт». Теперь мы называем грунтом любые образования, слагающие поверхность. Это чаще всего горные породы, осадки морей, озер и рек, а уже потом — разные искусственные материалы, начиная от шлаков, зол, строительного мусора и кончая мусором свалок, образованных бытовыми и промышленными отходами.

В геологии есть науки (они носят названия петрография, минералогия, литология), изучающие главным образом твердую минеральную часть горных пород.

В отличие от них молодая наука, названная «грунтоведением», исследует грунты как образования, состоящие из твердой, жидкой и газообразной частей. В ней горные породы изучаются как среда, в которой живет и на которой строит человек.

Конечно, в грунтоведении широко используются достижения петрографии, минералогии, литологии. Однако главное внимание уделяется специальному изучению свойств и особенностей грунтов, которые нужно знать, чтобы использовать их для нужд человека. Таким образом, грунтоведение является наукой, изучающей грунты как важнейшую часть среды обитания человека. Но это еще не все. Грунтовед ищет и находит пути изменения их свойств, он разрабатывает мероприятия по сохранению природной грунтовой среды.

Грунтоведение своими глубокими корнями уходит в геологические, физико-математические и современные технические отрасли знания, поэтому его развитие и началось в XX в., когда эти отрасли достигли соответствующего уровня.

ПРИЧИНА КАТАСТРОФ — ГРУНТЫ

Калифорния — жемчужина Соединенных Штатов Америки. Здесь живописные тихоокеанские берега покрыты буйной субтропической растительностью, а склоны невысоких Береговых гор, в некоторых местах буквально спускающихся в океан, приятно разнообразят и украшают местность. Эти горы влияют на климат района, задерживая часть влажных масс воздуха,двигающихся на континент с океанских просторов.

Лос-Анджелес — один из крупнейших культурных и промышленных центров Калифорнии. Сельское хозяйство, развитое в районах, окружающих этот город, основано на орошаемом земледелии. Лос-Анджелес серьезно страдает из-за сухости климата и недостатка питьевой воды. В настоящее время он получает воду более чем по 400-километровому акведуку из оз. Оуэне и р. Колорадо.

Поэтому становится понятным стремление к созданию в районе искусственных водохранилищ. Одно из них было образовано путем постройки ПЛОТИНЫ Сент-Френсис, перегородившей узкий Сан-Францисский каньон. Место было выбрано удачно. Бетонная плотина длиной 213 м преградила путь воде — и возникло водохранилище глубиной до 60 м. Но радость была непродолжительной. Плотина просуществовала менее года. В мартовскую ночь неожиданно раздался грохот и без всяких видимых причин правая и левая части сооружения обрушились. В образовавшиеся разломы хлынул мощный поток воды. Возникшая волна высотой более 25 м, сметая все на своем пути, понеслась по долине. Вода сносила фермы, дома и другие постройки. Обломки плотины были обнаружены на километр ниже первоначального положения. Эта катастрофа привела к гибели более 400 человек и принесла убытки, превосходящие 11 млн. долларов.

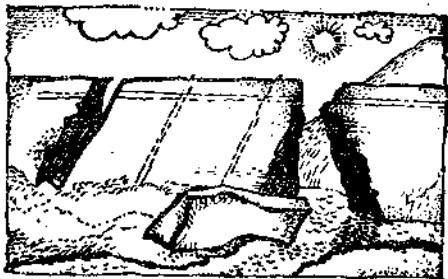


Рис. 2. Разрушение плотины Аустина

Причиной ее была ошибка в оценке грунтов, на которых стояла плотина. В основании плотины лежала толща конгломератов (сцементированной обломочной породы) и трещиноватых сланцев. И те, и другие обладали высокой водопроницаемостью. К этому еще прибавилась неправильная оценка свойств конгломератов. В сухом состоянии они казались прочными и твердыми. Когда же в них попала вода, они превратились в рыхлое, скользкое скопление гравия, гальки, глины и песка.

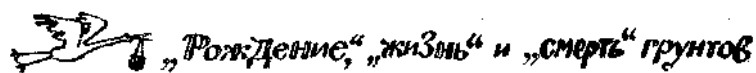
Строительная летопись пестрит описаниями тяжелых аварий плотин. Катастрофа Бузейской плотины в Вогезах (Франция) унесла 150 жизней, поток на своем пути полностью уничтожил четыре деревни. Причина этой аварии тоже заключалась в ошибочной оценке свойств глины, лежавшей в основании сооружения. В результате под действием воды грунт размягчился, и плотина сползла по мягкому ложу вниз по уклону долины.

Бетонная плотина у р. Аустина в Пенсильвании (США) просто рухнула. Образовавшийся при этом поток привел к гибели около 100 человек. Как удалось установить, основной причиной катастрофы оказалась неправильный учет водопроницаемости песчаников и размягчения глинистых сланцев. В итоге хлынувшая по порам и трещинам пород вода разрушила грунт и привела к несчастью (рис. 2).

После второй мировой войны самая крупная катастрофа в Европе связана с разрушением плотины Мальпасе. Она была построена в Провансе около г. Фрежюса (Франция). Высота сооружения 66,5 м. Катастрофа произошла в 1959 г. после сильных затяжных дождей. В ночное время плотина сдвинулась и бешеный водоворот разорвал ее. Обломки — многотонные блоки — были увлечены водой на сотни метров вниз по долине. Образовавшийся поток ворвался в селения и городок, расположенные по берегам. Люди, мирно спавшие в своих домах, были застигнуты врасплох. В результате число жертв оказалось более 1000 человек. Причины случившегося изучал ряд комиссий. Был даже суд над фирмой и автором проекта. Но все закончилось их оправданием. Автору этой книги удалось побывать на месте катастрофы. Небольшой осмотр показал, что в этом случае она была связана с недоучетом сланцеватости и трещиноватости грунтов, на которых была построена плотина.

Нередки случаи, когда недостаточный учет свойств грунтов приводит к разрушению жилых зданий и промышленных сооружений.

Все эти примеры говорят о том, что грунты требуют к себе серьезного отношения и не прощают легкомысленности.



Растения и живые существа рождаются, затем наступает детство, зрелость и, наконец, приходит старость. Жизненный цикл завершается смертью. Однако после нее организмы не исчезают

бесследно из экологической системы, а служат пищей для других микроорганизмов и растений, давая новую жизнь.

Законы диалектики неумолимо действуют и в неорганической природе. Грунты — горные породы зарождаются и претерпевают различные изменения, проходя своеобразные стадии «детства», «зрелости» и «старости». В конечном счете они исчезают, образно говоря, «умирают», но вещество, их слагающее, не исчезает, а, изменяясь, дает начало новым породам.

Конечно, понятия «рождение», «детство», «зрелость», «старость» и «смерть» в применении к горным породам не имеют биологического значения, и мы применяем их условно. Они лишь подчеркивают стадийность и направленность истории развития грунтов.

Продолжительность жизни живых организмов и растений весьма мала. Она колеблется всего от минут до десятков и редко сотен лет. Если же мы обратимся к оценке длительности существования («жизни») горной породы, то ее приходится измерять сотнями тысяч, миллионами и даже миллиардами лет.

Так, возраст распространенных в южной части СССР лёссовых грунтов колеблется от 1 тыс. до 2 — 3 млн. лет. Меловые грунты, встречающиеся в Брянской, Воронежской, Харьковской, Белгородской и других областях нашей страны, имеют более солидный возраст: 100 — 150 млн. лет.

Несравнимо более древними являются очень прочные скальные грунты — железистые кварциты. Они появились на свет в далекой тьме веков — более миллиарда лет назад.

Конечно, есть «свежие» грунты, которые образуются буквально на наших глазах. Это прежде всего естественные осадки морей и озер. Искусственные грунты, создаваемые из бытовых или промышленных отходов, формируются каждый час, каждый день.

Если бы можно было окинуть одним взором поверхность нашей планеты, то перед нами раскинулись бы широкие равнины, могучие горы, то плавные, то бурные реки, гладь озер и грандиозные пространства морей и океанов. Не менее разнообразны и недра Земли, и климат поверхности нашей планеты, который меняется от арктических морозов до жары экваториального пояса.

Все это порождает многообразие путей «рождения» и «жизненных дорог» горных пород.

Важное место среди них занимает группа скальных грунтов — горных пород, образовавшихся путем застывания и кристаллизации огненного расплава, называемого магмой. Так образуются магматические породы — самые прочные и «долговечные» грунты.

Такие их представители, как граниты, диориты, габбро, базальты и другие, рождаются, образно говоря, в огне. Из глубоких недр по трещинам в земной коре магма с огромной силой выдавливается вверх. В одних случаях расплавленная огненная масса застревает на какой-то глубине, не пробившись к поверхности. Тогда под покровом вышележащих толщ, как под одеялом, процесс остывания и кристаллизации расплава идет очень медленно. Образуются полнокристаллические массивные породы (например, граниты). Минеральные зерна в них видны невооруженным глазом.

Если же расплавленная масса все же проникает на поверхность, то охлаждение идет так быстро, что ее кристаллизация не успевает завершиться. Образуются своеобразные породы: базальты, липариты и др. Они отличаются мелкокристаллическостью, твердостью и прочностью. В них часто можно встретить стекло (магму, не успевшую превратиться в кристаллы).



Рис. 3. Вот во что превращаются скальные массивы при выветривании

Время течет, образовавшиеся скальные магматические породы на земной поверхности начинают «стариться». Их день за днем точат и разрушают природные воды, солнце и мороз, температурные колебания, корни растений, микроорганизмы. Вначале появляются первые морщины — трещины. Начинают изменяться минералы. Эти процессы идут тысячи, сотни тысяч, миллионы лет. Мощные скалы дробятся, превращаясь в кучи обломков (рис. 3). Но процессы разрушения идут дальше, образуются все более мелкие зерна, а они в свою очередь, превращаются в тонкие частицы. Эти

новообразования под действием силы тяжести скользят по склонам, подхватываются ветром, дождевыми и снеговыми водами и переносятся часто на большие расстояния. В конечном счете значительная часть частиц бывших скальных пород попадает в речные потоки и сносится в моря и океаны. Задерживаясь в тех или других местах, обломки и частицы постепенно накапливаются, образуя пласты. К ним также добавляются новообразованные минералы — результат деятельности животных, растений и химических процессов. Так рождаются новые породы — грунты: пески, глины, суглинки, известняки и др. Их геологи назвали осадочными породами. Получается, что «смерть» одних пород ведет к «рождению» новых образований.

Проходят следующие сотни тысяч, миллионы лет и во впадинах постепенно накапливаются тысячеметровые толщи осадочных пород. Под их тяжестью прогибается дно морей. Все новые и новые массы частиц стремятся в эти впадины. Так формируются морские осадочные породы (глины, пески, суглинки). В их образовании также принимают участие морские организмы и химические процессы.

Слои снесенного материала, оказавшиеся под мощными толщами осадков, испытывают большое давление. Достаточно сказать, что под весом километрового слоя оно достигает 20 МПа и более. В глубине этих толщ благодаря теплу недр Земли повышается температура. Под действием высокого давления и тепла вещество начинает изменяться (перекристаллизовываться). А тут еще проявляется беспокойная жизнь земной коры, ее движения (так называемые тектонические) приводят к дальнейшему нарастанию высоких давлений и температур. И тогда рождаются новые скальные грунты — горные породы, получившие в геологии наименование метаморфических (измененных). Они в отличие от осадочных пород обладают значительной прочностью и твердостью. В качестве примера метаморфических пород можно назвать гнейс, кварцит, сланцы, мрамор и многие другие. Характерной чертой ряда из них является сланцеватость (сланцы, гнейс).

Время идет. Мощные горообразовательные процессы постепенно сминают эти породы в складки и поднимают их из недр земной коры на поверхность. И вот метаморфические и осадочные породы становятся опять доступными для воздействия все тех же сил: воды, ветра, мороза, солнца и т. д. Их ждет та же судьба, что и магматические породы: «старение», разрушение и «смерть» — переход в новые образования.

Рождение некоторых осадочных грунтов скального типа (известняков, доломитов, гипсов) связано с деятельностью организмов и химическими процессами, протекающими в различных водоемах. Но и их ждут те же изменения и разрушения, когда они оказываются на дневной поверхности или под воздействием подземных вод. Чаще всего в этих породах процессы разрушения протекают быстрее, чем «старение» магматических и метаморфических образований.

Таким образом, магматические, метаморфические и осадочные горные породы вечно находятся в процессе изменения. Одни из них только что «рождаются», другие уже «стареют», а третьи «умирают».

В грунтоведении изучается современное состояние пород, но его невозможно оценить без учета истории грунтов, их путей развития. На каждом этапе процесса изменения порода приобретает определенные свойства. Сыпучий песок под действием природных растворов превращается в прочный песчаник, который может, в свою очередь, превращаться в кварцит или гнейс — очень прочные образования. В геологии процесс превращения рыхлых пород в прочные (песок — песчаник) получил название литификации (греч. lithos — камень). Когда грунтовед изучает грунты, он старается выяснить степень их литификации, по которой можно судить о ряде свойств породы.

БЕСКОНЕЧНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ

Как-то древнегреческого философа Сократа спросили, кто самый великий ваятель прекрасного? Ни на секунду не задумавшись, он ответил: «Природа».

Да, природа непрерывно создает новые формы и разрушает старые. Поэтому вечный процесс образования и превращений магматических, осадочных и метаморфических пород в конечном счете порождает бесконечное разнообразие грунтов.

Для того чтобы в них разобраться, их нужно классифицировать. В науке вообще нельзя обойтись без строго продуманной классификации предметов и процессов. Понятно, что и в грунтоведении должна существовать серьезно обоснованная система разделения грунтов.

Было сделано много разных предложений и классификационных схем. С течением времени они все более и более совершенствовались и обосновывались. Свою лепту внесли такие выдающиеся советские ученые, как Ф. П. Саваренский и Е. М. Сергеев, В. А. Приклонский, В. В. Охотин, М. М. Филатов и многие другие.

Первое, что бросилось в глаза исследователям, это существование среди массы пород двух больших групп: прочных (скальных) и рыхлых грунтов. Главной особенностью скальных грунтов является присутствие в них жестких связей между частицами. Поэтому их называли «породами с жесткими связями». Рыхлые же грунты либо вообще не обладают связями между частицами, либо эти связи слабые.

Но этого оказалось, конечно, недостаточно.

Поэтому следующей важной ступенью в развитии классификации явилось выделение генетических типов (по происхождению). Так, среди скальных грунтов с жесткими связями были выделены магматические, метаморфические и осадочные породы.

Рыхлые грунты (без жестких связей) были также подразделены на осадочные разности и почвы. Но осадочные породы могут образовываться в разных условиях, поэтому нужно было уточнить их генетическое подразделение. Были выделены морские (образовавшиеся в море), речные (их называют также аллювиальными), эоловые (образованные действием ветра), моренные и водно-ледниковые (результат деятельности ледников и талых вод) и другие отложения.

Еще более улучшило разделение обломочных (рыхлых) грунтов выделение среди них двух групп по характеру связей между частицами: несвязных (пески, галечники, гравий) и связных (глинистые, лёссовые).

Казалось бы, получено достаточно дробное подразделение грунтов. Но это не совсем так. Например, в природе встречаются самые различные глинистые породы. Сказать только, что это глинистый грунт — еще далеко не достаточно.

Тогда на помощь призвали структурные особенности грунтов. Они были положены в основу одной из первых классификаций рыхлых осадочных грунтов. В ней грунты разделили по содержанию частиц разных размеров. Так появились пески (мелко-, средне- и крупнозернистые), супеси, суглинки (легкие, средние и тяжелые), глины. К этому вопросу мы еще вернемся.



Рис. 4. Как разделяются грунты

Имеются и другие, более дробные подразделения, в которых грунты делятся либо по минеральному составу, либо по каким-нибудь свойствам, например: сжимаемости, влажности, уплотненности и т. д.

Так, все природное многообразие грунтов удалось разделить на классы, группы, типы, виды, разновидности. Если грунтовед определяет, что какой-то грунт: суглинок аллювиальный, средний, гидрослюдястый, в пластичном состоянии, то этого достаточно для того, чтобы предположить, какими могут быть его свойства. Можно сказать, что классификационные определения являются своеобразной «визитной карточкой» грунта. Схема деления грунтов показана на рис. 4.

Наш рассказ не будет полным, если не упомянуть о роли возраста грунтов. В геологии известно, что с течением времени меняются рельеф, взаиморазмещение суши и морей, климат, вулканические процессы и многое другое, определяющее условия образования пород. Поэтому если говорят о морских глинах палеогенового возраста, то в определенной степени становятся ясны условия их образования.

В море глины образуются главным образом за счет взвешенных частиц, которые, оседая на дно, постепенно формируют слой или пласт. Образование таких слоев идет очень медленно: за год накапливается не более 1 — 2 мм осадка. Так как глины формируют толщи, мощность которых измеряется десятками и даже сотнями метров, для их накопления требуются десятки и сотни тысяч

лет. За это время происходят изменения течений, возникают поднятия и опускания дна, меняется береговая линия, появляются и исчезают реки. В конечном счете такой пласт глины оказывается как бы летописью геологической истории эпохи его отложения. Вот почему в пределах толщ любых осадочных пород меняются их состав, строение и свойства как по вертикали, так и по горизонтали.

Часто море отступает, и глина оказывается на континенте. Здесь ее ждут новые «враги» — колебания температуры, изменения влажности, микроорганизмы, корневые системы растений и др. Все они порождают процессы, которые получили название «выветривание грунтов». Под действием этих процессов глина может сильно изменяться.

Вот почему не во всех случаях генезис и возраст породы позволяют судить об ее современных свойствах.

БОЛЬШИЕ, МАЛЫЕ и совсем малые

Перед нами насыпаны на блюде три белых порошка. По виду они одинаковы, но если попробовать их на вкус, то окажется, что один сладкий, другой соленый, а третий безвкусный. А если опустить их в воду, то первый и второй растворятся, а третий образует нерастворимый осадок на дне. Хотя их «внешность» одинакова, но составы — разные. Без особого труда можно определить, что первое вещество — сахар, второе — поваренная соль, а третье — гипсовый порошок. Таким образом, они состоят соответственно из кристаллов сахарозы, минерала галита и минерала гипса. Значит, и свойства этих порошков определяются их кристаллами — минералами.

А теперь на столе перед нами три кусочка грунта: первый (очень прочный) — гранит, второй (сравнительно мягкий) — тальковый сланец и третий — сухая глина. Первые два кусочка, брошенные в воду, не изменяются, не размокают, сохраняя твердость, зато, если увлажнить третий грунт, то он становится вначале вязким, а затем постепенно превращается в текучую массу. Сланец, в отличие от других двух образцов, на ощупь производит впечатление жирного и т. д. Опять оказывается: разные грунты — разные свойства. Теперь мы уже знаем главную причину такого отличия: грунты состоят из разных минералов. Гранит содержит кварц, полевой шпат и слюду, сланец состоит главным образом из минерала, получившего название талька. Он известен тем, что, размолотый в порошок, употребляется как детская присыпка. Наконец, глина состоит из массы особых «глинистых» минералов, обладающих чаще всего очень малыми размерами.

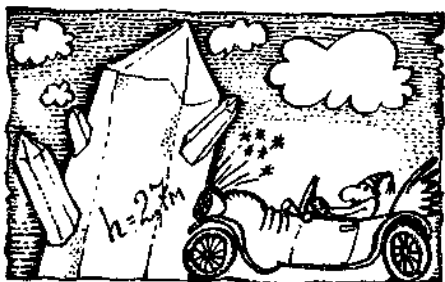


Рис. 5. Вот какой величины могут достигать кристаллы кварца

Можно сказать, что разнообразие и многие свойства грунтов в определенной степени зависят от состава минералов. Зная его, можно предсказать и некоторые качества грунта.

Удивительный мир минералов очень богат и разнообразен. В земной коре известно более 7000 их разновидностей. Некоторые из минералов, такие, как топаз, алмаз, аквамарин, рубин и другие «благородные» камни, поражают своей красотой и считаются драгоценными. Вместе с тем их роль в природе крайне незначительна. Главное место в мире камней занимают породообразующие минералы. Их число не превышает 100 наименований. Среди них особенно распространены кварц, полевые шпаты, слюды, кальцит и другие «рядовые» минералы. Основная масса грунтов и складывается ими. Большинство таких минералов представляет собой кристаллы, имеющие разнообразные формы многогранников. Эти формы связаны с закономерным внутренним размещением молекул составляющих их веществ. Они образуют правильные кристаллические решетки разных типов, создающих многообразие внешних форм минералов. Любому человеку знакомы кристаллы слюды, представляющие собой плоские пластины, поразительные формы рубинов, горного хрусталя и других, встречающихся в повседневной жизни минералов.

Часть из них представлена очень крупными кристаллами-великанами. Так, слюды могут образовывать пласты площадью несколько квадратных метров, кварц встречается в виде кристаллов длиной до 2,7 м (рис. 5). Но в природе многочисленны и очень тонкие кристаллики размером от 0,0005 до 0,00001 мм и даже меньше.

Среди минералов есть и такие, кристаллическое строение которых трудно обнаружить, поэтому говорят, что они аморфны. Таковы, например, известные разновидности кварца: кремень, агат, опал.

Минералы изучаются одной из геологических наук — минералогией, а данные, полученные учеными-минералогами, широко используются в грунтоведении.

Скальные грунты, образовавшиеся путем кристаллизации глубинных расплавов (магмы) или метаморфических процессов, такие, как граниты, диориты, габбро, базальты, гнейсы, сланцы, диабазы и многие другие, состоят в основном из солей кремневых кислот — «силикатов». К ним относятся: кварц, полевые шпаты, слюды, роговые обманки и др. Химический состав силикатов достаточно сложен. Например, разновидность полевого шпата — ортоклаз имеет формулу $K[AiSi_3O_8]$. Сочетание силикатов и создает высокую прочность скальных пород.

Помимо этого, в ряде скальных грунтов осадочного происхождения (известняки, каменная соль, гипс), а также в некоторых метаморфических породах (например, мрамор) основу составляют минералы — простые соли. К ним относятся галоиды (галит), карбонаты (кальцит, доломит), сульфаты (гипс, ангидрит). Одни из них быстро растворяются в воде (например, галит, сильвин), другие медленнее (кальцит, гипс). Их химический состав несложен. Так, весьма распространенный кальцит имеет формулу $CaCO_3$, а другой минерал — галит, известный в быту как поваренная соль, — $NaCl$; гипс, образующий породу того же наименования, — $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Прочность этих минералов уступает силикатам.

Рыхлые грунты часто имеют пестрый минеральный состав (хотя такая порода, как песок, состоит в основном из кварца). Среди грунтов этого типа есть чемпионы по количеству составляющих их видов минералов. Так, лёссовые грунты содержат до 60 — 70 минералов.

В составе ряда осадочных грунтов: глин, суглинков, супесей — большую роль играет особая группа силикатов, образующих очень тонкие кристаллы — глинистые минералы. Их размеры оказываются меньше 0,001 — 0,0001 мм. О них мы расскажем дальше.

Легко заметить, что различное сочетание минералов разных видов является одной из причин разнообразия грунтов по их характеру и свойствам. Это делает необходимым широкое использование минералогических методов для выявления состава грунтов.

Паразитические карлики

Первыми были изучены минералы крупные (>1 — 2 мм) и «великаны». Это легко можно понять: ведь они видны невооруженным глазом. В XVII в. голландским ученым А. Левенгуком был создан первый микроскоп. Однако долгое время он использовался только для биологических и ботанических исследований. С течением времени микроскоп совершенствовался, и в XIX в. его стали использовать для исследования песчано-пылеватых минеральных частиц размером более 5 мкм (0,005 мм).

Применение микроскопа в геологии связано с именами различных ученых: английского — Г. Сорби, немецкого — Ф. Циркеля и русских — А. П. Карпинского, Е. С. Федорова и Ф. Ю. Левинсона-Лессинга.

Минералогический микроскоп открыл целый мир минералов «средних» размеров — от 1 — 2 до 0,005 мм. Его использование позволило изучить особенности тонкопесчаных и пылеватых частиц. Микроскоп и сейчас является важным оружием грунтоведа. С его помощью можно увидеть и определить состав агрегатов и частиц размером более 0,002 мм. Он позволяет исследовать многие детали строения грунта: поры, трещины, взаимоотношение агрегатов и частиц и другие элементы структуры. Более тонкие детали строения грунтов при помощи оптического микроскопа увидеть не удастся. Это связано с тем, что длина световой волны меньше 0,8 мкм. Частицы, приближающиеся к этому размеру, как бы обтекаются лучами света и становятся практически невидимы в оптический микроскоп. Только в середине XX в., призвав на помощь современные физические методы, ученые раскрыли существование целого мира «невидимых» карликовых минералов. Идею об их существовании впервые высказал еще в XVIII в. М. В. Ломоносов. Однако эти гениальные догадки нельзя было в то время экспериментально подтвердить.

Эти замечательные карлики широко распространены вокруг нас. В одном кубическом сантиметре самого чистого воздуха содержится более 1000 пылинок, которые в основном являются микрочастицами тонких минералов.

Чтобы убедиться в их «невидимости», возьмите маленький кусочек глины и положите его в стакан чистой дистиллированной воды. Подождите немного и взболтайте, воду. Взгляните: в стакане опять почти прозрачная вода. Глина распалась на отдельные тонкие кристаллы, которые исчезли из поля нашей видимости.

Первым обнаружил глинистые минералы в 1926 г. советский ученый Л. Б. Струтинский, применивший для этой цели рентгеновский аппарат. Затем В. И. Вернадский использовал метод снятия кривых нагревания глин и также обнаружил кристаллическое строение тонкого глинистого вещества. Но увидеть «карликов» удалось только в 40-х годах при помощи просвечивающего электронного микроскопа, созданного О. О. Лебедевым. Об этом мы поговорим в следующем разделе книги.

При помощи рентгеноструктурного анализа открылись весьма сложные особенности строения кристаллов. Оказалось, что каждый из микроминералов обладает своей неповторимой кристаллической решеткой.

Исследователи очень удивились, обнаружив, что среди изученных глинистых минералов обнаружилось до того не встречавшиеся подвижные кристаллические решетки. Они чем-то напоминали баян. Только этот музыкальный инструмент раздвигается силой рук артиста, а решетка — в результате сложного физико-химического процесса.

Первые такие глины, состоящие из минерала с подвижной структурой, были обнаружены около французского города Монтморилло-на. Этот удивительный микроминерал и получил название «монтмориллонит». Если его начать насыщать водой, то ее молекулы, проникая внутрь подвижной решетки, начнут раздвигать последнюю.

Как проявляется этот процесс внешне? Монтмориллонит с большой силой начнет расширяться. Возникнет явление набухания. Если глина целиком состоит из этого микроминерала, то увеличение ее объема может составить десятикратную величину. Если начать высушивать эту глину, то возникнет обратный процесс — усадка.

В отличие от монтмориллонита другой минерал, каолин, имеет неподвижную кристаллическую решетку, которая не меняет своих размеров под воздействием молекул воды. Распределение молекул в структуре обоих минералов довольно сложное, но специалистам-рентгенографам удалось получить о нем точное представление. На рис. 6 показаны кристаллические решетки монтмориллонита и каолинита.

Глинистые минералы образуются в результате процессов выветривания, протекающих на поверхности земли. Сейчас известно около 200 таких минералов. Особое значение в грунтах имеют: каолинит, монтмориллонит, гидрослюда и так называемые смешаннослой-ные минералы. Последние состоят из пакетов, в которых чередуются слои с разными кристаллическими решетками. Встречаются комбинации каолинита с гидрослюдой, гидрослюды с монтмориллонитом.

Если приходится изучать глинистый грунт, то грунтоведа весьма интересует, из каких тонких минералов он состоит. Это позволяет ему заранее получить представление о ряде свойств такого грунта. Данные о составе минералов являются своеобразной путеводной звездой для исследователей.

В завершение нашего разговора о минералах-карликах, необходимо сказать, что они играют существенную роль в повседневной жизни людей. Многие из этих удивительных природных образований разрабатываются как полезные ископаемые. Примером могут служить бокситы — важнейший поставщик алюминия. Нередко с микроминералами связаны месторождения железа, марганца, кобальта, золота, никеля и других металлов.

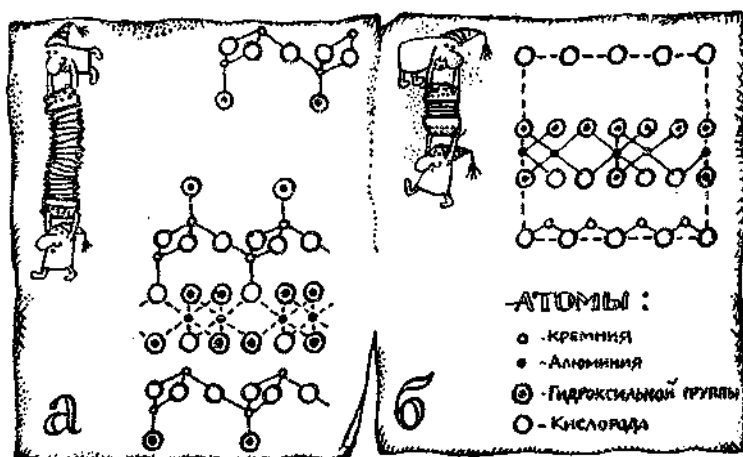


Рис. 6. Кристаллические решетки: монтмориллонита (а) и каолината (б)

Глинистые минералы находят широкое применение в народном хозяйстве. Так, они используются для выработки сукна, шерсти, резины, огнеупоров, кирпича, керамических изделий. Их применяют в радиопромышленности, мыловаренной, парфюмерной, нефтеобрабатывающей, фармацевтической и ряде других отраслей народного хозяйства.

Наконец, глинистые минералы имеют большое значение в образовании почв и формировании их урожайности.

Вот как велика роль в жизни человечества этих малых минералов-карликов. Как говорят: «Мал, да удал».

Как увидели «НЕВИДИМОК»

Русская пословица гласит: «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать». Перефразируя эту известную пословицу, можно сказать: «Лучше один раз увидеть, чем сто раз предположить о существовании тонких коллоидных частиц». Ученые всегда стремились увидеть малые объекты: частицы глинистых минералов, микробы, вирусы и т. д. Мы уже познакомились с развитием микроскопических методов исследования, но они оказались совершенно непригодными для изучения «невидимок».

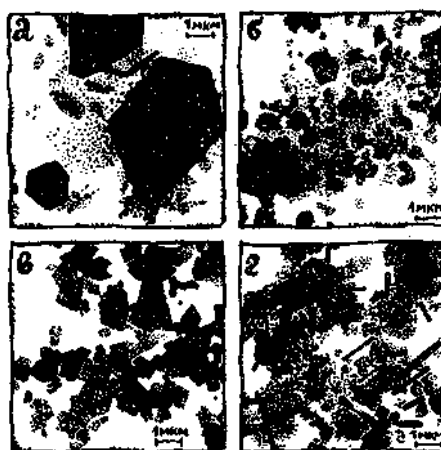
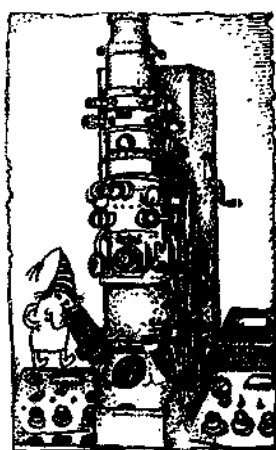


Рис. 7. Так выглядит современный просвечивающий электронный микроскоп

Рис. 8. Формы отдельных частиц глинистых минералов в просвечивающем электронном микроскопе:

а — каолинит; б — монтмориллонит; в — гидрослюда; г — галлазит (трубочки)

Впервые удалось увидеть коллоидные частицы размером менее $1 - 0,1$ мкм в ультрамикроскопе. Он основан на так называемом эффекте Гиндаля. Если в комнату проникает через щель в занавеске

или ставне тонкий луч солнца, то на его пути видны тысячи тонких пылеватых частиц. Этот эффект и лежит в основе действия ультрамикроскопа. В нем коллоидные частицы видимы в направлении, перпендикулярном к направлению луча света. Конечно, видимость таких частиц в подобном микроскопе совершенно недостаточна для их изучения. Лишь с появлением электронного микроскопа по-настоящему увидели тонкие частицы глинистых минералов. Первым для этой цели был использован электронный микроскоп просвечивающего типа. В нем вместо световых лучей используется пучок быстролетающих в вакууме электронов. Их полет ускоряется электрическим напряжением в десятки и даже сотни тысяч вольт. В таком микроскопе вместо стеклянных используются электронные линзы (рис. 7).

Длина возникающих волн для электронов в сотни тысяч раз короче световых волн. В просвечивающем электронном микроскопе можно увидеть частицы размером в несколько сот раз меньше, чем в лучшем оптическом микроскопе. Он дает возможность получать увеличения до 100 000 крат и даже больше. В такой установке исследовались прежде всего суспензии (смеси глины с водой). В них впервые увидели по-настоящему тончайшие частицы каолинита, монтмориллонита и других глинистых минералов. Стали ясны формы и размеры их кристаллов.

Оказалось, что эти тонкие минералы очень разнообразны по форме. Одни образуют шестиугольные пластинки, другие — иголки, трубочки, зерна с расплывчатыми краями, нитки и т. д. (рис. 8).

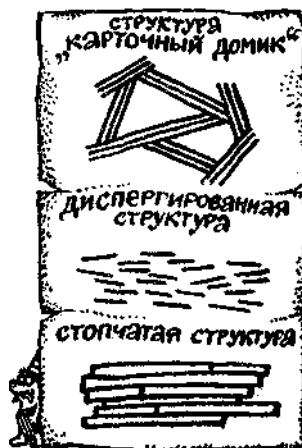


Рис. 9. Вот так выглядит поверхность глинистого грунта, увиденная через растровый микроскоп. Ув. 1000

Рис. 10. Расположение глинистых частиц в грунте

Несколько больше информации дал метод реплик. Реплика представляет собой отпечаток, получаемый с поверхности кусочка глины путем напыления на нее в вакууме графита либо какого-нибудь другого вещества. Затем глина удаляется, и на электронном микроскопе исследуется отпечаток-реплика.

Наконец, делались попытки изучения тончайших срезов с глинистых грунтов.

Применение этих методов позволило узнать много нового о тонкой структуре глин.

Следующий шаг был сделан в 50-х годах XX в., когда были созданы принципиально новые растровые электронные микроскопы. Они широко открыли окно в загадочный мир тончайших структур грунтов.

В таких микроскопах узкий электронный луч (зонд) обегает поверхность исследуемого образца. В каждой точке соприкосновения электронного луча (зонда) с грунтом возникает несколько видов отраженного излучения. Здесь и вторичные, и рассеянные электроны, и рентгеновские лучи, и, наконец, световые волны. Они и дают яркое изображение объекта на экране электронно-лучевых трубок. Благодаря комплексности изучения с помощью такого прибора получают информацию о самых разнообразных свойствах, поверхности грунта.

На рис. 9 показана поверхность глинистого грунта, увиденная с помощью растрового электронного микроскопа. Эта установка, в отличие от оптического микроскопа, позволяет увидеть даже при небольших увеличениях (в 200 — 500 раз) более тонкие детали строения глинистого грунта.

Для изучения структуры глинистых грунтов в растровом электронном микроскопе их поверхность покрывается тончайшим слоем металла (чаще всего золотом) с тем, чтобы она могла отражать электронный луч.

С помощью растрового электронного микроскопа можно рассмотреть детали строения поверхности размером до 1 — 0,5 мкм. Это позволило изучить многие особенности микроструктуры глинистых грунтов, которые до этого были неизвестны. Использование физических методов исследования дало новые возможности для развития науки о грунтах. Так, сейчас начали применять ультразвуковой и рентгеновский микроскопы. Пока они оказались пригодными для решения лишь отдельных вопросов. Однако в их использовании сделаны только первые робкие шаги.

Важную информацию о составе минералов, слагающих глинистые грунты, дают рентгеноструктурные методы. Они позволяют получить дифракционную картину, возникающую при прохождении рентгеновских лучей через столбик спрессованного глинистого вещества, помещенный в специальную рентгеновскую камеру.

В основе этих методов лежит явление дифракции — огибание рентгеновскими лучами атомов и ионов, слагающих кристаллические решетки минералов. Такой луч, прошедший через вещество, фиксируется на пленку-рентгенограмму, по которой специалисты судят о составе минералов.

Рентгеновский метод дает также возможность выяснить, как располагаются в глинах частицы минералов. Для этой цели используются как обычные рентгеновские камеры, так и специальные дифрактомеры — рентгеновские установки, в которых регистрация изменений ведется с помощью специальных счетчиков.

Применяя все эти методы, грунтоведы обнаружили, что глинистые грунты обладают самыми разнообразными тонкими структурами. Среди них есть структура «карточный домик» (рис. 10), в которой частицы образуют на первый взгляд совершенно неустойчивую «воздушную» постройку. Но это оказывается не совсем так. Электрмолекулярные силы особенно проявляются на концах частиц, поэтому-то такие микроструктуры достаточно прочны.

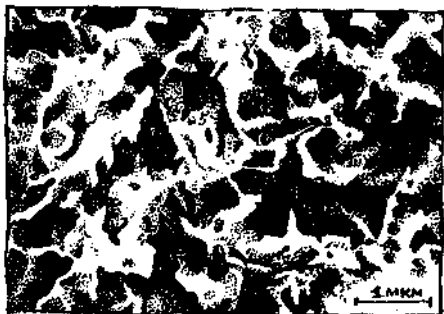


Рис. 11. Осадок монтмориллонита под растровым электронным микроскопом

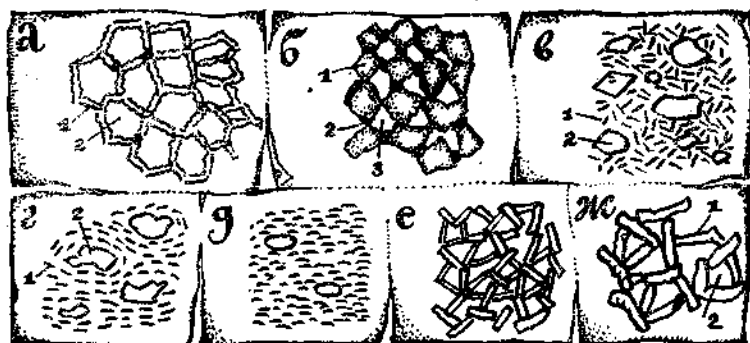


Рис. 12. Используя электронный микроскоп, В. И. Осипов обнаружил в глинистых грунтах следующие микроструктуры:

а — ячеистую: 1 — тонкие агрегаты, 2 — ячейки; **б** — скелетную: 1 — пылеватые частицы, 2 — глинистые пленки, 3 — поры; **в** — матричную: 1 — неориентированные глинистые частицы (матрица), 2 — пылеватые и песчаные зерна; **г** — турбулентную: 1 — глинистые частицы, «обтекающие» зерна, 2 — песчано-пылеватые зерна; **д** — ламинарную; **е** — доменную, представленную крупными микроагрегатами (доменами); **ж** — губчатую: 1 — крупные агрегаты (до 0,08 мм), состоящие из глинистых микроагрегатов, 2 — ячейки

Советский ученый В. И. Осипов с помощью растрового электронного микроскопа подробно исследовал строение глин и обнаружил целую серию структур. Он показал, что наиболее рыхлыми являются глинистые осадки, содержащие гидрослюду и монтмориллонит. Они образуют

причудливые скопления лепестков разных форм (рис. 11). Их «узор» зависит от среды, в которой возникает осадок, химического состава минералов и ряда других факторов.

В природных глинистых грунтах В. И. Осипов обнаружил семь основных типов микроструктур. Их схематические изображения приведены на рис. 12. Он убедительно показал, что многие свойства глин тесно связаны с особенностями их микростроения. Так наука все глубже и глубже проникает в тайны тончайшего строения грунтов.

и удивительная действительность

Как гласит легенда, шахматы были изобретены индусским ученым по имени Сета. Царь Индии Шерам пришел в восторг от новой остроумной игры. Решив вознаградить создателя шахмат, он пригласил его к себе во дворец.

— Я решил наградить тебя за твою выдумку. Проси, что хочешь!

Как далее повествуется в легенде, остроумный ученый попросил, чтобы ему выдали немного пшеничных зерен. При этом количество этих зерен должно было быть определено из такой прогрессии: на первую клетку шахматной доски нужно было положить всего-навсего одно зерно, на вторую — только два, на третью — четыре и так удваивать до последней клетки доски.

Царь удивился и решил, что ученый очень скромно просит крайне мало. Он сказал: «Ты получишь то, что просишь. Жди у ворот дворца, тебе вынесут мешок пшеницы».

Как известно, мудрецы царя в течение ночи подсчитали, что ученому необходимо выдать ни много, ни мало 18 446 744 073 709 551 615 зерен. Это количество пшеницы заняло бы объем в 12 000 км³, что во много раз больше объема пшеницы, собираемой на всей Земле.

Теперь представим, что изобретатель решил просить себе в награду землю и для этой цели вместо пшеничных зерен потребовал бы частицы грунта. Давайте примерно подсчитаем, какой они займут объем, если их размер будет меняться?

Для начала возьмем песчаные частицы размером 1 мм. Если насыпать их в сосуд объемом 1 м³, то в нем окажется примерно 10⁹ песчинок. Теперь давайте класть частицы на клетки шахматной доски. Всего придется туда уложить 1,8·10¹⁹ песчинок (для простоты округляем эту цифру). Учитывая число песчинок в одном кубометре, легко рассчитаем, что они займут объем 1,8·10¹⁰ м³, или 18 км³.

А теперь давайте сделаем эту же операцию с пылевыми частицами размером 0,01 мм. Таких пылинок в сосуде емкостью 1 м³ окажется 10¹⁵. Число пылевых частиц, которые нужно будет уложить на шахматную доску, будет то же, что и для песчинок. Но вот объем их будет только 18 000 м³, или стотысячные доли кубического километра.

Ну, а теперь начнем укладывать на клетки шахматной доски частички глины размером 0,001 мм. В 1 м³ будет находиться 10¹⁸ зерен. Если взять все глинистые частички, уложенные по системе индусского ученого Сета, и собрать их в кучу, то ее размер составит лишь 18 м³. Это будет параллелепипед со сторонами 3Х3Х2 м.

Так много частичек и в столь малом объеме! Разве это не поразительно? Однако существуют не менее интересные явления, обусловленные астрономическим числом тонких частиц, содержащихся в малых объемах.

Возьмем кубик, у которого длина каждого ребра составляет 1 см. Можно легко подсчитать, что площадь поверхности его сторон равна всего 6 см². Теперь давайте разделим кубик на восемь равных частей. Площадь его сторон возрастет до 12 см². Будем продолжать деление дальше. Когда величина сторон распиливаемых кубиков достигнет 1 мм, то площадь их поверхности станет равной 60 см². Если разделить наш кубик на микрокубики со сторонами 0,001 мм, то суммарная площадь их поверхности составит 6·Ю⁶ см², или 600 м². А ведь объем их остался тем же (считаем, что при распиливании потери вещества не происходит) — 1 см³!

Если дробление продолжить и дальше, до коллоидных размеров, то при сторонах мельчайших кубиков, равных 0,0001 мм, площадь их поверхности будет уже определяться впечатляющей цифрой в 60 млн. см², или 6000 м².

Но в грунтах могут быть и еще более тонкие глинистые частицы и тогда в 1 см³ грунта общая площадь поверхности будет еще грандиознее.

Ученые называли площадь этой поверхности частиц в 1 см³ (иногда в 1 г вещества) удельной поверхностью грунта.

Когда мы подсчитывали площадь поверхности, то исходили из упрощенного представления о том, что частицы имеют кубическую форму и тесно прилегают друг к другу. В природе все гораздо сложнее. Прежде всего удельная поверхность зависит от минерального состава. Возьмем, к примеру, глинистый грунт, состоящий из монтмориллонита. Подсчеты показали, что в этом случае удельная поверхность, рассчитанная на 1 г вещества, достигает 800 м². Если взять глину, состоящую из гидрослюда, то величина удельной поверхности составит только 80 м².

Возникает вопрос: «Какое значение имеет удельная поверхность?» Оказывается, многие свойства грунтов зависят от удельной поверхности. В следующих разделах мы еще вспомним об этой характеристике грунтов.

Остается только сказать, как на практике определить удельную поверхность грунта. Для этого физикохимия предлагает целый комплекс методов. В основном используется зависимость между удельной поверхностью грунта и его способностью к поглощению разных веществ из растворов или к поглощению газов. Чем больше удельная поверхность, тем больше способность грунта к поглощению.

ЛИЦО ОДНО, А ХАРАКТЕРЫ РАЗНЫЕ



В римской мифологии существовал бог времени Янус. Он изображался с двумя лицами, обращенными в противоположные стороны: молодым — вперед, а старым — назад. Отсюда дошло до нас выражение «двуликий Янус». Всем известна эта летучая фраза. А в природе можно найти множество примеров подобного рода.

Ну, чем не двуликий гриб мухомор? Он радуется глаз своей яркой окраской, красивой формой. Но его второе лицо — необычайная ядовитость.

В грунтах, бывает так, что один и тот же песок может быть и рыхлым, опасным для строительства, и он же может оказаться надежным основанием для многоэтажных домов. И впрямь — «двуликий Янус».

Вот перед нами два суглинистых грунта. В одном содержатся кварц и гидрослюда, в другом — тот же состав. В лаборатории определили, из каких частиц по крупности состоят эти грунты. Опять оказалось, что они весьма схожи и по величине составляющих их частиц. Значит, по составу они одинаковы, но тогда почему их свойства различны?

Давайте попробуем определить, как образовались эти два грунта. Геологи легко установят — первый из них сформировался во время оледенения. Этот суглинок был отложен потоками талых вод, возникших при таянии ледников. Второй же возник в результате деятельности ветра. Его порывы подхватывали частицы, переносили их на большие расстояния, и, когда ветер стихал, они падали на поверхность земли. Так, год за годом накопилась толща этого суглинка. Процессы выветривания и особенно деятельность организмов и растений внесли затем свои коррективы. И вот результат — похожие по составу грунты, а строение их оказалось разным, отсюда вытекает и различие в свойствах.

Посмотрим внимательно: первый суглинок плотный с тонкой пористостью, в то время как второй содержит много крупных пор, а его частицы собраны в группы-агрегаты. Кроме того он буквально пронизан корне- и червеходами.

Вот и выходит — помимо состава грунта его свойства зависят и от структуры.

Теперь необходимо выяснить, что же такое структура грунта? Если говорить обобщенно — это все то, что определяет строение грунтов на небольших однородных участках.

Мы уже знаем, что в грунтоведении изучается грунт как система, состоящая из твердых минеральных частиц, жидкости (водных растворов) и газообразной составляющей.

Получается, что изучение структуры — это прежде всего исследование размеров и формы частиц, агрегатов, пор и их взаимосвязи. К этому нужно добавить, что в грунтах встречаются различные структурные формы влаги и газов, которые также нужно изучать. Кроме того, очень важно выявить взаимоотношения между всеми этими структурными элементами.

Теперь становится понятным, что перед наукой о грунтах стоит очень сложная задача — выявление их структурных особенностей.

Комплексное изучение структуры грунтов началось только в 50-х годах нашего столетия. Правда, исследования крупности частиц грунтов проводились уже в XIX в., но это были еще первые шаги в

познании структуры. Для решения практических вопросов в первую очередь стали исследовать свойства грунтов. Когда их довольно хорошо изучили, возник вопрос, почему эти свойства такие, а не иные. Вот и пришлось заниматься изучением состава и структуры грунтов.

Большой шаг в развитии представлений в этой области был сделан, когда стали использоваться оптические, а затем электронные микроскопы. Перед глазами грунтоведа открылся новый интересный мир структур.

Сейчас мы уже знаем, что по структуре все рыхлые осадочные грунты можно разделить на четыре больших класса.

К первому относятся сыпучие пески. Они чаще всего состоят из зерен кварца, полевого шпата, слюды и некоторых минералов. В обычных условиях зерна не образуют между собой каких-либо существенных связей. Исследования под электронным микроскопом показали, что зерна кварца на своей поверхности, как правило, содержат тончайший слой измененного кварца (опала), окислов железа, а иногда и пленок глинистых минералов. Эти пленки настолько малы, что для их изучения требуются специальные методы. Влияние всех этих пленок проявляется лишь тогда, когда слой песка длительное время находится под большим давлением. Вот и возникают между его зернами устойчивые связи, нарастающие с течением времени. Из таких песков в течение многих тысячелетий образуется хорошо известная всем скальная порода — песчаник.

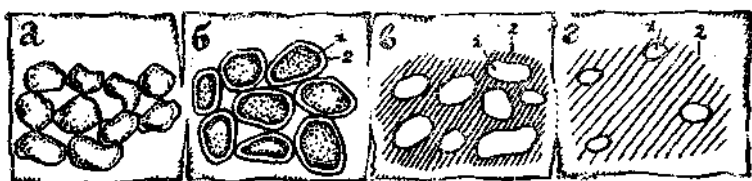


Рис. 13. Посмотрите, как изменяется взаимоотношение тонких и крупных частиц в различных структурах грунтов.

Структуры: а — раздельнозернистая; б — зернисто-пленчатая: 1 — зерна, 2 — глинистые пленки (<0,003 мм); в — агрегативная: 1 — зерна, 2 — глинистая масса; г — слитная: 1 — зерна, 2 — глинистая масса

Зерна песчаных грунтов не связаны друг с другом. Поэтому пески имеют структуру, названную раздельнозернистой, в ней частицы существуют как бы сами по себе (рис. 13, а).

Возьмем другой случай, когда в тех же песках появляется некоторое количество тонких глинистых частиц (размером менее 0,001 мм). Ученые обнаружили удивительное явление. Эти тонкие частицы, оказывается, не образуют комков или каких-либо других скоплений, а создают пленки вокруг более крупных зерен (диаметром более 0,01 мм). В результате частицы контактируют между собой только через эти пленки. Толщина последних колеблется от 0,0001 до 0,003 мм. Их нельзя увидеть даже при помощи оптического микроскопа. Поэтому когда смотришь через него на грунт с подобной структурой, видишь лишь чудесные гроздья зерен, громоздящихся в самых причудливых формах. Кажется, что вот-вот все они рассыплются. Но действующие между частицами атомно-молекулярные силы прочно удерживают их.

В последнее время эти тонкие пленки изучаются при помощи растровых электронных микроскопов.

Ученые назвали эту форму структуры зернисто-пленчатой (см. рис. 13, б). Такой структурой обладают супеси и легкие суглинки. Нужно заметить, что подобные пленки могут образовывать не только глинистые минералы, но и окислы железа, аморфный кремнезем, органические вещества и др.

В такой зернисто-пленчатой структуре прочность определяется главным образом составом зерен.

Но вот перед нами суглинистый грунт, в составе которого содержится ощутимое количество тонких глинистых частиц. Окружающие песчаные частицы глинистые пленки хорошо видны в оптическом микроскопе. Их роль в прочности такого грунта становится более заметной. В его строении широко участвуют агрегаты, крайне разнообразные по своим размерам, форме и природе образования. Поэтому такая структура и была названа агрегативной (см. рис. 13, в). Агрегативной структурой обладают различные суглинки и некоторые типы глин.

Между зернисто-пленчатой и агрегативной выделяется также переходный вид структуры — зернисто-агрегативный. В грунтах с подобной структурой глинистые пленки хорошо видны в оптическом микроскопе.

Если количество тонкой глинистой составляющей становится значительно большим, чем песчаных и пылеватых частиц, то тогда образуется новая, весьма интересная структура: в общей массе глинистого вещества как бы плавают отдельные песчинки. Как легко понять, эта глинистая масса и определяет все свойства грунта. Подобная структура характерна для различных глин. Она получила название слитной (см. рис. 13, з).

Давайте взглянем на структурные особенности глинистых частиц глазами специалистов в области коллоидной химии.

Советские ученые П. А. Ребиндер, Б. А. Дерягин и И. М. Горькова обнаружили, что тонкие частицы в природе в большинстве случаев окружены тончайшими пленками воды. Глинистые кристаллики отделены друг от друга прослойками влаги. Причины подобного явления связаны с атомно-молекулярными силами, действующими между молекулами воды и поверхностью минеральных частиц.

Если влажность глины по какой-либо причине возрастает, то новые молекулы воды поступают в пленки и их толщина увеличивается. Возникает своеобразный процесс, названный расклиниванием. По мере нарастания толщины пленки в новых ее слоях, все более удаленных от поверхности частиц, сила молекулярного взаимодействия заметно ослабевает. Глина из-за нарастающего расклинивания становится мягкой, а дальше вообще может потерять прочность и начнет растекаться. Такую водно-пленочную структуру глин ученые назвали коагуляционной (от лат. *coagulatio* — затвердевание). При высушивании возникает противоположный процесс: глина становится все более твердой, что связано с уменьшением толщины пленок, взаимным приближением частиц и нарастанием между ними атомно-молекулярного взаимодействия.

Однако пленки на поверхности глинистых частиц могут состоять не только из воды, но и из окислов железа, карбонатов, опала и других веществ. Тогда эти образования практически не растворяются водой, или данный процесс протекает очень медленно. Тогда и размягчение грунта оказывается незначительным. Такие структуры получили наименование кристаллизационных.

Рассмотренные коагуляционные и кристаллизационные структуры вносят свою дань в формирование свойств глинистых грунтов, дополняя представления о классах структуры.

Но и этим не ограничивается разнообразие структуры грунтов. Например, большую роль в грунтах играет пористость. Что же это такое?

В каждом сухом грунте есть твердая часть и воздушная составляющая. Чем больше последняя, тем легче порода. Стали определять число пор по отношению содержания воздуха (или, проще говоря, пустот) в грунте к общему его объему. Этот показатель получил название пористости. Она колеблется от десятых долей процента в скальных породах (граниты, базальты) до 80% в глинистых грунтах.

Но вот что оказалось интересным. Пески имеют небольшую пористость — 30 — 36% и хорошо пропускают воду, а глины, как правило, обладают большой пористостью — 35 — 70% и практически водонепроницаемы. В чем же дело? Ведь именно по порам поступает вода.

Объяснение сравнительно простое. Поры песка имеют размеры больше 0,01 мм, а глины в основной массе содержат тонкие их разности — 0,005 — 0,0001 мм и даже еще меньше. Крупные же поры являются прекрасным путем для движения воды, в то время как тонкие воду не пропускают. Если мы начнем сжимать грунт, то произойдет быстрое разрушение крупных пор, а тонкие длительное время могут сохраняться. Специалисты назвали такие крупные (больше 0,01 мм) поры «активными». Так структура грунтов стала различаться еще по одному важному показателю — «активной» пористости.

Самой старой структурной характеристикой является содержание в грунте частиц разных размеров. Ее назвали гранулометрическим составом.

Вот перед нами холм, состоящий из валунов и галечно-гравелистого материала. Эту массу оставил после себя древний ледник. Здесь валуны размером более 30 см, галька от 4 до 20 см и много гравия, имеющего размеры от 0,2 до 4 см.

Сидя на пляже, мы наслаждаемся теплым песком. Его образовала вода в результате вековой обработки течениями и волнами обломков пород. Частицы песка имеют размер от 0,05 до 2 мм. Песчаные зерна тоньше 0,25 мм слагают очень мелкие пески, а песчинки размером 1 — 2 мм — очень грубые.

Ветер поднимает в воздух тучи пыли. Если взять пылинки и положить на кусочек стекла, то под микроскопом их можно измерить. Легко обнаружится, что размер пылинок колеблется от 0,002 до 0,05 мм. Эти пылеватые частицы слагают большой ряд грунтов. Например, в составе лёссов их может быть более 50% и даже до 93%.

Совсем уже тонкие частицы, невидимые глазом, образуют глины. Их размеры оказываются менее 0,002 мм.

Теперь возникает вопрос, как же обнаружить, сколько содержится в составе грунтов частиц разных размеров? Ученые придумали, как решить эту задачу.

Легче всего выделить крупные песчинки диаметром 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 мм, которые можно рассеять при помощи набора сит с соответствующими диаметрами отверстий. Однако более мелкие частицы разделить при помощи сит не удастся. Отверстия становятся столь малыми, что через них не проходят даже более тонкие зерна.

Как же быть? Тогда на помощь приходит разделение частиц в воде. Образец взбалтывается и кипятится в водной среде (для разрушения агрегатов), затем переносится в литровый цилиндр и взбалтывается. Существует закономерная зависимость скорости падения частиц в воде от их диаметра и плотности (так называемый закон Стокса). Сначала упадут на дно крупные зерна размером 0,05 — 0,01 мм, а затем медленно будут опускаться более тонкие.

Совсем тонкие частички размером менее 0,001 мм при падении не опускаются в воде по прямым траекториям. В результате броуновского теплового движения молекулы воды толкают такие частицы грунта, вызывая искажение в направлении их движения. Путь перемещения этих частиц становится весьма причудливым. Они то взмывают вверх, то отскакивают в сторону, то падают вниз.

Чтобы определить содержание очень тонких частиц, приходится применять искусственное увеличение тяжести. Для этого используют специальные центрифуги. При быстром вращении сосудов с водными суспензиями (взвесями частиц) пути их падения становятся более правильными.

Так изучается состав грунтов по крупности зерен.

Такой анализ состава частиц по их раамерам позволяет выделять основные типы рыхлых грунтов: супеси (частиц размером менее 0,002 мм в них содержится от 3 до 10%), суглинки (10 — 30%) и глины (>30%).

Можно с уверенностью сказать, что читателям известны такие термины, как «дефекты металлов» и «дефекты кристаллов». Это всегда какие-то нарушения в строении материалов, снижающие их прочность. В металлах это трещины, внутренние раковины, рыхлые зоны, различные инородные включения. В кристаллах нарушения связаны с отклонениями в строении кристаллических решеток.

Было обнаружено, что многие свойства грунтов также обусловлены появлением дефектов их структуры. К ним относятся нарушения в строении агрегатов и грунтовых систем. Например, трещины, участки с ослабленными структурными связями (зоны рыхлости), органические включения и т. д.



Рис. 14 Дефект микроструктуры глин, увиденный с помощью растрового микроскопа. Ув. 1000

В зависимости от размеров дефектов грунта их делят на порядки. Так, дефекты грунта первого порядка наблюдаются в микроагрегатах (например, микротрещина, показанная на рис. 14). Более крупные нарушения второго и третьего порядков можно наблюдать под оптическим микроскопом, а четвертого — невооруженным глазом. Дефекты структуры понижают прочность грунтов, увеличивают их водопроницаемость и оказывают влияние на целый ряд других свойств.



Русская пословица говорит: «Вода точит камень». Народная мудрость точно подметила, что все горные породы рано или поздно растворяются водой. Для того чтобы растворить гранит, необходимы десятки миллионов лет. Но есть породы, обладающие способностью к быстрому разрушению в воде.

На одной из шахт, в которой добывают каменную соль, произошла тяжелая авария. Ночью в нее прорвался поток подземных вод. К утру вода практически вывела шахту из строя.

Действительно, каменная соль, состоящая из минерала под названием галит (NaCl), буквально «съедается» водой. Одна часть этого минерала растворяется примерно в трех частях воды. Так же быстро растворяются встречающиеся в поверхностной части земной коры такие минералы, как сильвин (KO), сода (Na_2CO_3) и некоторые другие. Если они защищены пластами глинистых пород или находятся в засушливых пустынных районах, где дожди редкое явление, то сохраняются длительное время. Однако там, где в силу каких-либо обстоятельств в грунты, содержащие эти минералы, попадает вода, они быстро растворяются и исчезают, переходя в растворы.

Любопытный случай произошел в одном из районов Луизианы (США). Здесь в прибрежной части небольшого озера Пегнер нефтяная компания «Тексако» начала производить бурение. Когда скважина достигла глубины 400 м, вода стала быстро уходить из озера в образовавшееся отверстие. Через час на этом месте появилась гигантская воронка диаметром до 800 м. В нее провалились ботанический сад, пять домов и весь озерный транспорт. Произошло это из-за того, что скважина пробилла отверстие в кровле старой соляной шахты. В течение часа поток воды растворил поддерживающие кровлю выработок галитовые столбы и она провалилась, увлекая за собой 400-метровую покровную толщу грунтов.

В осадочных грунтах встречается хорошо известный читателям минерал под названием гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). В районе г. Уфы этот минерал образует гипсовую породу, которая залегает в виде толщ мощностью десятки и даже сотни метров. Еще в прошлом веке здесь были известны случаи провалов участков железнодорожной линии, иногда вместе с паровозами и вагонами. Та же участь постигла и ряд отдельных зданий. В этом районе часто встречаются воронки, шахтообразные провалы глубиной 10 — 20 м и более. Причина веек этих явлений — растворение гипса водой. Процесс растворения в данном случае протекает значительно медленнее, чем при воздействии воды на галит: примерно 1 м^3 гипсовой породы растворяется в 400 м^3 воды, но с точки зрения геологического времени он идет довольно быстро. В гипсах пустоты могут образоваться в течение нескольких или десятков лет. Этот процесс получил наименование карста (рис. 15).

В Крыму, на Урале, Кавказе известны сотни карстовых пещер. Кто не знает Кунгурской пещеры на Урале или «Провала» в г. Пятигорске? Всемирной известностью пользуется Мамонтова пещера в шт. Кентукки (США), имеющая протяженность 74 км.

Во всех этих случаях образование пещер связано с растворением еще одной породы — известняка. В его составе главным минералом является кальцит (CaCO_3). По сравнению с галитом и гипсом его растворимость сравнительно невелика. Один кубометр кальцита переходит в раствор под воздействием $30\,000 \text{ м}^3$ воды. Вместе с тем если в природной воде содержится углекислота, то для растворения 1 м^3 этого минерала необходимо только 1000 м^3 воды.

Маленький ручеек, журчащий в трещине известняка, каждую минуту, каждый час растворяет его. Проходят сотни, тысячи лет и вместе с ними исчезают массы породы, а вместо нее остаются анфилады пещер, галерей и пропасти..

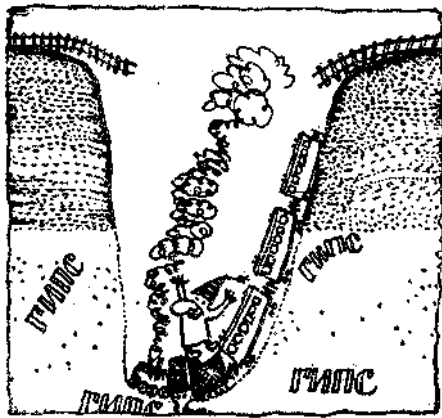


Рис. 15. Карстовая воронка в гипсах

Вода, пробивающаяся через массивы растворяющихся пород, постепенно насыщается солями, в которые переходят минералы. Если она испаряется, то исчезнувшие минералы опять появляются на свет, но уже в новом месте. Примером могут служить образующиеся в пещерах красивые кальцитовые или гипсовые сосульки. Они формируются при кристаллизации солей, происходящей в ходе испарения капель воды. Если этот процесс возникает на потолке — сверху вниз растет сталактит. Если капля успевает упасть на пол, то, испаряясь, она оставляет кристаллы содержащихся в ней солей. В таком случае с пола постепенно поднимается сталагмит. Если это явление продолжается достаточно долго, то в конечном счете сталактит соединяется со сталагмитом и образуется колонна.

Кто не помнит замечательного описания карстовой пещеры, сделанного Марком Твенем в «Томе Сойере»:

«... В одном месте они нашли просторную пещеру, где с потолка спускалось множество блестящих сталактитов длиной и толщиной с человеческую ногу. Они обошли эту пещеру кругом, любуясь и восхищаясь ее красотой... Родник протекал в самом центре какой-то высокой пещеры: ее стены подпирались рядами фантастических колонн, созданных благодаря слиянию больших сталактитов со сталагмитами в результате многовекового падения капель воды...»

Так, «исчезающие» минералы, переходя в растворы, превращаются в «путешественников» и движутся с потоками воды к новому месту своего «рождения».

Нередко гипс и кальцит оказываются в составе глинистых грун-тев. В них может возникнуть движение влаги по порам и трещинам (например, при проникновении в массивы воды из искусственных морей). В этом случае кристаллы таких минералов постепенно растворяются и выносятся. Конечно, карст тогда не образуется. Однако если на этих грунтах построены здания или какие-нибудь сооружения, то нередко в последних возникают деформации, а то и разрушения.

Особую опасность представляют промышленные воды, содержащие вещества, ускоряющие растворение карбонатов и сульфатов.

РУКОТВОРНЫЕ ГРУНТЫ

Миллионы лет назад человек слез с дерева, выпрямился, взял в руки палку, развел первый костер и превратился в... производителя искусственных грунтов. Поколения сменялись поколениями. Люди строили, рыли землю, пахали, возводили насыпи и дамбы.

Пройдитесь по берегу Керченского залива. Здесь, в таманских берегах, как бы законсервирована человеческая история. В обрывах, достигающих 15 и даже 20 м, видны какие-то широкие красные прослои. Подойдите поближе и присмотритесь. Вы увидите, что такой слой состоит из черепков керамических сосудов. Да и на пляже волны перекатывают все те же самые обломки древней посуды. Здесь когда-то были центры Боспорского государства — Фанагория, Пантикапей и другие города, существовавшие еще в V в. до н. э. Но, по всей вероятности, культурные слои стали накапливаться еще в догреческое время. Вот и стоит современный город Тамань на 10. — 15-метровой толще «рукотворных» грунтов.

С глубокой древности человек стал формировать на поверхности «культурные слои». Еще 100 — 200 лет назад мусор выбрасывался, прямо на улицу. Несмотря на то, что значительная часть его уносилась водой и ветром, отходы постепенно накапливались, образуя подчас многометровые толщи.

Прошли многие тысячелетия, прежде чем деятельность человека превратилась в мощный геологический фактор. Это произошло лишь в XX в.

Крупнейший советский геохимик, академик В. И. Вернадский в 1944 г. писал, что «человек становится крупнейшей геологической силой». Человеку стало по плечу изменение «лика Земли». Ученый, сделал вывод, что Земля переходит в новую стадию развития ноосферы — сферы разума.

Одна из особенностей деятельности человека — создание им. мн. лодых искусственных грунтов. Они образуются как путем переработки естественных пород земной коры, так и за счет концентрации отходов его бытовой и промышленной деятельности.

Сегодня человек каждый год извлекает из естественных массивов перевозит и вновь укладывает на поверхность более $6,5 \text{ м}^8$ искусственных грунтов.

За последние 150 лет на горнодобывающих предприятиях извлечено из недр более 1600 км^3 грунта. Подумайте о грандиозности этой цифры!

Давайте представим это количество. Простой подсчет показывает, что этого грунта достаточно, чтобы воздвигнуть горную систему, равную по высоте Эльбрусу, шириной 10 и длиной 60 км.

Много искусственных грунтов образуется при строительстве. Так, одни только дорожники до настоящего времени создали искусственных грунтов более 245 км^3 . Это тоже горная система, правда, более скромной высоты — 2 км и длиной примерно 30 км. В сельском хозяйстве каждый год перерабатывается около 7000 км^3 почвы. Это параллелепипед высотой 10 км (выше чем Эверест), шириной 10 км и длиной 70 км. Такая деятельность человека привела к образованию на значительной территории поверхности земли слоя искусственного грунта. Его мощность в разных местах колеблется от нуля до нескольких сот метров.

В подавляющем числе городов люди живут на толщах искусственно образованных грунтов. Давайте прогуляемся по городам. Вот красавец Киев. Здесь большая часть зданий расположена либо на срезанных буграх, либо на засыпанных оврагах. Человек ухитрился в отдельных местах насыпать до 55 м новых, созданных им грунтов и на них возвести много красивых многоэтажных зданий.

Замечательная столица нашей Родины — Москва имеет почти на всей поверхности искусственные грунты. Их слой колеблется от 2 до 50 м. Достаточно сказать, что в ходе совершенствования территории города люди насыпали более сотни рек, ручьев и оврагов.

Ф. В. Котлов, изучавший в течение многих лет эти «рукотворные» грунты в различных городах, установил, что в среднем их мощность (в м) составляет: в Одессе — 45, Воронеже — 20, Ташкенте — 18, Ленинграде — 10, Лондоне — 25, Париже — 20 и т.д. Он дал им название «антропогенные» (см. рис. 4).

Но это еще не все. Кто не любовался, проезжая через Донбасс, Соликамск, Кривой Рог, Воркуту, искусственными горами — терриконами. Это рукотворные горы высотой 50 — 100 м, а иногда даже до 300 м. Они, как «богатыри Черномора», шагают по равнинам, на которых разбросаны шахты. В Донбассе насчитывается более 1600 таких искусственных гор. Эти массы грунтов (так называемых «пустых» пород, не содержащих угля) были извлечены горняками из недр земли и выброшены на поверхность.

Академик А. В. Сидоренко утверждал, что при горных работах только в нашей стране извлекается из недр более 8 млрд. т пород в год. Вся эта масса превращается в искусственные грунты.

Даже и это еще далеко не конец. Сейчас стоит важный вопрос: что делать с массой бытовых и производственных отходов? Ф. В. Котлов, показал, что одних только бытовых отходов в городах и селах образуется более $0,5 \text{ млрд. м}^3$ в год. В США каждый год выбрасывается на свалки 6 млн. т пластмассы, 52 млрд. жестянок из-под консервов, 40 млрд. стеклянных банок и бутылок, 100 млн. шин и т.д.

Часть этих отходов идет на вторичную переработку. Например, старые автомашины обжимаются в мощных прессах и направляются на переплавку; ценным сырьем для бумажной промышленности является макулатура. Но пластмассовые отходы, зола, шлаки, большинство отбросов химической промышленности, часть стеклянной тары часто оказываются неэкономичными для вторичной переработки и использования. И вот громоздятся горы мусора и производственных отходов. С течением времени они слеживаются и превращаются в искусственные грунты, которые все больше и больше покрывают поверхность земли.

В городах для уничтожения бытовых отходов и мусора стали использовать специальные установки. В последнее время в Будапеште начала работать крупнейшая мусоросжигательная

станция. Четыре топки каждый час перерабатывают 15 т городских отходов (около 60% всего городского мусора). Получаемая энергия идет на тепло-и электроснабжение города. В результате этого процесса образуется шлак, который в 6 раз меньше по объему, чем начальный объем мусора, и может быть использован для строительной промышленности. В США даже сделана попытка использовать ядерное горючее для уничтожения отходов.

В нашей стране пищевые отходы собираются и направляются на животноводческие фермы для переработки в питательную биомассу.

Техника, в свою очередь, стремится использовать некоторые производственные отходы, например шлаки, как дорожные материалы, сырье для получения строительных изделий и как искусственные грунты для возведения насыпей. Так, шлаковые отвалы Донбасса, образованные еще до 40-х годов, оказались достаточно надежными, чтобы можно было бы на них возводить высотные здания. И вот на 58-метровой толще шлака были построены и прочно стоят много лет высотные жилые корпуса.

На рукотворных грунтах сейчас строятся новые городские районы многих городов нашей Родины (например, Левобережный район г. Киева).

Строители научились уплотнять рыхлые грунты свалок и делать их достаточно надежными как основания для построек.

Ученые понимают, что искусственные грунты занимают в нашу эпоху столь значительные территории, которые постоянно увеличиваются, и столь многообразны, что они становятся достаточно серьезным объектом для исследования.

Многолетнее изучение этих рукотворных грунтов позволило многое выяснить. Установлен ряд закономерностей, определяющих их свойства. А это необходимо знать, чтобы строить здания на бывших свалках и промышленных отходах. Кроме того, рукотворные грунты в ряде случаев могут служить сырьем для различных производств.

Свойства таких грунтов прежде всего зависят от состава свалки. Бесспорно, самыми слабыми являются органические отбросы. Это не требует доказательства, достаточно лишь вспомнить гниющие кучи «кухонных и бытовых» отходов.

Более прочны скопления строительного мусора, шлаков, отвалы горнодобывающих предприятий. На них можно строить после того, как они слежятся и уплотнятся. Большую роль играют способ укладки этих отходов и время, прошедшее с момента формирования отвалов.

Современные городские свалки в возрасте 20 — 25 лет отличаются малой плотностью и сжимаемостью. Для их полного уплотнения (чтобы на них можно было строить) необходимо от 30 до 40 лет.

Совсем иначе обстоит дело со строительно-бытовыми накоплениями. Для их уплотнения достаточно от 8 до 20 лет. Правда, если они содержат много органических веществ, то этот срок увеличивается до 40 лет. Известно, что при разработке карьеров образуются большие отвалы. Если они состоят из песчаного материала, то такие насыпные толщи быстро уплотняются в течение 1 — 5 лет. Когда отвал сложен глинистыми грунтами, то слеживание идет медленнее. На них можно строить только через 5 — 10 лет.

Хуже обстоит дело с отвалами химических предприятий. Например, при добыче калия образуются мощные отвалы высотой 40 — 100 м. Они состоят из обычной каменной соли. Однако в них содержатся примеси некоторых веществ, которые делают неэкономичным извлечение из них соли для бытовых и технических нужд. Эти искусственные грунты отравляют окружающие водоемы, губят прилегающие к ним леса. Использовать их как основание для зданий по ряду причин затруднительно.

Вообще, вопрос утилизации отходов химической промышленности пока остается проблематичным. Лишь небольшая часть их находит вторичное применение, что в настоящее время явно недостаточно.

Новые районы быстрорастущих городов уже давно ушли за пределы бывших загородных свалок. Это делает необходимым освоение и застройку их территорий.

Рукотворные грунты — результат бытовой и производственной деятельности людей — являются новым типом горных пород. Они захватывают все более обширные поверхности нашей планеты.



Ослепительное солнце. Веселые волны ритмично набегают на берег и, обессилев, откатываются назад. пляж заполнен людьми. Одни загорают, другие устремляются в море. Дети с радостными криками носятся по мелководью.

Взгляните, два мальчика почти у самой воды возводят из песка удивительные зубчатые башни. Зачерпывая в ладошки мокрый песок, они тонкой струей выливают эту жидкую массу на все выше и выше растущие островерхие сооружения. На берегу постепенно поднимается фантастический город.

Неподалеку на теплом сухом золотистом песке сидит девочка. Она с любопытством наблюдает за действиями «строителей» башен. Затем, зачерпнув ладошкой сухой песок, сама пытается возвести около себя такую же постройку. Ее попытки тщетны. Песок падает на поверхность и затем золотыми струйками растекается в стороны с образующегося бугорка.

Задумывались ли вы когда-нибудь, почему мокрый песок приобретает ощутимую прочность, а сухой легко рассыпается? Казалось бы, в мокром песке много воды, которая должна была бы служить своеобразной смазкой между частицами и уменьшать связи между песчаными зернами. А вот башни из мокрого песка держатся довольно устойчиво. В то же время сухой песок течет во все стороны даже с небольшого холмика.

Как трудно шагать по песчаной дороге или по сухому песку пляжа. На каждом шагу ноги погружаются в сыпучую массу. Вы пытаетесь оттолкнуться, но песок упрямо скользит под ногой и нужны значительные усилия, чтобы двигаться вперед. Установлено, что для движения по сухому песку человек затрачивает примерно в два раза больше усилий, чем на шоссе.

Но вот вы вышли на участок песка, увлажненный набегающими волнами. Под ногами, казалось бы, тот же песок, но плотный и упругий. Со вздохом облегчения вы ускоряете движение. Ноги ступают по плотной песчаной поверхности. Ощущение такое, как будто бы вы идете по асфальтовой дороге.

Почему же так трудно идти по сухому и так легко двигаться по влажному песку?

Давайте зачерпнем в ладонь немного сухого песка. Он легко скользит в вашей руке. Если подуть на него, то песчинки взлетают в воздух и неторопливо оседают на землю. Зернышки в сухом песке чаще всего существуют самостоятельно, не образуя друг с другом «объединений» (раздельнозернистая структура), что делает этот удивительный грунт сыпучим и очень подвижным.

Вспомните старинную притчу о безрассудном человеке, вздумавшем построить свой дом на песке. Он простоял до первого ненастного дня, когда пошел дождь и подул ветер. И вот результат — дом разрушился. Отсюда пошло выражение «построить дом на песке».

А с другой стороны, из песка построены тысячи дамб и плотин. На песчаных толщах возведены десятки тысяч зданий. Болотистые равнины в районе Ленинграда намываются морским песком, и на этом песчаном основании возводятся новые районы города.

Буксующие в песке машины — и многоэтажные дома, стоящие на этом же самом грунте. Как это совместить?

Это ведь тоже «двуликий Янус»! Что же такое — песок?

Ученые отвечают на этот вопрос исчерпывающе: «Песок — это грунт, состоящий главным образом из частиц размером от 2 до 0,25 мм и обладающий раздельнозернистой структурой». Песчинки настолько велики, что их можно видеть невооруженным глазом. Однако давайте рассмотрим их под микроскопом. На рис. 16 показаны частицы песка, увеличенные в 30 раз. На

первый взгляд все пески состоят примерно из одинаковых минеральных частиц. Но если мы возьмем пески с пляжа, с берега реки, из пустыни Каракум и других мест, то обнаружится, что они разные. Прежде всего бросается в глаза, что одни из них состоят в основном из крупных частиц, а другие — из мелких, третьи содержат набор самых различных по размерам песчинок.

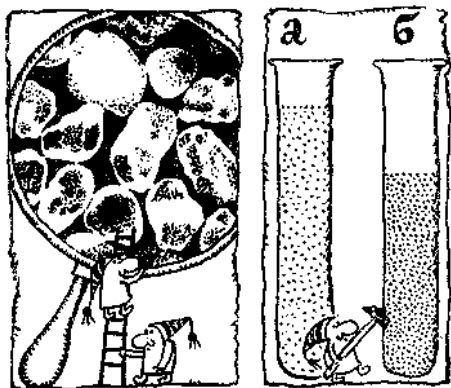


Рис. 16. Зерна песка под микроскопом. Ув. 30

Рис. 17. Рыхлый песок (а) и песок, уплотненный постукиванием (б)

Если присмотреться к пескам, взятым из разных мест, то еще одна особенность предстанет перед наблюдателем. Оказывается, форма частичек самая различная: в пустынных песках они окатанные и имеют сглаженные очертания, как говорят, «округлую форму». Среди них нередки буквально шарообразные песчинки. А вот песок, зачерпнутый нами у подножия горного склона, состоит из совершенно неокатанных, остросеребряных частичек, часто сохраняющих следы кристаллических очертаний. В песках, взятых с пляжа, мы обнаруживаем и сравнительно окатанные и слабоокатанные зерна.

Минералоги установили, что подавляющее число песчинок состоит из кварца — очень прочного и твердого минерала. Реже встречаются и другие минералы (полевые шпаты, слюды и т.д.). Такой состав этого грунта связан с тем, что песок образуется в результате выветривания гранитов, гнейсов и других скальных грунтов. Их разрушают, как мы уже говорили, температурные колебания, мороз, солнечные лучи, растительность и другие природные факторы, действующие на поверхности нашей планеты. Постепенно все составные части этих пород уносятся, растворяются, а кварц, как один из наиболее устойчивых минералов, сохраняется. Затем его кристаллы скатываются к подножию массива гранита и здесь со временем накапливаются. Потом вода и ветер переносят кварцевые зерна на большие расстояния. При движении они ударяются друг о друга, перетираются и изменяют форму. Наиболее сильно обрабатываются зерна в воздушном потоке, где они имеют возможность чаще сталкиваться друг с другом. В речном потоке и морской среде вода всегда разделяет частицы, затрудняя их столкновения, поэтому обработка зерен происходит менее интенсивно. Миллиарды песчинок путешествуют многие тысячелетия и миллионы лет. Если бы частицы песка могли говорить, то они поведали бы интереснейшие истории. Бывает и так, что мелкие зерна кварца, оставшиеся от своей «материнской» породы, сначала переносятся ветром на сотни километров, затем подхватываются и перемещаются дождевыми потоками, попадают в реки, а оттуда в моря. Наступает передышка. Но вот дно морского бассейна поднимается могучими горообразовательными силами — и пласт песка (чаще всего успевший стать песчаником) оказывается частью горного хребта. И опять выветривание, и снова песчинки начинают новый этап путешествия.

Как не сопротивляется кварц, но и он в конечном счете поддается процессам разрушения. В результате на поверхности зернышек образуется пленка нового минерального вещества, чаще всего опала ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) или какого-нибудь глинистого минерала.

Таким образом, в ходе своих путешествий зерна окатываются, дробятся, и на их поверхности появляются тончайшие пленки.

Вы скажете, что все это хорошо, но причем здесь особые свойства песка, о которых шла речь в начале нашего рассказа?

На первый взгляд связи нет. Однако давайте возьмем сухой песок и насыпем его тонкой струей в стакан, заполнив его доверху. А теперь положим на стол резину и начнем по ней постукивать дном стакана. Через несколько минут песок уплотнится и стакан окажется примерно на четверть пустым.

Ученые установили, что благодаря своеобразию формы и размеров сухих песчаных частиц при подобной укладке возникает особое рыхлое их расположение, а затем в ходе вибрации и уплотнения

они стараются расположиться более компактно (рис. 17). Песок становится плотным. В природе наблюдаются такие же рыхлые и плотные пески. Вот здесь и время вспомнить о путешествии зерен. На разных его этапах плотность отлагающихся слоев песка оказывается различной. Наиболее рыхлыми являются песчаные грунты, накапливающиеся в воздушной среде, например в нижних частях склонов (так называемые делювиальные) или после переноса ветром (эоловые). В песках, образующихся в водной среде, укладка зерен обычно более плотная.

Если через песок пропускать воду, то его частицы будут перераспределяться ее потоком, образуя плотную массу. Этот прием часто используется строителями для уплотнения рыхлых песков.

Теперь, наверно, ясно, что притча о «доме, построенном на песке» относится к случаю его возведения на рыхлом, сухом песчаном грунте. Строители знают, что строительство зданий на таком песке может быть опасным, а двигаться по нему трудно и человеку, и автомашине. Попавший в такой грунт автомобиль начинает буксовать. Это связано с отсутствием между песчинками связей и малой плотностью песка. И ноги человека, и колеса машины «утопают» и нем и скользят.

Остается выяснить, почему держатся башни из мокрого песка, которые мы видели на пляже, а также, почему мокрый или простовлажный песок может выдерживать значительные давления?

Дело вот в чем. Если в песке много воды, он может растекаться, с другой стороны, если вода быстро уходит по его крупным порам, то под давлением потока возникает перемещение песчинок. Они сдвигаются в крупные поры. Это вызывает их заполнение и ведет к возникновению плотной упаковки частиц. Таким образом, уменьшается величина активной пористости, и система становится компактнее. Но это еще не все. Во влажном песке остается какое-то количество влаги в щелевидных пространствах между частицами. Она получила наименование капиллярной воды. Эта вода и создает между частицами капиллярное давление, которое как бы стягивает зерна и является главной причиной того, что «сказочные» башни из пляжного сильно влажного песка не разрушаются. Капиллярное давление лежит и в основе повышенной плотности влажного песка.

В заключение нельзя не сказать о роли в природе высокой активной пористости песков, о которой шла речь в первом разделе книги.

Мы уже знаем, что благодаря ей песок хорошо проводит воду. Это его качество делает пески одним из главных «коллекторов» (или собирателей) подземных вод. Значительная часть основных запасов чистой питьевой подземной воды связана с пластами песков.

Таким образом, песчаные грунты — важный элемент геологической среды. Но нельзя забывать, что они могут явиться и путем проникновения в недра земной коры загрязняющих технических и бытовых вод. Поэтому борьба за чистоту подземных вод в некоторой степени связана с охраной песчаных пространств от проникновения в них грязных и отравленных растворов.

Загадочное поведение песков



Однажды в полдень еще в конце прошлого века, после нескольких дней затяжных нудных дождей, на правом берегу р. Волги произошло неожиданное событие. С шумом в русло реки устремился мощный поток песка. Обширная полоса берега пришла в движение. Она захватила полукилометровый участок высокого 20-метрового берегового уступа. Сотни метров железнодорожного пути вместе с рельсами и шпалами были исковерканы и перенесены на десятки метров. В реку ворвались потоки песка, образовав в воде многочисленные песчаные островки...

На р. Миссури в США была построена из намывного песка плотина, ставшая известной благодаря крупнейшей в истории американского гидроэнергетического строительства катастрофе. В один из весенних дней несколько миллионов кубических метров песка пришло в движение. Его разжиженная масса текла, подобно речному потоку...

Не правда ли, удивительное поведение песчаного грунта? Давайте вспомним строки из романа Уилки Коллинза: «Песчаные холмы спускаются тут к морю и оканчиваются двумя остроконечными скалами, выступающими из воды друг против друга... Между этими двумя скалами лежат самые ужасные зыбучие пески на всем йоркширском побережье. Во время отлива что-то происходит в их глубине, заставляя всю поверхность песков колебаться самым необычным образом... Большая насыпь, тянущаяся на полмили возле устья бухты, сдерживает напор океана. И зимой и летом, когда прилив заливал пески, море как будто оставляет свои волны на насыпи, катит их, тихо вздымаясь, и бесшумно покрывает песок...».

Другой английский романист Роберт Стивенсон пишет: «Выступ скалы поднимался над песками, образуя мыс между двумя бухтами, а за линией прибоя снова вздымался небольшим островком, круто обрывающимся в море. При отливе обнажались широкие полосы зыбучих песков — гроза всей округи. Говорили, что у самого берега, между мысом и островом, эти пески поглощали человека в четыре с половиной минуты...»

Можно и дальше приводить и литературные и фактические сведения об этих удивительных песках — зыбучих, плавучих, как вода, и образующих странные водно-песчаные потоки.

Что же это за пески? Почему такой хорошо известный нам грунт ведет себя столь загадочно — превращается в грозу и ужас побережий и дает неожиданные катастрофические потоки?

Исследования грунтоведов показали, что секрет подобного поведения песков заключается в их способности в водной среде образовывать своеобразные, крайне рыхлые структуры. Для этих «странных» песков прежде всего характерны преобладание мелких частиц (размером менее 0,25 мм) и присутствие некоторого небольшого количества совсем тонких — пылеватых и глинистых частиц (размером 0,01 — 0,002 мм и менее). Чаще всего эти примеси образуют весьма тонкие пленки вокруг песчинок. Они даже тоньше пленок в зернисто-пленчатых структурах супесей и суглинков.

Зыбучие пески формируются на берегах тех морей, где регулярно происходят значительные приливы и отливы. Наблюдательные романисты подчеркивали, что участки с такими песками, как правило, отделяются от открытого моря островками и косами. Последнее обстоятельство и приводит к задержке песка, накопившегося на побережье, и уменьшению скорости приливно-отливного движения морской воды.

В ходе прилива частицы песка взвешиваются морской водой. Следующий за этим отлив, замедленный трудностью оттока воды, ведет к преимущественно вертикальному перемещению частиц. Так

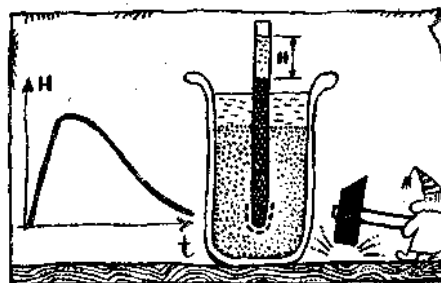
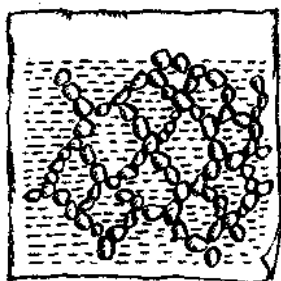


Рис. 18. Вот как громоздятся песчинки в зыбучих песках

Рис. 19. На таком простом приборе Е. Д. Кадомский показал процесс разжижения песка (по П. Л. Иванову).

Диаграмма показывает изменение уровня H с течением времени t как этот процесс не заканчивается полным отступлением воды, песок остается водонасыщенным и сохраняет особое ультрарыхлое расположение зерен. Песчинки громоздятся друг на друга, образуя крайне неустойчивую структуру (рис. 18). Характерная черта подобной ультрарыхлой системы заключается в том, что ее равновесие держится «на острие ножа». Достаточно сместиться нескольким частицам, как начнется своеобразная «цепная реакция» разрушения структуры. При этом будет происходить перемещение частиц внутрь песчаного массива.

Если на поверхность такого песка положить какой-либо предмет, то песок начнет быстро засасывать его внутрь. Мощность подобных песчаных грунтов может достигать многих метров, и тогда зыбучие пески способны затягивать в свою толщу крупные предметы, даже людей и лошадей. Вот в чем секрет этих загадочных песков.

Мы разобрались с зыбунами. А как же быть с потоками песка?

Катастрофическое разжижение песчаного грунта связано прежде всего с присутствием в его составе тонких частиц, а также со значительным водонасыщением. Коллоидные примеси и создают особые неустойчивые структуры. Было обнаружено, что толчки и удары, вызванные землетрясением, взрывами, движением транспорта, могут оказаться причиной разжижения песка, при котором частицы теряют на какое-то время взаимную связь. В науке это явление назвали тинсотропией (греч. *thixis* — прикосновение, *trope* — поворот). Такой грунт неожиданно резко разрыхляется и теряет структуру. Вода в его порах довершает этот процесс разрушения. И вот результат — разрушительный поток водонасыщенного песка, устремляющийся вниз по уклону.

Советский ученый П. Л. Иванов обнаружил, что даже сравнительно чистые пески также способны неожиданно терять прочность и переходить в текучее состояние.

Простой опыт Е. Д. Кадомского показывает, как проходит этот процесс. Нужно взять стакан, наполненный водой, и вставить в него вертикально трубку, конец которой обтянут металлической сеткой. Затем насыпать в стакан тонкой струей песок. Если после этого ударить молотком по столу, на котором стоит стакан, то песок почти мгновенно перейдет в разжиженное состояние. Положим на его поверхность какой-либо предмет, например ключ. В момент удара он мгновенно утонет. После разжижения возникает противоположное явление — уплотнение. Оно приводит к тому, что в трубке возникает быстрый подъем уровня воды (рис. 19). Это свидетельствует о том, что уплотнение песка вызывает давление в воде, заполняющий его поры.

П. Л. Иванов установил, что разжижение водонасыщенного песка представляет собой процесс разрушения структуры, а затем уплотнения и уменьшения прочности.

Так объясняются секреты текучих и «зыбучих» водонасыщенных песков.

ЕЩЁ одна загадка ???? + ?

Велись работы по строительству Легбергского тоннеля в Швейцарии. Все шло в соответствии с планом постройки. Было пройдено более 1500 м тоннеля. Когда начала работать ночная смена, трудно было предвидеть, что многие из рабочих не вернуться к своим семьям. В ходе работ для того, чтобы убрать камень, встретившийся на пути проходчиков, был произведен небольшой взрыв. Вслед за ним, когда рассеялся дым, все увидели, что по пройденной части тоннеля с большой скоростью и со страшным шумом несется какая-то серая масса. Раздались крики ужаса, люди бросились со всех ног от надвигающегося серого потока. Его скорость движения была столь велика, что он быстро настиг и начал поглощать беглецов. Спасти удалось немногим. Позднее выяснилось, что в тоннель прорвался поток водонасыщенного песка. Он привел к гибели 25 человек и затопил тоннель на расстоянии 1300 м. Пришлось приостановить строительство и изменить трассу тоннеля.

При строительстве цеха судоверфи в долине одной из рек строители стали вскрывать котлован. Когда его глубина достигла 2,5 м, с его стенок начал потоками поступать песок. Он образовал упругую плотную массу. Строители ускорили темп работы. За день ценой больших усилий им удалось достигнуть глубины 3,0 м. Когда они пришли утром, песок заполнил значительную часть котлована. Замер показал, что выемка вместо 3,0 м имела только 1,8 м. Но все же котлован было нужно отрыть. И вот опять энергичная работа. Из стенок продолжают плыть потоки песка. Время от времени происходит обрушение целых участков откосов котлована. После нескольких часов работу все-таки пришлось остановить. Неожиданно поверхность земли в 10 м от котлована опустилась и стоявший здесь небольшой кирпичный склад с грохотом обвалился. К вечеру котлован опять был почти до верха заполнен влажным песком. Никаких следов двухдневной работы строителей не сохранилось. По песчаной поверхности, образовавшейся внутри котлована, можно было ходить как по асфальту. Если начинали на ней прыгать, вся масса мокрого грунта приходила в движение и начинала вибрировать. Однако если люди стояли несколько минут неподвижно, то начиналось засасывание. Через 15 мин уже трудно было выдернуть ноги из песка.

Это явление получило наименование пльвуна.

Пльвуны уже в XIX в. обратили на себя внимание производственников. Они затрудняли возведение опор мостов при строительстве Транссибирской магистрали. Много неприятностей они доставили и продолжают доставлять до настоящего времени метростроителям.

Грунтоведы и строители детально исследовали это явление. Одни считали пльвуны особым типом грунтов, а другие утверждали, что в пльвунное состояние могут перейти почти все рыхлые грунты.

В спорах рождается истина. Еще в 20-х годах нашего столетия ученый А. Ф. Лебедев, изучавший это явление, пришел к убедительному выводу о существовании двух групп пльвунов. Первая из них связана со взвешивающим и гидродинамическим (напорным) воздействием потоков грунтовых вод на частицы грунтов. Их он считал «псевдопльвунами», т. е. ложными пльвунами. Вторая группа водонасыщенных грунтов приходит в движение из-за содержания в них тонких коллоидных частиц. Этот вид пльвунов он назвал «истинными».

Интересные исследования были проведены В. В. Разиной. Она населила песок микроорганизмами — силикатными бактериями. Продуктами их жизнедеятельности были слизь и газы. Пески приобрели «пльвучно свойства. По всей вероятности, в ряде природных пльвунов причина подвижности может иметь и микробиологическую природу.

В некоторых истинных пльвунах были обнаружены значительные примеси органического вещества. Оно явно усиливало подвижность песчаных грунтов.

Ученые работают над проблемой создания «искусственных» пльвунов путем введения в пески микроорганизмов. С их помощью собираются облегчить извлечение на поверхность полезных ископаемых, связанных с такими песками (например, фосфоритов).

Так, успешно была раскрыта еще одна загадка природы.

В заключение отметим, что переходить в пльвунное состояние могут не только пески, но и ряд пылевато-глинистых грунтов, а при значительных напорах воды в движение могут приходиться даже гравийно-галечные грунты..

КАК ПЕРЕХИТРИЛИ ПРИРОДУ

Возникает естественный вопрос: «Как же строить, если толщи грунтов состоят из пльвунов?» А ведь они встречаются прежде всего в долинах рек, где особенно часто возводятся мосты, набережные, плотины и предприятия. Инженеры-геологи и в первую очередь грунтоведы много поработали, чтобы найти способы останавливать песчаные пльвунные потоки.

Первыми стали использоваться механические способы укрепления стенок котлованов. Забивались шпунтовые ограждения — своеобразные «заборы», задерживающие движение пльвунов. Псевдопльвуны закреплялись наиболее просто: их обезвоживали, снимали напор воды, и песок уплотнялся. Эти работы осуществляли при помощи дренажных траншей, откачки воды из скважин или особых устройств, называемых иглофильтрами.

Но как поступать с истинными пльвунами? Мы уже знаем, что; они содержат много тонких частиц, поэтому обладают весьма незначительной водопроницаемостью. Попытки откачивать воду из таких пльвунов оказались тщетными. Они не хотели ее отдавать. Объяснение этого явления довольно простое: коллоидные частицы задерживают воду в порах.

Канавы, вскрытые в истинных пльвунах, не только не собирают воду, но и быстро заплывают текучей массой пльвуна. Он, как губка, забирает воду и не отдает ее. Даже при неполном водонасыщении такой пльвун растекается, подобно вязкой жидкости.

Как же быть? Как построить фундамент в таком грунте? Здесь на помощь приходят грунтоведы, занимающиеся разработкой методов улучшения свойств грунтов. Об этом разделе науки, названном технической мелиорацией грунтов (не путайте с совсем другим понятием — сельскохозяйственной мелиорацией почв), речь пойдет ниже.

Раз не удастся обезвоживать, то нужно попытаться закрепить во-донасыщенный истинный пльвун вместе с водой в порах. И вот предложили замораживать грунт. Самым простым вариантом, который применили еще в XIX в., было, использование естественного холода. Если зимой вскрыть поверхность пльвуна, то на морозе она начнет замерзать. Тогда остается только скалывать слоями ледяной слой пльвуна до необходимой глубины. Но что делать, если зима мягкая или наступает длительная оттепель? Ведь процесс промерзания идет очень медленно. Для ускорения специалисты предложили укладывать в водонасыщенный пльвун змеевик из металлических труб, а через него вентилятором прогонять морозный воздух. Это усовершенствование несколько ускорило образование ледяного слоя. Но опять нужен мороз, а если его нет?

Тогда решили применить искусственный холод. Для этой цели создали установки, в которых основной частью является холодильная камера. В ней низкая температура достигается путем введения жидкого аммиака. В условиях резкого падения давления он испаряется, интенсивно поглощая тепло. Пройдя через камеру и отдав холод, аммиак далее направляется в компрессор, где он опять сжижается.

Внутри холодильника установлен змеевик, по которому движется жидкость. Она представляет собой водный раствор поваренной соли. Известно, что он замерзает при — 35 °С. Испарение же аммиака снижает температуру только до — 26 °С.

Охлажденный раствор направляют в специальные скважины. Циркулируя по ним,, он вызывает образование вокруг скважин ледяного столба диаметром до 1,5 м. Если пробурить серию скважин через 1,5 — 2 м, то образуется сплошная ледяная завеса, под прикрытием которой можно строить. Она сохраняется в грунте до 2 — 3 мес.

Замораживание получило широкое распространение. Особенно часто его применяют при строительстве метрополитена.

Но поиски ученых и инженеров продолжаются. А если в истинные пlyingуны вводить какое-либо вещество для увеличения их прочности?

Впервые этот способ применили еще в конце XIX в. сибирские мостовики. Умельцы предложили высыпать в котлован с пlyingунами ржаную муку. В котлован сбросили -пару мешков ржаной муки, перемешали ее с пlyingуном и оставили стоять до следующего дня. Утром котлован был отрыт до требуемой глубины, и стенки стояли как вкопанные, пlyingун, к удивлению инженеров, перестал двигаться. После этого в пlyingуны стали насыпать навоз, древесный уголь и другие вещества и, как правило, получали положительный результат.

С тех пор прошло много времени и грунтоведы научились закреплять пески-пlyingуны введением жидкого стекла. Такой метод получил название силикатизации грунтов (он рассматривается ниже). Используются для этой цели и другие вещества, например троамидные смолы. В последнее время получены хорошие результаты закрепления грунтов новым методом — электроплавлением. Он заключается в установке в толще пlyingунов графитовых электродов. При пропуске через них электрического тока они нагреваются до 2500 °С. Окружающий их песок плавится и спекается, образуя прочную стенку из расплавленной породы. Такое спекание происходит уже через 10 мин после начала пропуска электрического тока. Однако пока этот метод применяется редко, так как он требует большой затраты электроэнергии. Некоторые трудности вызывает сложность погружения электродов.

ВИЗЖАЩИЕ, СВИСТАЮЩИЕ И ПОЮЩИЕ

В глубокой древности арабы слышали странные звуки, возникающие на склонах песчаных холмов и барханов. Кочевники не могли объяснить этого необычного явления. Существуют десятки легенд, в которых пение песков связывают со злыми духами, танцами мертвецов и т. п.

Европейцы впервые услышали о поющих песках от Марко Поло. В своем описании пустынь Центральной Азии он рассказывал: «Но есть там чудо: едешь по той пустыне ночью и случится кому отстать от товарищей и как станет тот человек нагонять своих, слышит он говор духов, и почудится ему, что товарищи зовут его по имени... И вот еще, что и днем люди слышат голоса духов, и чудится им часто, точно слышишь, как играют на многих инструментах, словно на барабане...»

А вот как описывают это явление в пустыне юго-западной части Египта очевидцы: «Был вечер... Стояла полная тишина... Внезапно из пустыни раздался вибрирующий гул, быстро нарастающий. Его сила была столь велика, что люди, испуганные этими звуками, вынуждены были наклоняться друг к другу и кричать на ухо, иначе речь тонула в этом могучем реве. Вскоре к этому гулу присоединилась музыка от других источников, приведенных в действие первоначальным нарушителем тишины. Среди несшихся из пустыни звуков иногда можно было различить голоса виолончели, контрабаса или фагота. Этот сверхъестественный хор звучал непрерывно на протя-женин пяти минут, пока не восстановилась опять полная тишина».

В Советском Союзе пользуется известностью 300-метровая «поющая» гора в Казахстане. П. Мариковский так описывает свои ощущения при спуске по ее склону: «...Мы несемся вниз по горе, как йа салазках, и с нами катится лавина песка. Песчаная гора громко гудит и содрогается в такт своей странной музыке. Увлеченные необыкновенным спуском, буйством ревушего песка, хлопая по нему ладонями и отталкиваясь от него руками, мы ускоряем спуск, и гора трясется, как в лихорадке, гул все ширится и растет, дрожание горы все сильнее и сильнее. Но вот и подножие горы, кончается спуск, смолкает внезапно гул и наступает неожиданное безмолвие...»

Автору пришлось встретиться с поющими песками в долине р. Дон, выше бывшей станицы Цимлянской. Тогда еще здесь не плескались волны Цимлянского моря, а на левом берегу р. Цимла у места впадения ее в Дон раскинулась песчаная бугристая пустыня. При движении по ней в один из жарких июльских дней мы заметили, что при каждом нашем шаге по песку он издавал странное негромкое визжание, а иногда свист. Эти звуки настолько нас поразили, что мы больше часа ходили по этому участку и пытались понять происхождение данного явления.

Такие пески известны с глубокой древности на территории КНР. Там около г. Туванг есть «холм поющих песков», описанный еще в летописях IX в. Поющие пески были встречены в США, во Франции, в Великобритании, Перу и других странах. В Советском Союзе они также обнаружены в различных местах: на Кольском п-ове, в Прибайкалье, на Рижском взморье, в долине Днепра.

В чем же причина этого поразительного явления?

Предложено много разных объяснений. Одно ясно, что звучат только чистые, сухие пески. При

этом долинные пески издают тихие звуки высокой тональности, а пустынные — громоподобные, низких Лжов.

Одни ученые объясняют это явление трением кварцевых частиц между собой. Другие считают, что звучание объясняется возникающим при движении расширением и сжатием песчинок. Порождаемые при этом колебания передаются воздуху, заключенному в порах. Он резонирует и, в свою очередь, порождает звуковые эффекты.

П. Мариковский считает, что источником звуков является двухслойная песчаная среда, в которой верхний слой сухой, а под ним лежит влажный песок. Когда по склону движется поток песка, то верхний слой обгоняет нижний. При этом между слоями образуется неровная волнистая поверхность. Несущаяся по уклону песчаная масса ударяет по ней. Эти толчки передаются слоям влажного грунта. Последний под градом этих ударов начинает вибрировать, издавал гул и звуки...

Пожалуй, наиболее убедительное объяснение этому явлению было дано английским ученым Р. Бегнольдом. По его мнению, возникающие звуки связаны с электрическими зарядами, появляющимися на поверхности кварцевых зерен при их перемещении. Сжатие и расширение кристаллов ведут к возникновению так называемых пьезоэлектрических зарядов.

Опыт Я. В. Рожко подтвердил это объяснение. Он взял обычный речной песок, очистил и высушил. Высыпав его в мешочек, он поместил последний между пластинами конденсатора. Затем при помощи простейшей электрофорной машины наэлектризовал его. После этого песок при сжатии в руке стал издавать скрипящие звуки.

Заметим, что «пение» песка возникает только в рыхлом состоянии. Можно с большим основанием предположить, что поверхностные электрические заряды являются причиной не только звучания песка, но и его высокой подвижности и разрыхленности.

Путешественники тюневоле

Караван, не торопясь, двигался по песчаной пустыне. Перед нами до самого горизонта стояли нагромождения барханов, между которыми на такырах виднелись чахлые кустики саксаула. Вдруг наш проводник остановился и стал пристально всматриваться в горизонт. Затем он сказал: «Идет самум». Мы только что успели положить верблюдов, как налетел сухой, горячий ветер. Он поднял в воздух мириады тонких песчинок. Они проникали в нос, рот и уши. Стало совсем темно. Ветер неистовствовал. Казалось, что находишься в печке, столь жаркими были потоки воздуха. Нам показалось, что уже прошло много часов с тех пор, как началось это светопреставление. Но, как внезапно налетел на нас самум, так сразу и прекратился. Я взглянул на часы: оказалось, что он продолжался всего около 20 мин. В результате мы были буквально засыпаны золотистым песком. Во время такого ветра, имеющего скорость более 20 м/с, в воздух поднимаются не только песчаные, но и гравийные частицы диаметром, превосходящим 4 мм.

В пустынях песок собирается в холмы-барханы. Их высота достигает 70 м. Отдельные пирамидальные барханы в Сахаре имеют даже 300 — 500-метровую высоту. Их форма в плане серповидная или пз-луночная, а «рога» барханов вытянуты вперед (рис. 20, а). За год такие барханы под действием ветров перемещаются на многие метры, а иногда даже на сотни метров.

Такие холмы сыпучего песка образуются не только в пустынях, но и на речных и морских берегах. Здесь их называют дюнами. Эти скопления песка можно встретить на берегах Атлантического океана, Балтийского, Северного, Каспийского и других морей. Высота дюн меньше, чем барханов, и не превосходит 100 м. Их вершины даже при небольшом ветре «куряются», подобно вулканам. Форма дюн напоминает барханы, только «рога» у них повернуты в противоположную сторону (см. рис. 20, б). Скорость движения таких песчаных скоплений незначительна и редко превосходит нескольких метров в год. Однако густонаселенные морские берега все равно страдают от этого движения песчаных масс. На берегах Атлантики, во Франции, известны случаи, когда дюны при своем движении засыпали селения. Здесь скорость их перемещения оказалась довольно значительной — до 25 м в год.



Рис. 20. Бархан (а) и дюна (б). Стрелкой показано направление ветра

Так подгоняемые ветром песчинки и путешествуют с места на место. На своем пути они заносят дороги, сады, дома. Очень страдают от песчаных заносов железные дороги Средней Азии.

Можно ли остановить это движение песков?

Оказывается, что можно. Наиболее часто его останавливают посадкой растительности. Например, в районе г. Сестрорецка движение дюн было остановлено посадкой соснового леса. Мощные корневые системы этих деревьев крепко схватывают и удерживают пески дюн от дальнейшего перемещения.

Ботаниками найдены десятки видов трав, кустарников и деревьев, которые могут расти на песках и цепко держать их своими корневыми системами. Это дикая рожь, саксаул, песчаный овес, песчаная акация и др. Сейчас обширные пространства подвижных песков планомерно закрепляются растительностью.

Но не всегда этого оказывается достаточно. На Среднеазиатской железной дороге пришлось применить специальные щиты, задерживающие передвижение песков.

В настоящее время подвижные пески стали закреплять, покрывая их поверхность битумными эмульсиями или обрабатывая концентрированным соляным раствором (рапой). С успехом применяется полиакриламид — особое синтетическое вещество. Если им покрыть песок, то на поверхности образуется прочная пленка. Ее достоинством является пористость. Полиакриламидовая пленка легко пропускает воздух и воду, что позволяет развиваться растениям. Так, человек научился прерывать путешествие песчинок и останавливать движущиеся массы дюн..

ПЕСОК по „КАРТОЧКАМ“



Трудно перечислить «профессии» песка. Где он только не применяется: песок является основной составной частью бетона и главным сырьем для производства стекла; из него изготавливается красивый белый силикатный кирпич; песок используется в керамическом производстве; песчаный материал применяется для изготовления черепицы (цементно-песчаной), красного кирпича, асфальтобетона, дренажей, фильтров и других изделий и устройств.

Наконец, из песка возводятся многочисленные сооружения: дамбы, плотины, дорожные насыпи; укладываются песчаные подушки под фундаменты и т. д.

В последнее время в г. Гданьске (ПНР) стали заменять железобетонные сваи для прибрежного строительства песчаными массивами. После намыва массивов в них вводят специальные вещества, которые быстро затвердевают и превращают песок в прочные опоры.

Широкое использование песка, особенно для нужд строительства, требует непрерывного увеличения его добычи. Во многих странах Европы: Норвегии, Швеции, Финляндии, ФРГ, ГДР и других — «удобные» месторождения песка, расположенные на небольшой глубине от поверхности земли и поблизости от крупных центров, в значительной части выработаны. Приходится устраивать песчаные карьеры все дальше и дальше от потребителя. Это ведет к удорожанию и затруднению доставки песка к строительным площадкам. Более того, во многих районах его запасы подходят к концу. Конечно, песчаных грунтов очень много в пустынях и морях, но добыча и доставка их на большие расстояния превращает такой песок в «золотой».

Немецкий ученый Штайн бьет тревогу по поводу хищнической разработки месторождений песка в ФРГ. Он подсчитал, что сейчас в этой стране карьеры песка занимают 50 км². Если будут сохраняться современные темпы увеличения его добычи, то через 30 лет потребуется занять под такие карьеры ни много ни мало, 600 км².

К 2000 г. доставка песка во многие страны станет серьезной проблемой. Из дешевого сырья он превратится в дорогостоящий материал.

Конечно, запасы песка в мире столь велики, что говорить об их ветещении пока не приходится. Вместе с тем повышение стоимости транспортировки песка заставляет многие страны подумать о более рациональном его потреблении.



Построили новый поселок. Его украсили красивые, как говорят «с иголочки», пятиэтажные жилые дома. Летом счастливые новоселы въехали в свои просторные квартиры. Бурно и весело отметили это событие.

Сентябрь выдался дождливым. Целыми днями шел мелкий дождик. У домов образовались глубокие лужи. В октябре в ряде пятиэтажных зданий появились сначала тонкие, еле заметные трещины. Но время шло, и трещины все росли и росли, становились все более заметными и крупными. Через некоторые из них стал проходить свежий, наружный воздух, затем начали перекашиваться оконные проемы. Вполне естественно, что жители этих домов заволновались.. Это явление стала изучать специальная комиссия строителей. Ее вывод гласил: вследствие сжатия грунтов под весом зданий, возникла их неравномерная осадка, что и явилось причиной растрескивания стен. Был предъявлен иск проектировщикам, которые якобы допустили ошибку и неправильно рассчитали осадку зданий.

Нужно сказать, что подобные расчеты легко проверить. И вот приглашенные эксперты рассмотрели проекты домов и сделали вывод осадка рассчитана правильно, постройки, возведены по всем правилам строительного искусства. А трещины? Эксперты пожали плечами и уехали.

Но и в октябре эта непонятная осадка зданий продолжалась. Жители стали замечать, что трещины с каждым днем все более расширяются.....

Тогда специалисты по грунтам стали внимательно, исследовать загадочное явление. Проведенные геодезические наблюдения, к удивлению всех, показали, что здания не садятся, а, наоборот, поднимаются!

Это озадачило строителей, но специалистам по грунтам сразу «открыло глаза» и позволило обнаружить причину странных деформаций.

Когда исследовали минералогический состав глин, сразу установили, что в их составе содержится значительное количество минерала монтмориллонита. Он и явился «возмутителем спокойствия». Как уже говорилось в предыдущих главах, этот глинистый минерал обладает удивительной способностью к набуханию.

В основаниях построенных зданий залегала многометровая толща таких глин. Влажность их была небольшая, от летней засушливой погоды эти глины в котлованах подсохли и растрескались. Затем на них были возведены постройки. Осенние дожди привели к тому, что в глины по «пазухам» вдоль наружных стен стала поступать вода. И вот результат. Там, где влажность глин повысилась, они начали набухать. На отдельных участках здания приподнялись на 8 — 10 см, вызвав нарушение конструкций и появление трещин.

Интересно было, что при набухании этих глин замеренное давление составило 0,5 — 0,6 МПа. В то же время давление на грунты от веса зданий составляло только 0,2 МПа. Таким образом, давление набухания грунтов оказалось в 2,5 — 3 раза больше, чем давление от веса домов. Отсюда и последовали описанные события.

Такие явления распространены в ряде южных районов нашей страны. Например, в Азербайджанской ССР нередки участки поверхности земли, сложенные толщами набухающих глин. Поэтому в этих местах могут возникать деформации зданий, связанные с увлажнением их оснований.

Подобные же явления были зарегистрированы в ряде других стран (в США, на Кубе, в Бирме и т. д.).

Мы уже знаем, что набухание связано с особенностями кристаллической решетки некоторых глинистых минералов.

А если такие влажные, набухшие глины начнут высыхать? В этом случае возникает противоположный процесс — кристаллические решетки глинистых минералов начинают сжиматься, уменьшая свой объем. Возникает интересное явление — усадка грунта.

При этом процессе в ходе подсыхания глины проявляются силы, сжимающие грунт. Возникают большие давления: до 5 и даже 10 МПа. Причина их появления связана с возрастающими в ходе высыхания капиллярным давлением и межмолекулярными силами.



Рис. 21. Такие трещины возникают на поверхности глин при усадке

Внешне явление усадки состоит в уменьшении объема грунта, его растрескивании и возрастании плотности. Поверхность глинистых грунтов в стенках каналов и насыпей благодаря усадке начинает шелушиться, что приводит, к постепенному разрушению откосов этих сооружений. В засушливых районах образуются узкие и широкие трещины усадки, проникающие в массивы глин до глубины 2 — 5 м. Уменьшение объема при этом процессе может достигать 30 — 40 %. На поверхности таких глин возникает сложный рисунок трещин, разбивающих грунт на своеобразные многоугольники (рис. 21).

Ученые в течение многих лет исследовали явление набухания. Было выяснено, что оно не возникает при небольшом количестве глинистых частиц (размером менее 0,002 мм). Поэтому супеси, содержащие их менее 10 %, почти не набухают. А чем больше в глинистом грунте этих частиц, тем больше набухание. Обнаружилась также зависимость набухания от химических особенностей грунтов, естественной влажности и некоторых других факторов.

Интересно, что если определить сумму объемов воды и грунта, вступающих во взаимодействие, то она окажется больше, чем объем набухшей глины. Поэтому нельзя прогнозировать величину набухания по объему поглощенной грунтом воды.

Главная роль в набухании принадлежит глинистым минералам. Так, глины, состоящие из каолинита, набухают значительно слабее, чем монтмориллонитовые. Минералоги обнаружили, что расстояние между кристаллическими пакетами монтмориллонита при увеличении влажности с 6 до 30 % возрастает в два раза. Это является основной причиной того, что глины с данным минералом так сильно набухают.

Не менее интересен вопрос о продолжительности процесса набухания. В лаборатории было установлено, что для разных грунтов оно колеблется от нескольких до 120 ч и более. Нужно учесть, что речь идет о набухании образцов глин, врезанных в кольцо высотой 2 см.

Большое значение имеет давление, которое развивается в ходе набухания. Обнаружилось, что его величина колеблется для разных грунтов от сотых долей до 1 МПа и даже более.

К набуханию и усадке способны не только глинистые грунты, но и такие, как торф. Кто не знает эту породу, образующуюся в заболоченных низинах в результате отмирания и разложения растений. В Советском Союзе обширная территория — более 70 млн. га — покрыта им. Если производится осушение болот и торф оказывается в непривычной для него «сухой» обстановке, то начинается его интенсивная усадка. Величина ее может достигать 50 % от начального объема.

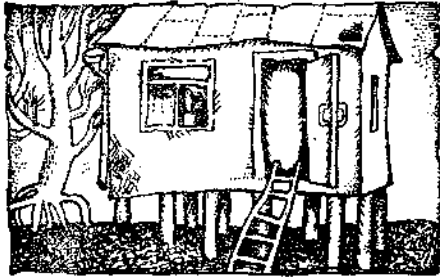


Рис. 22. Сооружение, «висящее в воздухе» из-за усадки торфа при его высыхании

Нередко возникает оригинальная картина: мостки и здания, построенные на сваях на подобных осушенных торфяниках, как будто поднимаются и висят в воздухе (рис. 22). Конечно, природа усадки в этом случае несколько иная. Она связана с потерей содержащейся в торфе воды.

Возникает вопрос: будет ли набухать торф при увлажнении? Если сухой торф смачивать водой, то он, конечно, начнет набухать, но никогда не возвратится к тому объему, который он имел в болотных условиях до осушения.

Полезная и ~~«Зловредная»~~ Влага

Уже в глубокой древности люди обратили внимание на способность глины легко меситься в руках, а при высыхании на воздухе становиться твердой, сохраняя приданную ей форму.

В Институте археологии АН СССР были исследованы глиняные сосуды из неолитических стоянок (6 — 7 тыс. лет назад). Ученые установили, что в те далекие времена посуда делалась из смеси птичьего помета или навоза с глиной. Такие сосуды оказались очень прочными и не боялись температуры 900 °С. Эти изделия сначала не обжигались, как это делалось позднее.

Ряд древних народов изготавливал также плетеные сосуды, обмазанные глиной. Это искусство до сих пор известно некоторым племенам Южной Америки и Африки.

Минули многие сотни и, может быть, тысячи лет, пока какая-то фигурка или глиняный сосуд не оказались случайно в костре. Тогда люди поняли, что побывавшая в огне глина приобретает новые качества. Она становится более прочной, не размокает в воде и изменяет цвет. Так, примерно 6 — 8 тыс. лет назад появилась первая керамика. Можно предположить, что этот век «керамических изделий» предшествовал веку металла (обработка меди началась около 7 тыс. лет назад).

Высокого искусства изготовления из глины керамической посуды достигли древние египтяне, жители Вавилона, ассирийцы, а позднее греки и многие другие народы ушедших цивилизаций. Во времена фараонов в Египте большую группу ремесленников составляли гончары,

В Южном Междуречье (район рек Тигр и Евфрат) из глины делали ведра, ящики, трубы и кирпичи. Хетты (народ, живший в районе Междуречья в XVIII — XII вв. до н.э.) были создателями первых книг — глиняных табличек, которые затем высушивали на солнце или слегка обжигали. Эти таблички были «вечными».

При раскопках древней столицы Ассирии — г. Ниневии археологи обнаружили богатейшую библиотеку, содержащую более 200 тыс. глиняных табличек. Она оказалась поистине сокровищем, раскрывшим многие тайны далеких тысячелетий.

Так глинистый грунт помог в развитии и совершенствовании культуры древних народов.

В современном мире использование глин получило необычайно широкое распространение. На толщах из глины возводят здания и сооружения, из нее изготавливаются красный кирпич, канализационные и дренажные трубы, посуда, изоляторы и много других вещей. Во всем этом многообразии изделий из глинистых грунтов широко используется их способность изменять свои свойства при увлажнении.

Исследования ученых показали, что по мере увеличения содержания влаги глинистый грунт переходит из одного состояния (кон-систендин) в другое. Если влаги мало, то глина сухая и твердая. Теперь начнем постепенно увеличивать влажность грунта. Когда ее величина достигнет «нижнего предела пластичности» (или «границы раскатывания»), глина перейдет в новое состояние пластичной консистенции. Она будет легко меситься, изменять и сохранять приданную ей при сжатии форму. Достижение этого состояния необходимо для формования кирпичей, гончарных труб, черепиц и других изделий. Величина влажности, соответствующая этому пределу (обозначаемому w_p), колеблется для различных глинистых грунтов от 8 до 40%.

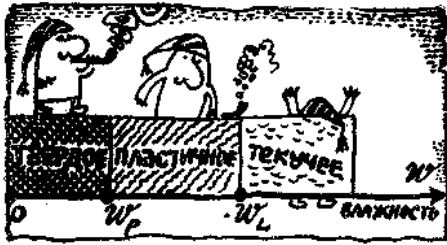


Рис. 23. При возрастании влажности глинистого грунта он переходит в различные состояния

Грунтоведам удалось установить, что столь значительные колебания влажности, соответствующей переходу грунта в пластичное состояние, определяются многими факторами. Главными из них являются химический и минеральный состав и содержание тонких глинистых частиц (менее 0,002 мм).

Если мы продолжим увеличение влажности и дальше, то можем достигнуть верхнего предела пластичности (или границы текучести), при котором глина теряет свою прочность и начинает течь. Из грунта с влажностью выше этого предела (обозначаемого W_i) ничего сформовать не удастся. Строить на такой глине опасно: она будет выдавливаться из-под фундамента, и здания на ней будут оседать. Ученые говорят, что она в этом случае превращается в слабый, водонасыщенный грунт.

Эта граница перехода из пластичной в текучую консистенцию зависит еще в большей степени, чем граница раскатывания, от химического и минералогического особенностей глин, а также от содержания тонких частиц (рис. 23).

Знание влажностей, соответствующих этим пределам, дало неожиданный побочный эффект. Было обнаружено, что разность их значений ($W_L - w_p$) позволяет определить наименование глинистого грунта. Ее величину назвали числом пластичности. Если она меньше единицы — грунт песчаный, от 1 до 7 — грунт называют супесью. Другой тип глинистого грунта — суглинок имеет число пластичности от 7 до 17. Наконец, для глины оно превосходит 17. Мы уже встречались с этими названиями грунтов, но тогда они их получили по содержанию глинистых частиц (размером меньше 0,002 мм).

Один ли это грунт, скажем «суглинок», по числу пластичности и содержанию глинистых частиц? Оказывается, да. При значении числа пластичности 10 суглинок и содержит 12 — 14 % глинистых частиц.

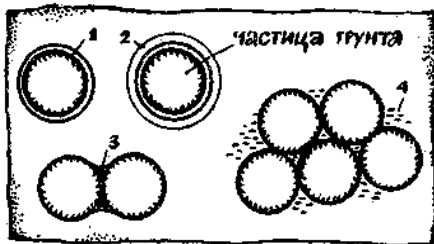


Рис. 24. В зависимости от влажности грунтов вода образует в них различные формы.

1 — 4 — вода: пленочная прочносвязанная (1); пленочная рыхлосвязанная (2); капиллярная (3); сведная (4)

Способностью к переходу в пластичное состояние обладают многие вещества — воск, стекло, металлы, мед, битум и т. д., но причины перехода всех этих веществ различны. Здесь и температуры, и давление, и химические воздействия. В глинах же переход в пластичное состояние связан с присутствием в них соответствующего числа тонких частиц, покрытых микроскопическими пленками воды.

Еще в 20-х годах нашего века ученый А. Ф. Лебедев обнаружил, что вода в грунтах может находиться в разных видах. Если влаги мало, то она образует тончайшие (в несколько молекул) пленки вокруг частиц. Такая вода была названа прочносвязанной. По мере возрастания влажности толщина пленки увеличивается, связи у молекул воды с поверхностью частиц ослабевают и влага становится рыхлосвязанной.

Мы уже говорили о коагуляционной структуре глинистых грунтов. Она и определяется существованием этой пленочной влаги.

Будем продолжать насыщение грунта водой. Тогда в уголках между частицами появится капиллярная вода (о ней мы упоминали, когда шел разговор о песках). Если и дальше продолжать увлажнение, то водой начнут заполняться поры грунта. Так возникнет свободная вода, способная двигаться по порам под действием силы тяжести. Все названные формы воды в грунте наглядно

изображены на рис. 24. Таким образом пластичное состояние грунта возникает после появления рыхлосвязанной воды, которая как бы смазывает частицы, позволяя им скользить относительно друг друга.

После появления первых признаков присутствия свободной воды связи между частицами оказываются нарушенными, капиллярная влага приобретает пологие мениски, и структура грунта нарушается. В этот момент и возникает текучесть глин.

А если грунт насыщать не водой, а керосином, бензином, спиртом или какой-либо другой жидкостью? В этом случае глинистые грунты не образуют пластичного тела. Это связано с различными физико-химическими особенностями воды и других жидкостей.

Если высушивать на воздухе мокрую глину, то произойдет обратный процесс. Сначала исчезнет свободная, затем капиллярная и, наконец, останется только прочносвязанная вода. В этом случае говорят, что грунт имеет гигроскопическую влажность.

Дальнейшее высушивание глины в сушильном шкафу приведет к исчезновению прочносвязанной воды. Если повысить температуру нагрева до 120 °С и более, то начнут разрушаться кристаллические решетки глинистых минералов. При высоких температурах между частицами возникнет явление «спекания». Глинистый грунт настолько изменит свой минеральный состав, что образуется новое вещество, не размокающее в воде. Егб примером могут служить керамические изделия и кирпич.

Оду и липучка!



Распутица. Бездорожье. Водители автомашин боятся съехать с асфальтовых и бетонных магистралей. На грунтовых глинистых дорогах буксуют машины. Пешеходы с трудом передвигаются по проселкам.

В истории известны даже сражения, проигранные из-за бездорожья. Вообще, большинство военачальников старались избегать крупных военных операций в периоды дождей и распутицы.

Вспомните, как трудно двигаться по полевой дороге в осенний дождливый день. На ноги налипают куски и целые комья глины.

Прилипание глин затрудняет не только передвижение транспорта и пешеходов, но и наносит серьезный ущерб работе землеройных машин. На ковши и гусеницы экскаваторов, драглайнов, ножи бульдозеров налипают комья глины, значительно уменьшая их коэффициент полезного действия. Такое же налипание глинистых почв происходит при работе сельскохозяйственных машин. Все эти явления связаны с удивительной способностью глинистых и лёссовых грунтов при определенной влажности прилипать к различным поверхностям: металлическим, резиновым, кожаным и др.

Возникает вопрос: почему глина сильно прилипает, а песок нет?

Академик Ё. М. Сергеев показал, что это явление начинается при влажности, близкой к пределу раскатывания (нижней границе : пластичности). Дело в том, что, когда в грунтах имеется только связанная вода, прочно удерживаемая частицами, она не может взаимодействовать с внешними предметами.

Но вот влажность увеличивается, пленки влаги нарастают, и молекулярные связи образующейся рыхлосвязанной воды становятся слабей. Тогда периферические молекулы водных пленок не только взаимодействуют с поверхностью частиц, но и начинают реагировать с внешними предметами. Это обнаруживается при возникновении явления прилипания. Однако усиление этого процесса происходит только до определенного значения влажности. Когда толщина пленок становится значительной и формируется свободная вода, при достижении такой влажности прилипание начинает уменьшаться. Обычно липкость грунта оценивается по величине усилия, которое нужно приложить, чтобы оторвать предмет от грунта. Ее значение может достигать 5 Н на 1 см².

Так, для отрыва комка глины от подошвы ботинка при его площади 10 — 12 см² потребуется усилие 50 — 60 Н. Представьте себе, как трудно идти по дороге, непрерывно сбрасывая налипшую глину с подобным усилием. При этом чем больше вес человека, тем значительнее сила прилипания.

I. Разные глины липнут с различной силой. Так, каолиновые глины прилипают быстрее, но сила, необходимая для их отрыва, меньше, чем для монтмориллонитовых глин. При прочих равных условиях липкость последних оказывается в два раза большей. Прилипание зависит также от количества тонких частиц, содержащихся в грунте. Чем их больше, тем оно выше. Влияют на липкость и химические особенности грунта (содержание обменных катионов, водорастворимых солей и др.).

Опыт показывает, что глины больше прилипают к деревянным предметам, а торфянистые и супесчаные грунты — к металлам. Борьба с липкостью является важной задачей, стоящей перед учеными и инженерами и сегодня. Ее разнообразные решения позволяют по-высить производительность землеройных механизмов, улучшить проходимость грунтовых дорог.

Как же уменьшить липкость глин? Эта задача не из легких. Прошлые поколения строителей решали ее просто. Устраивали на «глинистых дорогах» деревянные настилы, покрывали плитами, просто мостили или забрасывали щебнем.

В начале нашего века грунтоведы В. В. Охотин, Н. Н. Иванов и [другие разработали метод пескования. Он заключался в том, что глина перемешивалась с песком и теряла липкость. Был создан метод подбора «оптимальных» смесей. Благодаря ему повысилось качество получаемых искусственных глинисто-песчаных грунтов. И сейчас пескование используется при строительстве грунтовых дорог. Однако этот простой прием улучшения дорог не решает проблемы, потому что транспорт быстро разрушает такие грунты. В 20-х годах нашего столетия А. П. Земятченский, В. В. Охотин, М. Ф. Филатов предложили смешивать глинистые (и песчаные) грунты с известью. Она не только подсушивала глины и уменьшала липкость, но и значительно повышала прочность дорожного полотна. Сначала применяли гашеную, а позже молотую негашеную известь.

При ее внесении в грунт происходят сложные процессы кристаллизации окиси кальция. Впоследствии начинают образовываться новые минералы (карбонаты, гидросиликаты и др.)- Прочность таких смесей достигает 0,7 МПа. В настоящее время этот метод используется для строительства сельских автодорог и аэродромов.

Следующий шаг в борьбе с липкостью и вязкостью глин был сделан, когда применили цементацию. В 1912 г. в России впервые употребили цемент для обработки дорожных грунтов. Введение цемента в глины не только уничтожает липкость и вязкость, но и значительно повышает их прочность (до 5 МПа). При этом цементом укрепляются не только глины, но и любые рыхлые грунты. Пески в смеси с цементом теряют свою рыхлость и превращаются в прочную породу типа песчаника.

Сейчас цементация — один из наиболее распространенных методов укрепления грунтов. Более 3500 км дорог СССР цементно-грунто-вые.

Применяется также внесение в грунты других веществ: дегтя, битума и гидрофобных (отталкивающих воду) веществ.

Для борьбы с прилипанием глины к землеройным механизмам (экскаваторы, бульдозеры и др.) разработан метод приложения к поверхности режущих инструментов электрического потенциала, В результате глинистые частицы, покрытые пленочной влагой, отталкиваются, а не прилипают.

НЕРАСТВОРИМЫЙ „РАСТВОРИМЫЙ“ ГРУНТ

Еще в XVIII в. жителям района р. Рейн был хорошо знаком особый светло-палевый грунт, выходящий на поверхности террасовых уступов речной долины.

Местное население знало, что эти грунты в сухом состоянии обладают достаточной прочностью, чтобы держаться в вертикальных откосах. Но если на них попадала вода, то картина мгновенно изменялась. В течение 20 — 40 с возникало катастрофическое разрушение. Казалось, что грунт растворяется. По этой причине они были названы лёссами от немецкого слова «lessen»- — растворяться.

В XIX в. обнаружилось, что подобного вида грунты встречаются не только в Германии, но и во многих других странах. В Советском Союзе лёссы слагают толщи мощностью от нескольких до 100 м. Их можно встретить в самых различных уголках нашей Родины. Они есть в Белоруссии, Молдавии, на Украине, в Западной Сибири, Алтае и многих других районах страны. Особо значительные слои этих грунтов встречаются в Узбекистане, Таджикистане, на Северном Кавказе. Более 14 % территории Советского Союза покрыто лёссовым «одеялом».

Большие толщи этих грунтов найдены в КНР. Там они образуют массивы мощностью 100 — 200 м.

Этот интересный грунт имеет для человечества особую ценность. Именно на нем образовались самые плодородные почвы мира — черноземы.



Рис. 25. Разрушение канала при просадке лёсса.

Пунктиром показано положение поверхности до просадки

Когда после Великой Октябрьской социалистической революции в нашей стране развернулись работы по строительству городов, промышленных предприятий, оросительных систем, в полной мере проявилось коварство лёссовых грунтов.

В конце 20-х годов был построен первенец оросительных систем Северного Кавказа — Мало-Кабардинский магистральный канал. Он должен был нести живительную влагу к полям Кабарды.

Когда торжественно разрезали ленточку и пустили в канал первую воду, все ликовали. Но прошло только несколько дней и произошли странные явления. По бокам канала стали появляться многочисленные трещины. По ним возникли крупные опускания поверхности. Они достигали 1,5 м и более. Трещины нарастали, а между ними появились небольшие террасообразные уступы (рис. 25). Такие же явления были зарегистрированы на каналах других оросительных систем, особенно в Средней Азии. Они получили название просадок.

Как правило, эти явления проявлялись на 3 — 4 день после пуска воды. Процесс захватывал участки протяженностью 500 — 600 м, а в некоторых случаях даже до 1,5 км. Оседание поверхности на отдельных участках достигало 2 м. Образовавшиеся трещины имели глубину от нескольких до 18 м.

Затем просадочные деформации при увлажнении лёссовых грунтов стали обнаруживаться при строительстве заводов, жилых зданий и других сооружений. Они также возникали в результате увлажнения либо дождевыми, либо водопроводными, либо техническими водами.

Вот сколько неприятных сюрпризов преподнесли строителям эти странные лёссовые грунты.

Загадочность лёссов началась уже с вопроса о пути и способах их образования. Ученые уже более 160 лет спорят. Написаны сотни трактатов, в которых доказывается, что лёссовые породы произошли или так, или эдак. Сейчас насчитывается 24 гипотезы их происхождения. Высказывались самые разные догадки. Одни считали их образованиями, возникшими в результате привноса пыли ветром (эоловое происхождение), другие относили их к речным образованиям, третьи — к озерным и т. д. Были даже выдвинуты гипотезы о вулканическом и «космическом» генезисе лёсса.

В настоящее время больше всего сторонников представления о эоловом происхождении этих пород. Эолисты считают, что их основой послужила пыль, перенесенная ветром. Откуда ее столько взялось? На этот вопрос отвечают, что она явилась остатком материала, вынесенного древними материковыми ледниками. Нужно сказать, что эоловым путем и сейчас, буквально на наших глазах, происходит накопление пылеватых пород в районах «черных земель» (Северный Кавказ, Ставропольский край и т. д.).

Большую группу составляют также ученые, считающие, что лёссовые породы образовались путем привноса пылеватого материала водными потоками, возникшими при таянии ледников.

В настоящее время появляется все больше сторонников гипотезы, что эти породы сформировались в результате мерзлотных процессов. Во всяком случае, мерзлотные процессы сыграли главную роль в возникновении особых свойств лёссов.

Конечно, среди лёссовых пород имеются и такие, которые образовались за счет сноса мелких частиц вниз по склонам. Они перемещались и под действием силы тяжести, и потоками дождевых и талых вод.

Как же в действительности образовались лёссы? Пожалуй, в условиях континентов, имеющих разнообразный рельеф, климатические условия и геологическое строение, лёссовый покров может формироваться различными путями.

Давайте присмотримся к этому грунту поближе. Первое, что бросается в глаза, — это цвет. Лёссовые породы имеют окраску от темно-бурых до нежных, светло-палевых тонов. Второе, что привлекает внимание, — это видимые глазом крупные поры. Их назвали за необычную величину макропорами. Диаметр макропор достигает 2 мм. На 1 см² поверхности лёсса можно насчитать от 2 до 30 макропор. Если их пристально рассмотреть, то можно увидеть, что это ветвящиеся каналы, часто покрытые изнутри известью или гумусовым веществом.

Форма этого типа пор свидетельствует, что они образовались в результате деятельности корневых систем травянистых растений, в них нередко сохраняются остатки корневых волосков. Было установлено, что макропоры являются самыми устойчивыми элементами структуры лёссов.

Крупные поры в лёссах образуют также черви и иногда термиты, лёссовые породы облюбовали для себя землерои, поэтому в них нередко встречаются проделанные ими ходы — кротовины. Некоторые «прыткие» кроты прогрызают такие ходы до глубины 10 — 15 м, но большинство «нормальных» животных предпочитает квартировать в диапазоне 3 — 4 м. Иногда на 1 м² стенки шурфа (колодца) встречается до 40 кротовин.

Читателю, наверно, неясно, почему все же лёссовые породы «растворяются» водой. Ученые внимательно изучили этот процесс. Удалось обнаружить с помощью скоростной микрокиносъемки, что в этих грунтах главную роль в движении воды играют не макропоры, а более мелкие поры диаметром крупнее 0,01 мм (активные поры). Кроме того, было установлено, что лёссовые породы состоят на 50 — 96 % из пыли (вспомним, что это частицы размером от 0,05 до 0,002 мм).

Когда вода попадает в лабиринт активных пор, вокруг частиц образуются (а если они были ранее, то утолщаются) пленки влаги. Эти пленки, раздвигая частицы, уменьшают молекулярные силы, связывающие их. В результате образующиеся при разрушении структуры микроагрегаты и частицы перемещаются в крупные поры. Усиливает этот процесс выделение тепла (происходящее при разрушении структуры), которое вызывает расширение воздуха в порах грунта. В ходе этого процесса стенки их повреждаются. Одновременно протекают и некоторые другие процессы. Результат — стихийное разрушение первоначальной структуры и неизбежное при этом уплотнение грунта под собственным весом и давлением сооружений. Внешне это и воспринимается как просадка.

Конечно, этот процесс более сложен, чем мы его описали, но общие его черты, надо полагать, стали понятны.

Отметим, что не всегда лёссовые породы обязательно просадочны. Это свойство проявляется только при высокой активной пористости (больше 20 %), сравнительно малой влажности и специфической структуре грунта.

Просадки жилых зданий и промышленных сооружений были долгое время бичом строителей. Сейчас картина изменилась, мы научились безопасно строить на лёссах.



Рис. 26. Просадочные блюдца, заполненные водой

На степных равнинах встречаются часто впадинки, имеющие форму блюдца. За это совпадение их и назвали — «степные блюдца». Весной в таких образованиях долгое время держится вода, которая служит для водопоя скота (рис. 26). Глубина их достигает 1 — 2 м. Такие степные блюдца образовались в результате естественных просадок лёссов. В этом случае просадочные явления развиваются в течение многих десятков лет под действием просачивающейся из блюдца воды и собственного веса грунта.

Земля оседает под ногами

Это было удивительное ощущение. Мы стояли на строительном участке. Вдруг раздался приглушенный взрыв. Из десятков скважин вырвались фонтаны воды. Земля вздрогнула, и мы почувствовали, как она мягко опустилась под нашими ногами.

Строители осуществляли операцию, по ликвидации просадочности лёссовой толщи. Ее автор И. М. Литвинов решил эту задачу на основании логических рассуждений. Он думал так: если насытить водой лёссы и затем их с силой встряхнуть, то они должны полностью уплотниться и стать неспособными к просадке.

Осуществляется это на практике довольно просто. На участке пробуривается сеть скважин. Потом в них накачивается вода. Затем в скважины опускаются небольшие заряды взрывчатых веществ, помещенные в водонепроницаемые мешочки. Для того чтобы не затронуть участки вне площади строительства, они отделяются от соседних массивов. Это делается «опиливанием» площадки циркулярной пилой. Оказалось, что этого вполне достаточно. Затем производится взрыв, и

просадочности больше нет (рис. 27). Для борьбы с просадками был создан также целый ряд других методов.

В скважину опускается форсунка, при ее помощи разбрызгивается горючее, которое затем воспламеняется. Этот пылающий факел и обжигает грунты. Они спекаются, становятся твердыми и не только теряют просадочность, но и приобретают дополнительную значительную прочность. После этого порода напоминает кирпич не только по виду, но и по свойствам.

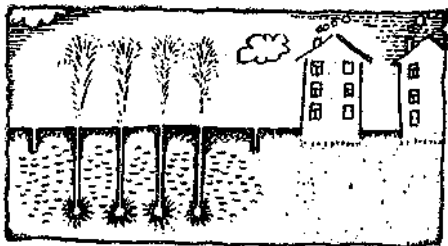


Рис. 27. Схема взрыва в скважинах, произведенного для борьбы с просадкой

А вот другой метод, разработанный В. В. Аскалоновым. В лёссы погружают трубы (инъекторы), снабженные в нижней части отверстиями. Через них нагнетается водный раствор жидкого стекла. Там, где он пропитывает грунт, последний в результате химической реакции становится прочным и непросадочным. Таким методом спасли Одесский оперный театр, просадочные деформации которого стали угрожать его существованию.

Кажется, что было бы проще принять меры от проникновения воды в лёссовые грунты. Но такие мероприятия обходятся дорого. Представьте себе: все водоводы нужно заключить в водонепроницаемые лотки, заасфальтировать участки вокруг зданий, сделать отводы ливневых вод и выполнить десятки других охранных мероприятий. Даже после этого нельзя гарантировать, что «зловредная» вода не найдет пути и не проникнет в лёссовые толщи, вызвав катастрофические последствия.

Если мощность лёссов невелика, то строители применяют простой метод ликвидации просадочности — трамбование. Краном на высоту до 4 м поднимается плита-трамбовка массой 2 — 4 т и сбрасывается на грунт. Под ее тяжелыми ударами лёсс уплотняется, уменьшая активную пористость, становится непросадочным. Таким путем удастся уплотнить слой мощностью не более 2 м, а этого часто недостаточно.

Созданы и другие методы борьбы с просадочностью лёссовых толщ. В настоящее время в целом удалось справиться с этим природным явлением.

Вы спросите, а как же прокладывать каналы в лёссовых толщах? В таких оросительных, судоходных, деривационных (подающих воду к гидроэлектростанциям) каналах вода свободно может проникать в стенки и дно, вызывая разрушительные просадки прилегающих участков. Решение этой сложной задачи в одних случаях достигается тем, что поток пропускается по бетонным или железобетонным лоткам, в других — стенки и дно одеваются защитными экранами, например полиэтиленовыми пленками.

Последний метод как будто очень хорош, но пластиковые пленки разрушаются лучами солнца, морозом и другими атмосферными агентами. Это требует, чтобы они защищались сверху от прямого контакта с воздухом. Поэтому над полиэтиленовой пленкой устраиваются специальные защитные слои, что увеличивает стоимость такого экрана. Да, вот еще одно неудобство — полиэтиленовые пленки легко прорастаются травянистыми растениями. Поэтому необходимо под пленкой уничтожить все их семена.

Кроме этих сравнительно дорогих методов борьбы с водой гидротехники применяют также уплотнение тяжелым трамбованием стенок и дна каналов. В малых каналах успешно используется глинизация. Она заключается в том, что в них сначала подается глинистая суспензия (вода с разведенной в ней массой глинистого материала), а после того, как она простоит в канале некоторое время, глинистые частицы проникают в поры грунтов, резко снижая их водопроницаемость.

Используется для этой цели также засоление грунтов в бортах и дне каналов. При этом методе вместо глинистой суспензии в них направляются водные растворы солей (чаще всего обычной поваренной соли), которые, проникая в грунты, оставляют в порах кристаллики солей, перекрывающие ход воде.

Так человек борется с потерями воды в каналах и связанными с ней просадочными явлениями.

„СЛАБЫЕ,“ совсем „СЛАБЫЕ“

Красавец Ленинград, морской город. Казалось бы, в таком городе должны быть набережные, по которым гуляют жители, любясь набегающими волнами. Но вот строили город около 300 лет, а он оказался в конечном счете повернутым к морю спиной. На побережье почти не возводились красивые дома, которыми славится Ленинград. Вместо них склады, пустыри. В чем же дело?

Оказывается, главную роль в непонятной застройке города сыграли грунты. Дело в том, что берега Финского залива сложены так называемыми слабыми грунтами — разжиженными илами. Только в конце 40-х годов нашего века город стал поворачиваться лицом к морю. На берегу Васильевского острова начали один за другим вырастать современные многоэтажные здания. Строители научились возводить тяжелые постройки на таких грунтах.

Что же такое слабые, водонасыщенные грунты?

Само название говорит о том, что эти грунты отличаются от Других своей «слабостью». Действительно, на «обычный» влажный суглинок на 1 м^2 можно приложить вес в $2 \cdot 10^5 \text{ Н}$. А вот похожий по составу, но полностью водонасыщенный илистый суглинок выдерживает на этой же площади вес только $2 \cdot 10^4 \text{ Н}$, как говорят, на порядок меньше. Этого совершенно недостаточно, чтобы построить здание. Поэтому-то эти грунты и получили название «слабых». Почему же они имеют столь малую прочность?

На этот вопрос можно ответить, только поняв, как образуются такие грунты. Первый путь их формирования — постепенное накопление тонких частиц на дне озер и морей. Медленно кружась в воде, они, не торопясь, оседают и образуют рыхлый осадок.

В жаркий летний день нас манит окунуться в прохладную воду озера. Нередко, входя в него, ноги погружаются в неприятную разжиженную массу, лежащую на дне.

Это и есть слабый, водонасыщенный грунт — осадок тонких частиц на дне озера. Правда, в этом случае речь идет о совсем жидком и совсем слабом осадочном образовании. Пройдет время, и на его поверхности накопятся новые слои. Под их весом он уплотнится и приобретет какую-то небольшую, начальную прочность. Этому процессу энергично противодействует вода, окружающая частицы и насыщающая поры.

Несмотря на то что в конечном счете в осадке возникает коллоидная структура, он уплотняется и в нем даже появляются агрегаты, ил все же очень долго сохраняет малую прочность.

Если такой «слабый» осадок со временем теряет свободную воду, то его уплотнение ускоряется и он переходит в ранг «обычных», достаточно прочных грунтов. В ходе такого обезвоживания идут сложные процессы, возникает агрегативная структура, появляются новые минералы (в геологии этот процесс называется диагенезом).

Проходит длительное время и мы встречаем этот бывший «слабый» грунт в новом обличье. Он оказывается прочным и достаточно надежным для строительства.

Если в ходе капризных геологических процессов или в результате деятельности людей этот грунт опять насыщается водой, то в некоторых случаях может возникнуть обратный процесс. Вода снова наполняет поры, и агрегаты распадаются под «ударами» ее молекул. И вот «благополучный» грунт может опять стать «слабым». Заметим, что далеко не все «обычные» (прошедшие диагенез) породы могут при водонасыщении переходить в «слабые» грунты.

Помимо этого такой грунт, как правило, не возвращается в состояние осадка на дне, а сохраняет часть начальной прочности. Это связано с тем, что не все агрегаты распадаются, сохраняя свою прочность.

Теперь можно сказать, что слабые, водонасыщенные глинистые грунты на дне озер, морей, в современных болотах можно именовать «первичными». В отличие от них «обычные» грунты, переходящие при водонасыщении в слабые, называются «вторичными» слабыми, водонасыщенными глинистыми грунтами.

«Первичными» слабыми глинистыми грунтами покрыты обширные пространства океанического и морского дна. Они встречаются в районах рек, на дне озер, в искусственных морях — водохранилищах

Когда река перегораживается плотиной, то в образованном водохранилище начинает накапливаться весь ее твердый сток (частицы, увлекаемые рекой). Нередки случаи, когда через пятьдесят — сто лет рыхлые осадки полностью заполняют водоем. И вот там, где плескались волны, появляется болотистая низина, сложенная слабыми, водонасыщенными иловато-глинистыми

грунтами. Такая судьба постигла многие искусственные водохранилища, созданные в XIX и начале XX вв. в США.

С «вторичными» водонасыщенными глинистыми грунтами мы также часто встречаемся. Представим себе такую ситуацию: мы гуляем по сухой глинистой дороге. Грунт твердый и прочный. Вдруг прошел сильный дождь. Дорога размокла, и мы с трудом по ней идем, проваливаясь на каждом шагу в жидкую грязь. Можно сказать, что на наших глазах произошла чудесная метаморфоза: «обычная» глина превратилась во «вторичный» водонасыщенный слабый грунт.

На оросительных каналах, построенных без учета этого свойства глин, случается, что вода в больших количествах просачивается в дно и стенки канала. Под ее действием прилегающие грунты разжижаются, что приводит к неприятным последствиям. Например, коровы и другие домашние животные, попадая на такие водонасыщенные участки, могут глубоко завязнуть, а в некоторых районах пришлось даже переносить строительные сооружения на новые, более безопасные места.

Если такие грунты высушить, то они опять становятся прочными. Поэтому одним из выходов из создавшейся ситуации является устройство водоотводов для перехвата возникающих потоков дождевых и талых вод, а также строительство дренажей для понижения уровня подземных вод.

Конечно, самый верный и самый экономичный путь — это сделать борта оросительных каналов водонепроницаемыми. Достигается это способами, о которых речь шла выше.

Наконец, часто устраиваются каналы в бетонных лотках или с бетонным ограждением стенок. Так борются с водопотерями и снижают опасность превращения пород в слабый вторичный водонасыщенный грунт.

ТО „СЛАБЫЕ“, ТО „ПРОЧНЫЕ“

Дело было в Норвегии. Как-то по железнодорожному полотну шел тяжелый грузовой поезд. Машинист увидел впереди корову, переходящую полотно и резко затормозил. Препятствие на пути исчезло. Состав стал набирать скорость. Едва он прошел какое-то расстояние, как полотно, шпалы, рельсы и столбы за ним стали быстро перемещаться вниз по склону. Расположенное в 12 м ниже железнодорожного полотна шоссе с ехавшими по нему автомобилями заколебалось и также поплыло вниз. Еще ниже высились мощные старые клены и березы. Они закачались и, как бы кланяясь друг другу, поплыли в том же направлении. Одна из автомашин соскользнула с насыпи автодороги и стала проваливаться в землю. Сидящие в ней люди только-только успели выскочить, как она провалилась в грунт почти по крышу.

Все эти необычные происшествия продолжались не больше минуты. За это время железная дорога была передвинута на место шоссе, которое заняло участок кленовой и березовой аллеи. В свою очередь, старые деревья оказались на месте фруктового сада, расположенного еще ниже по склону. Очевидец так описывает это событие: «Моя сестра увидела движущиеся деревья и не поверила своим глазам. Она позвала меня, и теперь уже я увидел, как два ряда огромных кленов и берез быстро движутся в мой сад вместе с участком мощеной дороги...»

Владельцы автомашины вынуждены были нанять землекопов, — которые, с трудом «вгрызаясь» в довольно плотный глинистый грунт, ценой больших усилий извлекли автомобиль. Всех поразило, как в столь плотную землю могла с такой легкостью провалиться машина.

Эти загадочные явления имеют простую разгадку. Дело в том, что участок, на котором произошли эти удивительные события, сложен так называемыми голубыми глинами, имеющими морское происхождение. Их особенностью является способность при ударах и вибрациях неожиданно разжижаться. Сотрясения, вызванные прохождением по железнодорожному пути состава, а затем резким торможением локомотива, оказались достаточными для того, чтобы произошли описанные события.

Для прокладки канала в Голодной степи были применены взрывчатые вещества (ВВ). В водонасыщенных лёссовых грунтах пробурили скважины и заложили в них патроны с ВВ. Когда произошел взрыв и ветер отнес в сторону пыль и дым, перед удивленным взором взрывников возникла странная картина. Канала на месте взрыва не было. Вместо него лежала полоса жидкого вязкого грунта.

Эти две истории имеют одну общую основу. Специалисты обнаружили, что многие глинистые и лёссовые грунты, имеющие достаточно высокую влажность, способны (как и коллоидные растворы) при сотрясении мгновенно разжижаться, а затем опять возвращаться в первоначальное пластичное

состояние. Это явление нам известно из коллоидной химии под названием «тиксотропия». Мы уже встречались с ним, когда рассматривали причины разжижения песков,

Коллоидные вещества находятся обычно в состоянии геля (от лат. *gelo* — застываю), тогда они имеют студнеобразный вид и обладают некоторыми свойствами твердых тел. Возможно и другое состояние — золя (от нем. *Sol* — раствор), когда коллоидное вещество находится в жидком состоянии.

Теперь, наверное, легко понять, что глинистые влажные породы (также проявляющие свойства коллоидных веществ) обычно имеют гелеобразное состояние, но при встряхивании могут неожиданно переходить в золь. В основе этого превращения на первом этапе лежит разрушение коагуляционной структуры, при котором исчезают связи между частицами. Затем на втором этапе возникает обратное явление восстановления начальной коллоидной структуры и возврата к первоначальному состоянию геля. Особенность этого процесса заключается в неполном вторичном восстановлении в грунтах начальной прочности. Только в тех случаях, когда связи имеют исключительно коагуляционный характер (при котором все частицы окружены водными пленками), прочность грунта, существовавшая до тиксотропных превращений, может полностью восстанавливаться.

Время, при котором происходит обратный переход из золя в гель, для разных грунтов колеблется от нескольких секунд до 10 сут.

Как же определить, способен ли грунт к тиксотропии? Ведь это очень важно для строителей.

Для этого лаборатории имеют специальный прибор — зыбкомер. Помещенный на нем образец подвергается в течение 20 с вибрации с частотой 4000 колебаний в минуту. О степени тиксотропности грун-та судят по величине растекания оцениваемого грунта путем измерения увеличения радиуса основания образца после этого испытания.

Опыты, проведенные учеными, позволили установить, что тиксо-тропия возникает только в тех грунтах, в которых имеется достаточное количество глинистых частиц. Особенно характерно это явление для грунтов, содержащих монтмориллонит (минерал с подвижной кристаллической решеткой).

Тиксотропия возникает только при определенных значениях влажности. Чем выше последняя, тем интенсивнее проявляется тиксотропия. Однако этот процесс может иногда возникать даже в сравнительно маловлажных грунтах. Необходимо только, чтобы при динамических воздействиях в них появилась свободная вода.

Теперь становится ясно, что причина вышеописанных явлений в Норвегии и Голодной степи заключается в тиксотропных изменениях, возникающих в насыщенных водой глинах при ударах и взрывах.

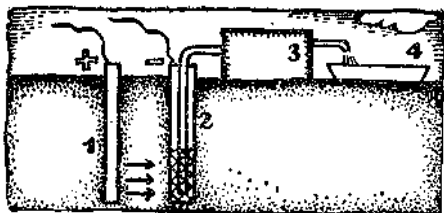


Рис. 28. Электрический ток осушает грунтовую толщу!

1 — труба-анод; 2 — труба-катод; 3 — насос; 4 — водосборник

Сейчас широко используются свайные фундаменты для возведения зданий на водонасыщенных глинистых грунтах. Эти фундаменты представляют собой плиты или бетонные блоки, которые опираются на многочисленные сваи, забитые в грунтовые массивы на глубину от 3 до 15 м и более. Для погружения свай применяются специальные установки — вибраторы. Они закрепляются на верхнем конце сваи и вызывают ее вибрацию и последующее погружение. В ходе погружения может возникать тиксотропное понижение прочности водонасыщенных глинистых грунтов. В этом случае свая особенно легко погружается в грунт с минимальной затратой энергии. Затем свае дают «отдохнуть», при этом прочность грунта восстанавливается. Погруженные этим способом сваи обладают после «отдыха» (в течение недели или больше) хорошей несущей способностью (т. е. выдерживают значительные нагрузки).

Так тиксотропия помогает строителям.

Возникает вопрос: «Можно ли бороться с тиксотропными явлениями?»

Конечно, можно. Разработано много методов для предупреждения тиксотропного разрушения грунтов.

Прежде всего их можно обезводить, Это достигается отводом в сторону от массивов поверхностных вод. Ведется борьба и с подземными водами. Для этого устраиваются дренажи, используется так называемый электроосмос. Он применяется в тех случаях, когда глинистые грунты не хотят отдавать воду. Тогда кроме труб для сбора воды в грунты погружаются электроды. Создается электрическое поле, которое гонит воду даже из тончайших пор глины в трубчатые водосборы (рис. 28).

Другой путь борьбы с тиксотропией — превращение водонасыщенных глинистых грунтов в прочные образования. Это достигается электрообработкой глин длительным воздействием электрического тока. Метод заключается в том, что в глинистый массив погружаются электроды и через них длительное время пропускается постоянный электрический ток. В результате у анода (положительного электрода) образуется осушенная и упрочненная зона. Здесь при электролизе накапливается материал, слагающий анод (он обычно делается из железа). Порода в результате электрообработки увеличивает свою прочность, а ее способность к тиксотропии исчезает.

В некоторых случаях применяется метод электролитической обработки грунта. Он отличается от предыдущего тем, что действие электрического тока усиливается введением в грунты через анод растворов поваренной соли, хлористого кальция и др.

ЕЩЕ одна полезная способность ГЛИНЫ

В незапамятные времена люди заметили, что глины обладают замечательным свойством поглощать различные вещества.

Шерсть овец и других животных, используемая для выработки тканей, содержит жир и другие вещества с неприятным запахом. Чтобы избавиться от этих веществ, люди уже давно начали употреблять глины. Было замечено, что среди глин есть такие, которые обезжиривают шерстяные ткани и устраняют их неприятный запах. Эти глины были названы сукновальными.

Многие знают глину «кил», встречающуюся в Крыму. В переводе на русский язык слово «кил» означает «мыло». Этой глиной моют руки и стирают белье.

В Азербайджане давно известна другая подобная глина, получившая у местного населения название «гиль-аби», что также в переводе на русский означает «мыло».

Такие же глины известны в Грузии, Средней Азии и других районах нашей страны.

Народная медицина уже в глубокой древности использовала глины для лечения различных болезней: их применяли как пластыри для заживления ран, а при желудочно-кишечных заболеваниях глины давали принимать внутрь. Врачи и сейчас нередко используют глины для лечения радикулита и других заболеваний.

Долгое время были неизвестны причины поглотительной, лечащей и моющей способности некоторых глин. Однако А. Е. Ферсман доказал, что в составе таких глин есть монтмориллонит. Его открытие позднее было подтверждено рентгеноструктурными и электронно-микроскопическими исследованиями.

Сейчас монтмориллонитовые глины широко используются в мыловаренной промышленности как наполняющая добавка к мылу. Они также употребляются при изготовлении зубных паст, пудры, губной помады и в других случаях (рис. 29).

Бензин — важнейший продукт, получаемый при переработке нефти. Роль его в современной жизни трудно переоценить. А знаете ли вы, почему он такой прозрачный и чистый?

Этим бензин обязан не только процессам нефтепереработки, но и специальной очистке. Вот здесь монтмориллонитовые глины и выступают как важная составная часть очищающих материалов.



Рис. 29. Так используется монтмориллонит

Способность к поглощению глинистых грунтов используется при очистке продуктов питания — жиров, растительного масла, вина, меда и многих других.

Удивительная способность грунтов поглощать различные вещества была в 1923 г. исследована советским ученым К. К. Гедройцем. Он установил, что поглощение представляет собой сложный комплексный процесс. Простейшей его формой является способность песчаного, супесчаного и суглинистого грунтов очищать мутную воду, пропуская ее через свои слои. Взвешенные мелкие частицы (пыль, ил, тонкий песок) задерживаются в порах грунта. Это — механическое поглощение.

Было обнаружено, что глинистые породы, содержащие много тонких частиц и поэтому обладающие высокой удельной поверхностью, способны к физическому поглощению. Оно заключается в адсорбции (от лат. *sorbeo* — поглощаю) — поглощении поверхностью посторонних частиц. Она возникает как результат молекулярного взаимодействия между поглощаемыми веществами и грунтовыми частицами. При этом из окружения захватываются молекулы газов, растворенных веществ и мелкие частицы. В ходе такого процесса на поверхности породы образуются пленки, которые часто изменяют первоначальный цвет грунта. Таким путем и очищаются сукновальными глинами шерстяные ткани.

Значительно более распространено в грунтах физико-химическое поглощение, представляющее собой обменные процессы, при которых одни ионы поглощаются грунтом, а другие в этот момент выбрасываются из него в раствор. Обменные ионы (ионы, которые могут поглощаться или выбрасываться в раствор) в этих процессах представлены в основном катионами (т. е. положительно заряженными ионами) калия, натрия, кальция, магния, водорода, железа и алюминия.

Эти процессы очень сложны, но большое значение, которое они имеют в формировании свойств глинистых минералов, заставляет автора рассказать о них подробнее.

Установлено, что разные глинистые минералы проявляют различную склонность к обменным процессам.

Наиболее расположены к энергичному обмену минералы с подвижными кристаллическими решетками: монтмориллонит, бейделлит и др.; наименее — каолинит, кварц и др. Промежуточное место занимают гидрослюды.

Как же протекает процесс обмена?

Прежде всего он возникает не только в самой кристаллической решетке минерала, но и в окружающем ее слое ионов, связанных с поверхностью частиц (ученые этот слой назвали диффузным).

Не все ионы вступают в обмен с одинаковой силой. Наиболее активны ионы железа и алюминия, наименее — калия и натрия.

Также различна способность ионов освобождаться из «плена» минеральных частиц. Легче удаляются ионы железа и алюминия, труднее — натрия и калия.

Вы можете спросить: «А какое значение имеют обменные процессы? Не все ли равно, что находится в глинистом грунте — ион натрия или, скажем, кальция? Может быть, и вся эта сложность ни к чему?»

Нет, это не так. Роль обменных процессов весьма велика.

Прежде всего, состав обменных ионов в грунтах влияет на многие их свойства. Например, если в грунте содержатся обменные ионы калия или натрия, то резко повышается его способность к поглощению воды, а если в нем присутствует обменный кальций или железо, то водопоглощающая способность грунта оказывается значительно меньшей.

Еще показательнее влияние обменных ионов на агрегацию глинистых частиц. Если в качестве обменного иона содержится кальций или железо, то агрегация тонких частиц максимальна; если же калий или натрий, — агрегация минимальна. Это влияние обменных катионов используется при оценке содержания тонких глинистых частиц. Для уменьшения агрегации и увеличения «выхода» тонких частиц образец грунта перед анализом обрабатывается раствором, содержащим ион натрия, который, замещая ион кальция, дробит агрегаты.

Обменные катионы также влияют на многие свойства грунтов. Глины, содержащие обменный натрий, более слабы в механическом отношении и обладают повышенной пористостью. Наоборот, когда глинистый грунт содержит обменный кальций, его прочность, при прочих равных условиях, будет более высокой.

Аналогично влияет состав ионов на пластичность и набухание грунтов. Если в глине обменными катионами являются калий или натрий, то она легче переходит в пластичное состояние и сильнее набухает. Противоположная картина возникает в присутствии обменного кальция или магния.

Ученые обратили внимание на то, что лёссы чаще имеют в обменном комплексе ионы кальция, что ведет к их повышенной агрегации.

Это одна из причин, почему они обладают сравнительно высокой крупной пористостью. По той же причине лёссы в сухом состоянии имеют достаточно хорошую прочность. Вот почему изучением физико-химической обменной способности и типа обменных ионов в составе грунтов ученые придают большое значение. К сожалению, до сих пор не удалось установить количественного влияния обменных процессов на свойства грунтов. Поэтому можно говорить лишь об их качественной взаимосвязи.

Сказанным не ограничивается значение обменных процессов. Знание их позволило А. П. Соколовскому разработать метод борьбы с водопотерями из каналов и водохранилищ. Мы уже говорили о методе солонцевания (или засоления). В его основу положена замена в грунтах иона кальция ионом натрия. При этом достигается уменьшение водопроницаемости в различных глинистых грунтах от десятков до сотен раз.

Напомним о другом методе — глинизации. Его также называют способом «кольматации». Е. М. Сергеев предложил повысить его эффективность и использовать для этого в качестве материала для суспензии (смеси воды с глиной) глину, содержащую гидрослюда. Если ее обменный комплекс насытить катионом натрия, то после обработки ею песка его водопроницаемость уменьшится в 100 раз.

Нельзя не сказать еще о двух явлениях и, прежде всего, о химических процессах, которые возникают при взаимодействии природных растворов, циркулирующих по порам, с минералами грунта. Эти химические реакции приводят к изменению состава не только твердой части, но и водных растворов. Из них исчезают те или иные ионы. При этом изменяются окраска, прочность и плотность грунтов, а сами грунты часто растрескиваются. Это явление назвали химическим поглощением.

Грунты являются средой обитания для миллиардов бактерий, землероющих животных, корней растений, которые также участвуют в поглощении, захватывая часть веществ. Особенно интенсивны эти процессы в верхнем слое грунта — почве. Они получили название биологического поглощения. Под действием биологического поглощения коренным образом изменяются все свойства грунтов и их внешний вид.



„Ложиратели“ металлов и бетонов

Это было в Ростове-на-Дону. Решили как-то начать ремонт старой водопроводной магистрали. Она многие годы снабжала водой значительный район города. Однако жители начали жаловаться на нехватку летом воды, а некоторые подвалы стали затапливаться.

Отрыв траншею и увидев на ее дне магистраль, рабочие хотели извлечь трубу на поверхность. Но только они прикоснулись к ней, как металл рассыпался на мелкие кусочки.

Стали вскрывать траншею дальше. Труба совсем исчезла. Вода шла просто по отверстию в грунтах. Это и явилось причиной больших утечек. Грунт буквально «съел» металл...

В 30-х годах Московская городская телефонная сеть страдала от разрушения в грунтах металлических кабелей. Число их повреждений достигало за год 1520. Если бы кабели своевременно не защитили, то число повреждений достигло бы в 50-х годах более 0,5 млн/год.

Произведенные подсчеты показали, что в результате этого процесса в нашей стране выходит из строя до 3 % заложенного в грунты металла. Это около 1 млн. т.

Явление разрушения металла или его ржавления получило наименование подземной коррозии. Она наносит большой ущерб народному хозяйству, поэтому борьба с ней является крайне важной

задачей. Ведь в землю ежегодно укладываются тысячи километров труб газопроводов, нефтепроводов, водопроводных и канализационных магистралей; в грунтах лежат металлические электрокабели, в них заглубляются различные баки, емкости, заземления, строительные конструкции.

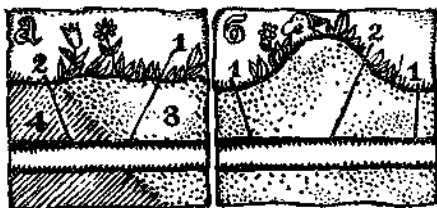


Рис. 30. Благодаря особенностям грунтовой толщи на участках трубопроводов возникают крупные гальванопары:

а — при резкой смене грунтов: 1 — катод, 2 — анод, 3 — песок, 4 — суглинок;

б — при неровностях рельефа: 1 — катод, 2 — анод

Для борьбы с коррозией металла в грунтах ежегодно затрачиваются миллионы рублей.

Почему же грунты «съедают» металлы? Что является причиной подземной коррозии?

Начало научного изучения этого процесса было положено еще в XVIII в. работами великого русского ученого М. В. Ломоносова. В настоящее время процесс коррозии металла детально изучен в электрохимии. Было установлено, что его сущность заключается в образовании на поверхности металла так называемых микрогальванических элементов. Их деятельность и порождает основное коррозионное разрушение металлов. Кроме того, возможна также коррозия при химических реакциях между металлом и молекулами порошкового раствора. На рис. 30 показаны случаи образования крупных гальванических пар при различных геологических условиях распространения грунтов.

Однажды вследствие утечки газа из трубопроводов возник пожар. Когда вскрыли трубы, они оказались пробитыми целой серией круглых правильных отверстий. Казалось, что кто-то их специально сверлил. На самом деле это были последствия еще одного процесса — электрокоррозии. Исследования специалистов показали, что на трассах железнодорожных путей, по которым движется электричка, а также на участках трамвайных рельсов возникают блуждающие токи. В местах входа электротока в трубопроводы, уложенные в грунтах, образуется так называемая катодная зона, а на участках выхода — анодная (рис. 31). На последних и развивается интенсивный коррозионный процесс, который порождает своеобразные формы разрушения металлических труб, описанные выше.

Эти электрические, электрохимические и химические процессы и являются главными врагами металла в грунтах. Но грунты тоже не представляют собой «невинных» свидетелей, а служат средой, поставляющей растворы и газы.

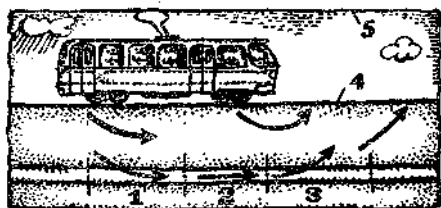


Рис. 31. Под трамвайными рельсами в грунтах возникают блуждающие токи, разрушающие трубопроводы:

1 — катод; **2** — нейтральная зона; **3** — анод; **4** — рельсы; **5** — провода

Разрушение металлов также зависит от характера циркуляции воздуха и жидкостей. А она тесно связана с пористостью, которая, в свою очередь, зависит от генезиса (происхождения) грунтов. Немаловажную роль играют обменные процессы, протекающие между минералами и движущимися по порам растворами. Определенное значение имеет реакция среды pH. Она может быть щелочной, кислой и нейтральной. В зависимости от этого усиливается или ослабляется коррозионное разрушение металлов. А все приведенные факторы определяются составом глинистых минералов и генезисом грунта. Еще один враг металлов, заложенных в грунтах и почвах, — микроорганизмы. Их жизнедеятельность порождает биокоррозию. Особенно опасны анаэробные бактерии (например, сульфатвосстанавливающие). Было обнаружено, что при их воздействии электрокоррозия усиливается почти в 20 раз. Эти бактерии любят иловатые, болотистые грунты. Пока еще этот вид разрушения металлов изучен недостаточно.

Как же разобраться во всем множестве действующих в грунтах коррозионных факторов? Как оценить их действие?

Наиболее простой способ — вскрытие уложенных в грунты трубопроводов и их осмотр. Если на металле, уложенном в грунты 5 лет назад, видимые коррозионные повреждения не превосходят 2 мм, то можно считать, что разрушающая способность среды низкая. Но если они превосходят глубину 6 мм, то грунтовая среда высококоррозионна.

Конечно, это хороший способ. Но нам нужно знать об агрессивности грунтов до укладки труб, чтобы принять соответствующие меры. Оказалось, что коррозионность грунтов зависит от их электрического сопротивления: чем выше сопротивление, чем меньше коррозионность.

Достаточно измерить удельное электросопротивление грунтов, и тогда можно легко назвать степень коррозионной опасности. Она определяется в омах на один метр. Если ее величина менее 5 Ом-м, то грунт оценивается как высокоагрессивный по отношению к металлам, а при значениях более 100 Ом-м коррозионность незначительна.

Этот показатель определяется с помощью специальных методов электроразведки.

Рассматривая коррозию металла в грунтах, нельзя не сказать о том, что различные металлы разрушаются по-разному. Опыт показывает, что скорость разрушения железа, стали и чугуна колеблется от 0,1 до 2 мм/год. А такие металлы, как свинец, алюминий и медь, разрушаются значительно медленнее.

Возникает естественный вопрос: «Можно ли бороться с коррозией? Как защитить металл в грунтах?»

Прежде всего отметим, что человек научился эффективно бороться с этим процессом. Созданы десятки методов защиты металлических конструкций и труб, укладываемых в грунты.

Наиболее простыми являются методы защитной изоляции трубопроводов при помощи различных покрытий: битумного, полимерного, специальными красителями и др.

Когда возникает необходимость охраны от коррозии важных объектов, приходится активно вмешиваться в деятельность электрохимических элементов. В этом случае используется специальная элек-трохимическая защита металлических конструкций в грунтах.

Широкое применение защитных антикоррозионных мероприятий позволило значительно сократить потери металлов за счет их коррозии в грунтах — на некоторых объектах до 99 %.

Другой сложной задачей является борьба с разрушением в грунтах бетонов. Это явление стало известно еще в XIX в. Под его влиянием прочные бетонные фундаменты превращаются в рыхлые, а монолитные массивы становятся «кружевными».

На одном из пивных заводов возникли деформации стен. Когда вскрыли фундамент, все ахнули: вместо монолита была какая-то ажурная система, т. е. фундамент фактически отсутствовал. Причина оказалась в том, что на заводе производилась влажная очистка котельных газов. Эта насыщенная сернистыми соединениями вода и проникала в грунты, обмывая фундаменты. Она-то и «съела» бетон.

Таким образом, главным врагом бетона оказываются воды, циркулирующие в грунтах. Если они содержат много сульфатов, гидрокарбонатов, уголекислоты, магния, то возникает опасность быстрой коррозии бетонов. Роль самого грунта в этом случае сравнительно пассивная. Однако его проницаемостью определяется скорость течения процесса. Если в грунте много крупных пор (т. е. он обладает «активной пористостью») и вода через него проходит со скоростью более 10 м/сут, то разрушение бетона идет наиболее интенсивно. Совсем другая картина возникает при малом числе таких пор, когда за сутки вода не в состоянии пройти более 0,1 м. В таких случаях коррозия бетона идет очень медленно. Строители, предупрежденные грунтоведами об опасности коррозии бетонов, принимают различные меры. Один из путей борьбы с этим процессом — использование для изготовления бетонов специальных цементов. В других случаях может применяться дренаж, при помощи которого уровень грунтовых агрессивных вод понижается до безопасной глубины.

Так человек научился бороться с коррозионными явлениями в грунтах.

Они МАГНИТНЫ! 

В конце 40-х годов нашего века был запатентован необычный метод борьбы с накипью в котлах на заводах сахарной промышленности.

Такая накипь представляла собой бич котлов. При кипении воды в зависимости от состава содержащихся в ней солей на стенках котлов откладываются плотные (иногда рыхлые) скопления

карбонатов, сульфатов и даже силикатов. После некоторого периода эксплуатации котел останавливали и очищали от этой накипи. Изобретатель предложил бороться с ней при помощи очень простого устройства: воду, которая питает котел, нужно пропустить через систему, состоящую из серии постоянных магнитов. После этого возникает удивительная вещь: накипь перестает образовываться.

На первых порах причина исчезновения накипи на стенках котлов была непонятна. Однако вскоре удалось установить, что при кипении «магнитной» воды образующиеся соли не создают агрегатов, а выпадают в виде микрокристаллов, не создающих накипи.

Ученые заинтересовались этим явлением. Появилось много статей об удивительной воде. Оказалось, что образование грунтового осадка в водной среде, обработанной в поле постоянных магнитов, идет иначе, чем в необработанной.

Во-первых, скорость оседания частиц значительно возрастает, во-вторых, частицы укладываются иначе. Это было сразу использовано в Средней Азии для ускорения процессов возведения дамб и земляных плотин, укладываемых методом намыва. Пульпа (смесь воды с глинистым материалом), пропущенная перед укладкой через магнитное поле, вела себя совсем иначе. Получаемые из нее осадки были плотными и формировались намного быстрее.

Обнаружилось, что магнитная вода влияет на характер кристаллизации растворов. А потом выяснилось: магнитная вода повышает урожай, увеличивает прочность бетонов, улучшает качество синтетического каучука и т. д.

Воздействие магнитной воды на грунты сказывается не только на процессах их формирования, но и на некоторых свойствах (например, размокание), . . .

До сих пор не решен вопрос о том, что происходит в воде при пропуске ее через поле постоянного магнита? Одни ученые считают, что изменение свойств воды связано с присутствием в природных растворах окислов железа и их гидратов. Другие ищут объяснение в изменении строения молекул при магнитной обработке.

Кто прав, покажут дальнейшие исследования. Одно только ясно, что вода растворов, проходящих через магнитное поле, изменяет свои свойства, а грунты, образующиеся из этих растворов, приобретают новые особенности.

Таким образом, уже в ходе формирования осадка на дне океана, озера или реки природные магнитные поля могут воздействовать на его свойства.

Многочисленные исследования показали, что большая часть грунтов является так называемыми парамагнетиками. К ним относятся также многие минералы: пирит (FeS_2), силикаты (слюды, роговая обманка и др.), доломит (CaMgCO_3), сидерит (FeCO_3) и другие, в которых атомы и молекулы способны под действием приложенного магнитного поля приобретать определенную ориентировку. Давайте возьмем зерна грунта и поместим их в достаточно напряженное магнитное поле. Мы обнаружим, что все частицы ориентируются в определенном направлении. При этом они размещаются своими длинными осями вдоль магнитных линий.

Кроме того, в грунтах могут присутствовать соединения железа (минералы магнетит, гематит и др.). Они относятся к еще одной группе веществ — ферромагнетикам, которые сами способны намагничиваться и вести себя как магниты. Соответственно кристаллы этих минералов приобретают в магнитном поле строго определенную ориентировку. В отличие от парамагнетиков такие минералы сохраняют намагниченность и после снятия внешнего магнитного поля.

В минеральном царстве распространены также диамагнетики. К ним относятся такие минералы, как кварц (SiO_2), кальцит (CaCO_3), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), галит (NaCl) и ряд других. Диамагнетики значительно слабее взаимодействуют с магнитными полями. Однако, если на них действует достаточно сильное магнитное поле, они также не остаются инертными. Их частицы в отличие от пара- и ферромагнетиков, хотя и ориентируются в магнитных полях, но располагаются длинной осью перпендикулярно к силовым линиям.

Теперь легко понять, что магнитные особенности грунтов зависят от сочетания минералов диа-, пара- и ферромагнетиков. Особенно важна роль последних, играющих «первую скрипку» в проявлении магнитности грунтов. Ее изучают в грунтовых лабораториях при помощи высокоточных приборов — магнитометров.

Интересные исследования влияния магнитности на свойства грунтов были проведены Ю. Б. Осиповым. Ему удалось экспериментально показать, как влияют магнитные поля и магнитные свойства минералов на грунты. Установлено, что под их действием при формировании осадка в водной среде он приобретает своеобразную структуру. Вместе с ней осадочный грунт получает ряд особых черт. Среди них — повышенная способность к ползучести. Если к такому грунту приложить

нагрузку, то при определенной ее величине возникнет необратимый процесс: грунт будет буквально вытекать из-под груза или, как говорят, поползет.

При значительном по напряжению магнитном поле возрастают агрегированность и ориентировка частиц. Больше всего этот эффект проявляется в глинах, содержащих в своем составе гидрослюду. Менее влияют магнитные поля на агрегацию и ориентировку монт-мориллонитовых глин.

Ю. Б. Осипов предложил использовать особенности магнитных полей грунтов для оценки ориентировки их частиц.

Исследования магнитности грунтов только начаты. В этой области грунтоведения предстоит еще много познать.



Трескучий мороз. Прохожие стараются быстрее пробежать по улице и забраться в теплые помещения. Что же происходит сейчас с грунтами? Если они прикрыты сверху теплым, снежным «одеялом», то возникает лишь небольшое промерзание. Но бывает так, что грунт не защищен снегом. Может быть, его сдул ветер, или в октябре — ноябре начались сильные морозы, а снежного покрова еще нет. В этом случае в северных районах, где холода могут быть достаточно большими, глубокое промерзание грунта неизбежно.

Прежде всего замерзает вода в крупных порах. Она переходит в твердое кристаллическое состояние, цементируя грунтовые частицы. Слабые глинистые и песчаные водонасыщенные породы превращаются в прочные, похожие на скальные грунты. Если до промерзания их можно было легко копать лопатой, то после него для разработки этих пород необходимы лом, кирка, а иногда и применение взрывчатых веществ.

Весной, когда устанавливается теплая погода, мерзлые грунты тают и часто превращаются в грязеподобную массу.

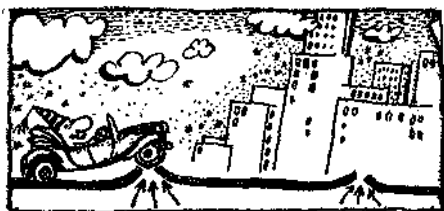


Рис. 32. Вот как пучение разрушает дороги

Выяснено, что в ходе зимнего промерзания происходит увеличение объема, занимаемого водой, при превращении ее в лед. Оно составляет примерно 9 %. Однако процесс этим не ограничивается. При длительном промерзании возникает своеобразное явление непрерывного возрастания влажности грунта. Это происходит в результате подсоса воды из нижних горизонтов. Немалое значение имеет перемещение водяных паров в сторону участков с пониженной температурой. В некоторых случаях в замерзший грунт поступает настолько много воды, что образуются целые ледяные прослойки. Этот процесс сопровождается увеличением объема грунта. Возникающее при этом замерзании давление столь значительно (до 200 МПа), что с легкостью приподнимаются здания, вспучиваются асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог, деформируются железнодорожное полотно, взлетные полосы аэродромов и т. д. В разгаре зимы подобное вспучивание может достигать десятков сантиметров. Этот процесс получил название морозного пучения. Он приносит массу неприятностей дорожникам, строителям, гидротехникам. Пучины развиваются в начале зимы и затем до весны увеличивают свой объем. Когда наступает теплое время, лед начинает таять, грунт разжижается и на месте «вздутия» образуется углубление, заполненное жидкой грязью. Асфальт на автострадах разрушается, а на грунтовых дорогах появляются выбоины и ямы (рис. 32).

В США каждый год из-за пучения выходят из строя сотни километров автомобильных и железных дорог в штатах Висконсин, Небраска, Айдахо и др.

Строителям и специалистам по мерзлым грунтам приходится вести борьбу с зимним пучением. Для этого используют различные способы. Один из них — добавление к грунту соли (хлористого

кальция). Если она составляет только 1 — 2 %, то грунт замерзает не при 0°C, а при минус 10 — 12 °C. Чаще всего этого оказывается достаточно, чтобы пучины не возникали.

Другим методом борьбы может быть осушение пучинистых грунтов. Если удастся отвести воду, то процесс пучения либо не возникает, либо протекает значительно слабее.

Остановимся на другом интересном факте. Н. А. Цытович, исследуя мерзлые грунты, обнаружил, что они имеют высокую прочность только тогда, когда давление, прилагаемое к ним, действует лишь кратковременно. В этом случае замерзший грунт может выдерживать давление до 150 МПа. Но все меняется, если нагрузка действует длительное время. В этом случае мерзлый грунт начинает медленно течь, подобно очень вязкому жидкому телу.

Чем же объяснить это, на первый взгляд, странное явление? Оказывается, что в мерзлом грунте замерзает не вся вода. Связанная вода в тончайших пленках, окружающих глинистые частицы, превращается в лед при очень низких температурах (от — 30 до — 50 °C). Даже в, вечномерзлых породах на севере нашей страны температура обычно держится в пределах от — 1 до — 15°C. Таким образом, в мерзлом грунте, как правило, в жидком виде сохраняется пленочная вода. Она-то и определяет поведение мерзлого грунта при длительном приложении давления.

Если водонасыщенный грунт сначала замораживать, а затем оттаивать, то окажется, что он начнет терять свою начальную прочность. Чем чаще будут повторяться такие циклы, тем больше будет расстраиваться его структура. В конце концов, это приведет к его Полному разрушению. Конечно, данный процесс проходит в различных грунтах по-разному. В лабораториях подобное замораживание осуществляется в специальных холодильных установках.

В одних случаях для разрушения достаточно нескольких циклов, в других — десятки и сотни. Наиболее быстро разрушаются глинистые грунты. Поэтому говорят, что они «неморозостойки». Скальные грунты выдерживают сотни циклов. Их разрушение зависит от того, какая у них трещиноватость, величина пористости и какие минералы входят в их состав.

Что же является причиной разрушения пород при таком переменном замерзании и оттаивании?

Одну причину мы уже знаем — это расширение воды, содержащейся в порах, в результате перехода ее в лед. Другая причина заключается в разных величинах расширения и сжатия минералов различных типов. Как это происходит, мы покажем ниже на примере естественного выветривания рапакиви.

Процессы такого морозного выветривания грунтов можно хорошо наблюдать на откосах насыпей, карьеров, земляных дамб. Если их вовремя не укрепить травяным покровом или дерном, то неморозостойкий глинистый грунт начинает шелушиться и в нем возникает сетка трещин. А потом дождевые потоки довершают дело. Через 2 — 3 мес такие откосы потеряют свою форму и покроются глубокими промоинами.

Почему все же одни грунты разрушаются быстрее, а другие медленнее? Причины такого отношения их к температурным колебаниям многочисленны. Прежде всего это определяется характером связей между частицами. В скальных грунтах, имеющих жесткие связи, разрушение идет значительно медленнее, чем в грунтах без жестких связей.

Наиболее важным фактором, как легко можно догадаться, является присутствие воды, поэтому-то морозостойкость и оценивается в водонасыщенных грунтах. В сухих грунтах, в которых влага не заполняет пор, морозное выветривание протекает очень медленно.

Большое значение в этом процессе имеет структура породы: ее пористость (главным образом активная — крупная), размеры, размещение зерен и другие особенности.

Если быстро понижать и повышать температуру, то разрушение грунтов будет происходить интенсивнее.

При замерзании водонасыщенных грунтов возникает еще одно интересное явление — их «смерзание» с фундаментами, сваями и другими сооружениями, находящимися в грунтах. Это явление повышает величину давления, которое может выдержать свая. Измерения, проведенные С. С. Вяловым в песчаных влажных грунтах, показали возрастание их несущей способности вследствие смерзания на 25 — 50 %.

Особенность замерзших грунтов заключается также и в том, что они, в отличие от обычных, имеют не трех-, а четырехкомпонентную систему. В их строении принимает участие кроме твердой, жидкой и газообразной частей еще и лед. Образование последнего происходит при температуре от — 0,2 до — 1,2°C. Эти обстоятельства требуют применения особых методов исследования, разрабатываемых наукой «мерзлотоведением» (один из разделов инженерной геологии).

Еще в древности люди спасались от холода в землянках и пещерах. Позднее появились деревянные и каменные дома, но сооружения в грунтах и поныне служат человеку.

Это связано с тем, что сухие грунты обладают малой теплопроводностью. Давайте сравним между собой ее величину для разных пород (рис. 33). Мы увидим, что относительно воды теплопроводность сухого песка в 3, сухого суглинка в 4, а такого же торфа в 6 раз меньше.

Однако она увеличивается в 4 — 10 раз, если грунт становится водонасыщенным. Это происходит от того, что воздух, заполняющий поры, имеет в 28 раз меньшую величину теплопроводности, чем вода.

Ученые установили, что чем больше в рыхлом грунте крупных частиц (галечниковых, гравийных и песчаных), тем значительнее величина теплопроводности. Вот почему песок быстрее проводит тепло, чем суглинок.

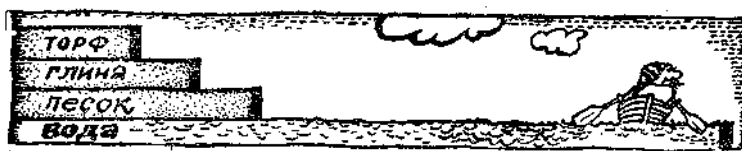


Рис. 33. Величина теплопроводности для некоторых сухих грунтов относительно воды

В скальных грунтах: гранитах, базальтах, известняках, песчаниках и других — проводимость тепла оказывается более высокой. Так, в граните она примерно в 3 — 7 раз, а в базальте в 2 — 5 раз выше, чем в воде.

Пожалуй, «чемпион» по теплопроводности — плотные метаморфические породы. Так, кварцит, состоящий из мелкозернистых кристаллов кварца, может почти в 11 раз лучше проводить тепло, чем вода.

Положительным свойством грунтов является меньшая способность к проведению тепла сверху вниз (по вертикали) по сравнению с горизонтальным направлением (вдоль пласта), что имеет большое значение при различных природных процессах.

Прежде всего от этого свойства зависит глубина зимнего промерзания массивов. Она колеблется от десятков сантиметров на юге до 3 м на севере. Вместе с тем в одном климатическом районе величина зоны промерзания может значительно изменяться (в случае различной теплопроводности грунтов).

Способность к проведению тепла в некоторой мере определяет глубину проникновения выветривания и процессов образования почв, связанных с колебаниями температуры.

Наконец, от теплопроводности вечномерзлых грунтов в какой-то степени зависит взаимодействие их с фундаментами сооружений.

При использовании грунтов для теплоизоляционных целей важна еще одна характеристика — способность грунтов поглощать тепло. Иначе говоря, теплоемкость. Из физики известно, что вода при 20 °С обладает довольно высокой теплоемкостью. Если сравнить с этой величиной способность поглощать тепло различными грунтами, то окажется, что торф имеет в 2, гранит, глина и песок в 5, а гипс в 4 раза меньшую теплоемкость. При этом чем выше их влажность, тем больше и теплоемкость. Если в грунтах увеличивается количество воздуха, который поглощает тепло в 3 раза меньше воды, то теплоемкость грунтов уменьшается. Однако в связи с малым содержанием воздуха его влияние не учитывается.

Определение этого показателя имеет важное значение для практики.

Остановимся еще на одной необычной способности грунта — становиться при смачивании источником тепла.

Оказывается, если увлажнять сухой глинистый грунт, происходит выделение теплоты смачивания. Она появляется в результате перехода воды в грунте в связанное состояние (точнее, в прочносвязанное).

В песках теплота смачивания не выше 4 Дж на 1 г грунта. Но зато в тяжелых глинах, богатых тонкими частицами, выделяется. 32 — 100 Дж из такого же количества образца.

Разница в количестве образующегося тепла связана с минеральным составом грунтов. Больше всего его выделяют монтмориллонитовые глины, а меньше всего — каолинитовые. Также значительна роль и обменных катионов. Если в породе содержится магний или кальций, то тепловыделение будет большим, чем при содержании калия и натрия.

Но вот обнаружилось, что в сухих лёссовых грунтах при увлажнении выделяется теплота, не только связанная со смачиванием, но и обусловленная разрушением структуры. Причем величина последней часто оказывается преобладающей.

Так грунт становится источником тепла.

поговорим об электричестве

Что может быть общего между песком и электричеством? Кажется, ничего. В грунтах как будто нет электрического тока. Однако вспомним блуждающие токи — ведь они движутся по грунтовым мас.- сивам. Значит, грунты имеют определенные электрические характеристики, которые можно использовать.

Гидрогеологи, например, при помощи измерения электропроводности массива могут установить глубину залегания грунтовых вод; опасность коррозионного разрушения газопровода определяется по величине электрического сопротивления грунтов.

Геофизики исследуют многие свойства и строение массива, используя данные об электрических особенностях грунтов. Электрическое сопротивление, электропроводность и другие характеристики пород необходимы им при расчетах заземлений радио- и электростанций, физических приборов и т. д.

Вот и получается, что все эти электрические показатели имеют большое практическое значение.

Среди электрических характеристик грунтов, пожалуй, самая важная — удельное электросопротивление.

Давайте вспомним, что грунт представляет собой сочетание трех составляющих: твердой (или минеральной), жидкой и газообразной. Не будем учитывать последнюю, так как электросопротивление воздуха крайне велико. Остаются минеральная и жидкая части.

Среди минералов есть такие, которые обладают очень высоким сопротивлением. Это слюды, кварц, полевые шпаты и др. Они являются хорошими изоляторами. Но есть и минералы — прекрасные проводники. К ним относятся золото, серебро, пирит и др. Остальные минералы занимают промежуточное место.

Таким образом, электросопротивление грунтов прежде всего зависит от состава минералов.

Не меньшее значение имеет и жидкая часть. Электросопротивление влажных и водонасыщенных грунтов всегда гораздо меньше, чем сухих. Известно, что в порах грунта находится не дистиллированная вода, а растворы, содержащие различные соли (ионы).

Состав и количество последних и определяют электросопротивление этих растворов. Если взять сухие глины, то их электросопротивление оказывается весьма значительным, а присутствие в естественных условиях в глинистых грунтах воды делает их более электропроводными.

Есть и другие факторы, от которых зависит эта физическая характеристика грунтов. К ним относятся пористость, температура, появление в грунтах льда и т. д.

Интересно, что после возведения зданий электросопротивление грунтов, лежащих под фундаментами, падает.

Все сказанное позволяет легко понять, что величина электросопротивления не является постоянной. Она максимальна у сухих скальных грунтов и минимальна у водонасыщенных песков.

КАК ИСЧЕЗАЮТ БЕРЕГА

Бурная р. Кубань. Стоит теплая, летняя погода. В горах усилилось таяние ледников. С каждым часом в реке прибывает вода. Уровень катастрофически растет. Мутный поток яростно лижет лёссовый берег. Время от времени в воду обрушиваются подпиленные блоки грунта. Струи с силой ударяют в берег, отрывая от него частицы, комки, целые блоки.

Но вот уровень реки начинает падать. За два-три дня неистовства потока высокий берег, сложенный лёссовыми грунтами, отступил на 10 м.

Другим классическим примером может служить р. Амударья, которая в течение года на отдельных участках «съедает» до 400 м берега.

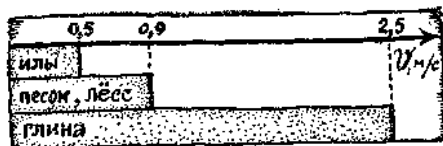


Рис. 34. Скорость потоков воды и размываемые ими грунты

Еще более впечатляющим является образование оврагов. Неудачно проведенная борозда вниз по склону — и через год-два дождевые потоки образуют в этом месте глубокий овраг.

Разрушающую деятельность воды на каждом шагу можно видеть на берегах морей. Мощные удары штормовых волн разбивают и крошат грунты, слагающие береговые откосы.

Большие неприятности доставляет размыв берегов жителям Великобритании. Так, в графстве Суссекс в отдельные годы берега отступают в глубь острова до 6 м.

Давайте теперь взглянем «в корень» этого явления. Не вызывает сомнения, что здесь действуют два фактора: энергия движущейся воды и способность грунтовых массивов к размыву. Изучением этой способности грунтов ученые занимаются уже давно. В последнее время она оценивается двумя показателями. Первый показатель — это скорость, при которой начинается отрыв частиц от массива. Нетрудно догадаться, что наиболее размываемыми должны быть илы. Их разрушение начинается при скоростях потока от 0,2 до 0,5 м/с. Более устойчивы пески. Они размываются в зависимости от крупности составляющих их песчинок при скоростях движения воды от 0,25 до 0,9 м/с.

Глинистые грунты очень разнообразны по составу и структуре, поэтому они ведут себя по-разному. Например, лёссы начинают разрушаться при скоростях 0,3 — 0,9 м/с, а моренные суглинки (образованные ледниками) — от 0,6 — 1,1 м/с. Менее всего способны к размыву глины и обломочные грунты (гравий, галька). Их разрушение возникает при скоростях 1,0 — 2,5 м/с (рис. 34).

Оказалось, что чем влажнее глинистые грунты, тем медленнее они размываются. Эту особенность стали использовать гидротехники для борьбы с размывом. Каналы, которые строятся в глинистых грунтах, предварительно замачиваются. Этот процесс осуществляется пропуском через только что построенный канал воды с малой скоростью.

Скальные грунты практически не разрушаются водой (если они только не состоят из водорастворимых минералов).

Большую роль в возникновении размыва играет способность грунтов к размоканию. Ясно, чем быстрее грунт размокает, распадаясь при этом на мелкие частицы, тем при меньших скоростях будет начинаться размыв.

Вторым показателем, который применяет грунтовед для прогноза размываемости грунтов, служит их способность к разрушению водным потоком. Она представляет собой величину слоя образца, который размывается при данной скорости за определенное время. Показателем размываемости является толщина смываемого слоя в миллиметрах в течение минуты при определенной скорости потока. Легко понять, что чем больше интенсивность подобного размыва, тем быстрее такой грунт будет разрушаться рекой или морскими волнами.

Предрасположенность рыхлых грунтов к размыву доставляет много неприятностей строителям каналов оросительных систем. Действительно, с одной стороны, к орошаемым полям нужно подать как можно больше воды. Для этого требуются максимальные скорости ее движения. Но они ограничиваются величинами, при которых стенки и дно каналов начинают размываться. Превышение этих критических скоростей чревато крупными неприятностями. Как быть? Есть два выхода из этого положения: либо упрочнить стенки и дно канала, либо просто одеть их бетоном, который не поддается размыву водой.

С другой стороны, возникает вопрос: как практически определить размывающую скорость и способность к размыву?

Нужно сказать, что эта задача оказалась достаточно сложной. Самое лучшее ее решение — организация наблюдения за размывом грунтов на опытных участках каналов. Но это длительный и дорогостоящий путь. Поэтому чаще всего грунтовед судит о размывающих скоростях и интенсивности процесса по результатам испытаний образцов грунтов в специальных лотках. В эти лотки помещаются монолиты, которые подвергаются действию потока. Его скорость постепенно увеличивается до момента начала размыва.

Кроме того, накопился большой опыт наблюдений за размывом грунтов берегов рек, каналов и морских побережий. Он позволяет прогнозировать скорости разрушения пород.

Ц. Е. Мирцхулава, используя ЭВМ, предложил математический метод оценки размывающей скорости по целому комплексу других свойств грунтов. Однако этот метод пока имеет больше теоретическое, чем практическое, значение.

НЕУКРОТИМАЯ ВОДА

На улице идет дождь. Прохожие обходят большие и маленькие лужи. Детвора с криками носится босиком по воде. Но вот дождь закончился. Выглянуло солнце. Через пару часов, а то и раньше все следы дождя исчезли. Только в некоторых местах еще поблескивают жалкие остатки дождевой воды, накопившиеся в углублениях поверхности. Куда же исчезла основная масса воды? На этот вопрос ответить не так-то просто. Конечно, в городе устроена дождевая канализация, по которой вода устремляется в реки и моря. С асфальта она под жаркими лучами солнца также быстро испаряется.. Но, например, за городом нет канализации, да и асфальт только на автомагистралях, а вода во время дождя даже не успевает образовать лужи. Дождь идет и идет, а луж нет.

В чем же дело? Почему на одних участках луж нет, а на других есть?

Оказывается, все дело в водопроницаемости грунтов.

Вспомним морской песчаный пляж. Набежит лениво волна, ее поток взберется по уклону, а вместо того, чтобы откатиться обратно, большая часть воды на наших глазах буквально проваливается в песок.

Мы уже знаем, что пески имеют крупные поры (размером более 0,01 мм), а это превосходный путь для движения воды. Поэтому песок, подобно сити, не может удержать жидкости. Сложными путями она проникает все глубже и глубже (ученые говорят «инфильтруется»), пока не встретит другой грунт, не пропускающий воду, например глину. Дальше потоку пути нет. Глина почти не содержит крупных пор, а ее тонкая пористость не пропускает свободную воду.

Конечно, очень медленно вода просачивается и в глину, но это движение происходит совершенно по-иному.

Специалисты способность грунтов пропускать воду называют водопроницаемостью. Ее оценивают показателем, получившим название коэффициента фильтрации K_f .

Водопроницаемость — очень важная характеристика грунтов. Она прежде всего зависит от содержания крупных пор. Самый проницаемый для воды — крупноблочный грунт, состоящий из валунов, щебня, галечников и гравия. Вода течет по крупным трещинам скальных пород (граниты, гнейсы и др.), как по водопроводным трубам. Скорость ее движения, конечно, меньше, чем в поверхностных потоках. Но все же за сутки она может пробежать километровые расстояния.

Много больших пор и в крупнозернистых песках, содержащих зерна размером 0,5 — 2 мм, а иногда и гравийные частицы диаметром 2 — 40 мм. В таких грунтах водопроницаемость оказывается довольно большой. Их коэффициент фильтрации колеблется от 100 до 600 м/сут. Это означает, что при уклоне потока 45° вода может пробежать за сутки 100 — 600 м.

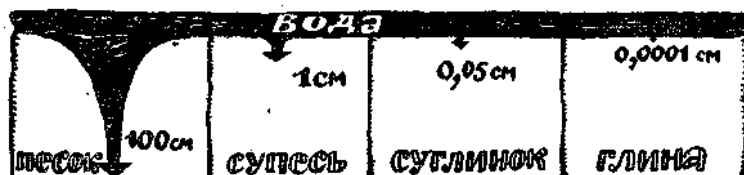


Рис. 35. За 100 с в разных грунтах вода просачивается на различную глубину

Чем меньше песчинка, тем тоньше становятся поры. Движение воды в грунтах замедляется. Так, в песках, состоящих из средних по размеру частиц (диаметром 0,25 — 0,5 мм), величина коэффициента фильтрации падает до 10 — 50 м/сут (при том же уклоне потока 45°). Если пески мелкие (диаметр частиц менее 0,25 мм), то вода движется совсем медленно — от 0,5 до 5 м/сут.

Рассмотрим глинистые грунты, состоящие в значительной степени из частиц размером менее 0,002 мм. Поры в таких глинах также очень малы (меньше 0,005 мм), поэтому движения свободной воды (или фильтрации) не происходит. Большая часть тонких пор глин заполнена в природе связанной

водой. Когда в эти грунты поступают новые молекулы H_2O , то пленки, расположенные ближе к источнику, становятся толще. В этом случае начинается перемещение влаги от более крупных пленок к более тонким. Возникает так называемый пленочный ток воды.

Кроме того, в глинистых грунтах возможен осмотический ток влаги. Он возникает тогда, когда в различных участках глины присутствуют растворы с разной концентрацией солей. В этом случае ток влаги направлен к участкам с менее солеными водами.

Наконец, на движение воды в подобных грунтах оказывает значительное влияние изменение температуры, особенно ее перепады в различных частях массива.

Несмотря на существование в глинах всех этих видов движения влаги, ее скорость оказывается в тысячи раз медленнее, чем фильтрация свободной воды.

В лёссовых грунтах, как мы уже знаем, содержится много крупных пор. Вот поэтому они обладают довольно хорошей водопроницаемостью, которая достигает 2 м/сут.

На рис. 35 показаны сравнительные скорости фильтрации воды в различных грунтах.

Теперь понятно, что когда идет дождь, то на хорошо фильтрующихся грунтах вода не накапливается, а на водонепроницаемых образуются лужи. Вода, инфильтруясь в песчаные пласты и достигая поверхности глин, дальше начинает двигаться вниз по ее уклону. Так возникает поток грунтовой воды.

Нетрудно понять, что водопроницаемость является важным свойством грунтов. Ее величину определяют либо в лаборатории на специальных фильтрационных приборах, либо в полевых условиях. В последнем случае о величине коэффициента фильтрации сухих грунтов судят по скорости впитывания воды, наливаемой в специальные стандартные кольца. При оценке водопроницаемости водонасыщенных грунтовых массивов используется метод откачки. Он заключается в определении коэффициента фильтрации по количеству извлекаемой воды при определенном понижении уровня — чем больше откачивается воды, тем значительнее водопроницаемость грунтов.

Знать величину водопроницаемости необходимо при создании водохранилищ, искусственных морей, плотин, каналов, оросительных систем и во многих других случаях. Она позволяет рассчитать водопо- тери из этих сооружений.



Когда говорят о скале, нам всегда представляется что-то очень прочное и массивное. Сказать, что этот человек «как скала», — значит охарактеризовать его как твердого и непоколебимого.

Действительно ли скальные грунты таковы?

На этот вопрос сразу и не ответишь. С одной стороны, нам привычны монолитность и высокая прочность гранита или базальта. Для того чтобы их раздавить, необходимо применить очень большое давление в 400 — 500 МПа.

А с другой стороны, существуют известняки, мергели и песчаники, прочность которых может опускаться до 1 МПа и даже менее.

Отчего же зависит прочность скалы?

Прежде всего она связана с особым минеральным составом пород. Например, тот же базальт состоит в основном из очень прочных минералов силикатов: полевых шпатов, оливина, пироксена.

Все они отличаются высокой механической крепостью. Поэтому и базальт оказывается весьма прочным.

На качество скальных пород влияет также их строение. Базальты, например, в которых все минеральные зерна оказываются очень мелкими (диаметр частиц менее 1 мм), будут и наиболее прочными (400 — 500 МПа). Но встречаются и мелкопористые базальты с прочностью меньше 20 МПа и даже 15 МПа. Вот и получается, что мы имеем один и тот же скальный грунт, а его прочность отличается в 20 раз.

Было бы очень просто, если бы породы были массивными. Но это, к сожалению, не так. Все они разбиты трещинами разного происхождения, размера и направления. Порода в небольшом куске может быть очень прочная, но в массиве многочисленные трещины будут ее значительно ослаблять. Так, в базальтовом массиве встречаются трещины, ширина которых достигает 120 мм.

Возьмем еще другой пример — гранит. Фразеологизмы «твердый как гранит», «он как гранитная скала» заставляют представлять себе эту породу как нечто очень прочное. Действительно, гранит состоит из прочнейших минералов: полевого шпата, кварца и небольшого количества слюды или роговой обманки. При раздавливании кубиков этой породы на прессах приходится прилагать давление 150 — 250 МПа. Однако и в этом случае прочность гранита зависит от его структуры: чем он более мелкозернист, тем большее давление необходимо для его раздавливания.

Многие, наверно, слышали о граните «рапакиви». Этим гранитом облицованы здания, сложены набережные Невы в Ленинграде. В переводе с финского языка это слово означает «гнилой камень». Не правда ли, странно? Однако такое название не случайно и связано с тем, что эта порода состоит из крупных кристаллов слагающих ее минералов. Когда днем поверхность рапакиви нагревается солнцем, то кристаллы неравномерно расширяются в разные стороны. Поэтому в породе и возникают сильные напряжения. Затем ночью, когда воздух охлаждается, происходит обратный процесс уменьшения размеров зерен. И такие движения идут многие годы, десятилетия и столетия. В результате этих колебаний между кристаллами минералов постепенно появляются тонкие трещины. В них попадает вода. Замерзая в зимнее время, она еще более расширяет образовавшиеся трещины. Постепенно гранит превращается в трещиноватую породу, в которой связи между минералами либо совсем исчезают, либо становятся очень малыми.

Если ударить молотком по такому граниту, то он рассыпается на отдельные куски. Вот отсюда и произошло название «гнилой камень».

Минералы, слагающие скальные породы, постепенно разрушаются водой, температурными колебаниями, корнями растений, микроорганизмами. Мы уже раньше говорили о деятельности данных факторов выветривания. Это всеобщий процесс, охватывающий всю земную поверхность.

Проходят десятки, сотни тысяч лет. Граниты, базальты и другие, прочные скальные породы под действием выветривания превращаются в новые осадочные породы. Бывает и так, что превратившийся в глинистую массу гранит в какой-то степени сохраняет первоначальные черты.



Рис. 36. Трещины в массиве скальных грунтов

Как-то один геолог рассказал, что когда он стал отбивать от гранитного массива образец, то оказалось, что похожая по внешнему виду на гранит порода была не чем иным, как глиной, в которую были вкраплены кристаллы кварца. В глину превратился разрушенный временем гранит, сумевший сохранить первоначальную форму.

Конечно, чаще всего по мере перехода полевых шпатов в каолинит образующаяся глинистая масса уносится из массива атмосферными водами и сильными ветрами.

Процессы выветривания наиболее интенсивно идут на поверхности пород. Однако по трещинам они могут проникать в глубь массивов и, постепенно разрушая и изменяя породу, снижать ее прочность и создавать все время увеличивающуюся микротрещиноватость.

Массивы скальных пород постоянно находятся под действием движений земной коры. Эти процессы в геологии носят название тектонических (от греч. *tektonikos* — созидательный). Они создают горные системы и сдвигают материки; под их грандиозным давлением трескаются скалы и дробятся минералы (рис. 36).

Кроме этих главных трещин (тектонических и выветривания) есть еще и другие, возникающие при образовании пород или при механических воздействиях (обвалы, землетрясения и т. д.).

Как бы то ни было, а с поверхности массивы скальных грунтов всегда имеют ту или иную трещиноватость, которая часто определяет и их прочность. Если без знания системы трещиноватости поставить на такой скальный массив сооружение, то отдельные блоки могут переместиться и произойдет катастрофа.

Нужно сказать, что число трещин в скальных массивах с глубиной резко уменьшается и человек использует это. Он строит внутри таких массивов склады. Их преимущество заключается прежде всего в постоянной температуре, сохраняющейся в течение круглого года. Кроме того, такие склады хорошо изолированы от различных внешних воздействий.

В г. Авесте (Швеция) построена котельная для сжигания бытовых отходов, которая нагревает воду для отопления и других нужд. Но отходы нужно сжигать круглый год, а горячая вода летом необходима в небольшом количестве. Для решения этой проблемы в скальном массиве была сооружена крупная подземная емкость объемом 100 млн. л. Летом туда нагнетают горячую воду, а зимой забирают ее для отопления. Емкость, созданная на глубине нескольких десятков метров в скальных породах, оказалась хорошим термосом.

Сейчас ученые думают о создании подобных, но еще более крупных водосборников в таких массивах. Тогда можно будет летом, используя солнечное тепло, получать горячую воду и сохранять ее в таком состоянии в этих каменных емкостях до зимы.

В скальных массивах могут устраиваться холодильники, нефтехранилища, склады продуктов и другие подземные сооружения. Это позволит сэкономить крайне ценную поверхность земли, создать высокоэкономичные складские помещения и решить ряд проблем, в которых одно из важных мест занимает аккумуляция солнечной энергии.


Мы знаем, что к скальным породам относятся некоторые из осадочных пород. Среди них большую роль играют известняки, гипсы, известковистые породы, мергели и др.

Объединяет эти породы то, что они состоят из водорастворимых минералов.

Прочность их зависит от процесса растворения и выноса кальцита, гипса и других минералов тальми, дождевыми и подземными водами. По мере развития этого процесса механические свойства осадочных пород ухудшаются.

Однако и эти массивы представляют возможности для промышленного использования. Так, в толщах каменной соли в разных странах строятся хранилища, в которых сохраняются нефтепродукты и некоторые химические вещества, не реагирующие с галитом (NaCl).

Вот так обстоит дело с прочностью скалы.

Как сделать, чтобы дом не рухнул? 

Редко можно встретить человека, ничего не слышавшего о падающей Пизанской башне. Эта башня, как магнит, притягивает тысячи любопытных туристов, давая большой доход магистрату и жителям г. Пизы. Вообще говоря, по архитектуре она весьма обычна для Италии. Таких башен в этой стране десятки, и многие из них более красивы и высоки. Славу она приобрела из-за того, что уже в период строительства стала наклоняться. Прошло 800 лет, но башня все еще продолжает опасное движение. В настоящее время южная часть фундамента ушла на 170 см глубже северной. Сейчас вершина башни отклонена от вертикальной оси более чем на 4 м. Когда смотришь на башню на фоне движущихся кучевых облаков, то кажется, что она вот-вот упадет. Недавно инженер-геотехник Г. Камфорт произвел расчеты и сделал такой вывод: если башня не изменит скорость своего наклона, то она простоит до 2780 г.

В сущности, Пизанская башня — великолепный памятник, увековечивший строительную ошибку. Она заключается в том, что не были учтены грунтовые условия. Под одной из сторон башни оказалась слабая глина, что привело к неравномерной осадке фундамента и послужило причиной наклона.

Нужно сказать, что пизанское «чудо» — не уникальное явление. Такие падающие башни есть в ГДР, Великобритании, Румынии, КНР и в других странах. Всего таких башен насчитывается более 40. В Советском Союзе известны подобные наклонные сооружения в Таганроге, Москве, Казани и в других местах. Широкой известностью среди них пользуется дозорная башня в г. Невьянске. При высоте 60 м она отклонилась от вертикальной оси на 2 м.

К сожалению, в оценке свойств грунтов иногда ошибаются и современные строители. Так, в одном из городов было возведено пятиэтажное здание. Простояв месяц, дом рухнул. К счастью, никто не пострадал. Оказалось, что был неправильно запроектирован фундамент и не учтена неравномерность в распределении грунтов.

С одной стороны, строители имеют дело с прочными материалами, из которых возводятся здания, а с другой — с грунтами, которые часто оказываются малопрочными. Действительно, постройки возводятся из бетона, реже кирпича и дерева. Бетон способен выдерживать давление 30 — 50 МПа, в то время как грунты часто разрушаются при давлениях 0,2 — 0,5 МПа.

Соотношение явно не в пользу грунтов. Их прочность оказывается в 50 — 250 раз меньшей. Только скальные грунты (такие, как гранит, базальт, кварцит) в 2 — 10 раз прочнее бетона. Вот и получается в большинстве случаев, что конструкция здания гораздо прочнее, чем основания.

Для расчета и возведения наземных частей зданий строитель имеет точные формулы и уверен в прочности материалов. Сложнее положение с грунтовым основанием. Здесь не всегда ясны механические характеристики, степень однородности и ряд других особенностей грунтов. Решение этих вопросов и возлагается на грунтоведов и инженеров-геологов.

Какой высоты могла достигнуть Вавилонская башня?

Восточные сказания повествуют, что когда-то народы, населяющие равнину в стране Сеннар, в бассейне рек Тигр и Евфрат, решили построить такую высокую башню, чтобы ее вершина достала до «самого неба». В этих местах камень весьма дорог, поэтому башня строилась из обожженных глиняных кирпичей. Как известно, башню так и не удалось построить.

Предание имеет определенные исторические основания. В те времена в этом районе находилась древняя столица шумеров — талантливого народа, создавшего высокую самобытную культуру. Они строили крупные города и совершенные системы орошения. Ими были также сооружены ступенчатые пирамиды со срезанной вершиной. Одна из таких пирамид была раскопана археологами. По сохранившимся описаниям и обнаруженным остаткам стен установлено, что она имела семь ярусов и достигала высоты около 90 м. Как видно, эти сооружения и нашли свое отражение в библейских сказаниях о Вавилонской башне.

Но нас интересует другой вопрос: какую по высоте башню могли бы построить в Вавилоне? Прежде всего следует учесть, что здесь местность сложена мощными толщами песка и глины. Для того чтобы определить, какой наибольшей высоты могла бы достигнуть башня, необходимо знать, какой вес может выдержать такая песча-но-глинистая толща. В таких случаях говорят, что необходимо установить прочность грунтов.

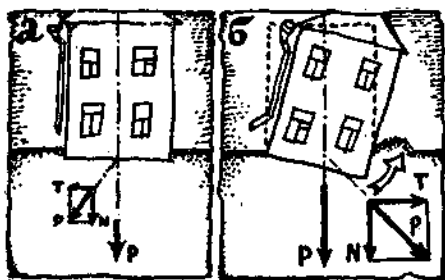


Рис. 37. Вот какие силы действуют под домом (а). Если сила сдвига больше сопротивления грунта, то возникает выпор последнего (б)

Что же это такое — прочность грунтов? Давайте попробуем строить какое-либо здание. Чем выше будут подниматься его этажи, тем больший вес придется на каждую единицу площади грунта. Если

начертить схему нашей постройки (рис. 37), то легко можно увидеть: по центральной оси будет действовать вертикально направленная сила тяжести P . Но если отступить в сторону от оси, то здесь эта сила, по закону физики, будет раскладываться на две составляющие. Одна из них — вертикальная JV . Она сжимает грунты сверху вниз, вызывая погружение здания в грунт или, как говорят, осадку.

Вторая — горизонтальная составляющая T . Она старается выдавить грунт из-под фундамента здания. Если продолжать строительство, то вес здания будет расти, а с ним увеличиваться и эта горизонтальная сила. Когда она станет больше, чем прочность грунта, то произойдет разрушение основания. Грунтовая масса выдавится из-под здания, и оно, наклонившись, рухнет.

Вот поэтому-то для грунтоведа очень важно определить прочность грунта, характеризуемую сопротивлением сдвигу (или выпиранию под действием горизонтальной силы).

Однако вернемся к Вавилонской башне. Итак, чем выше она будет подниматься, тем больше будет становиться ее вес и соответственно возрастать действие вертикальной и горизонтальных сил.

Проведенные археологические раскопки показали, что вавилонские башни-пирамиды были квадратной формы. Крупнейшие из них имели стороны длиной 100 м. При таких размерах площадь основания составлял 10 000 м².

В грунтоведении известно, что вес постройки, приходящийся на 1 м² песчано-глинистого грунта, не может быть больше 30-10⁵ Н. Если вес окажется более значительным, то величина горизонтальной силы станет опасной. Возводимая башня окажется под угрозой обрушения из-за выпирания грунта из-под ее подошвы.

Для того чтобы установить предельную высоту вавилонского сооружения, необходимо, чтобы ее вес был не более 300 000 Н (площадь башни, умноженная на предельный вес, приходящийся на 1 м², т. е. на 30 Н). Вспомним, в сказании говорится о постройке из кирпича. Известно, что 1 м³ кирпичной кладки весит около 7-10³ Н. Если учесть, что под вавилонскими пирамидами устраивали сплошные фундаменты, и сделать расчеты (мы не затрудняем ими читателя), то легко убедиться в том, что максимальная высота башни не могла быть больше 100 — 150 м. Эта величина далека от библейского желания достать «до неба». Как мы говорили выше, строителям древности удалось возвести крупнейшую башню-пирамиду до 90 м, не достигнув при этом максимальной высоты. Возможно, что древние зодчие интуитивно почувствовали, что выше возводить нельзя.

Из нашего рассказа следует, что, прежде чем строить жилой дом, промышленный цех или здание электростанции, строители должны получить от грунтоведов сведения о прочности грунтов.

Но этого еще недостаточно. Мы уже знаем, что вертикальные силы, действующие в грунтах, вызывают осадку здания. Она тоже не может быть слишком большой. Обычно ее величина не превосходит 15 см. Если она оказывается более значительной, то возможны повреждения постройки. Особенно опасно, если какая-то часть здания погрузится в грунт, например, на 5 см, а другая — на 15 см. Возникнет неравномерная осадка, которая может привести к деформации балок, колонн и перекрытий.

Широко известен случай с Трансконским элеватором (Канада), который с одной стороны дал осадку более 8 м. Сооружение при этом наклонилось на 27° и значительно деформировалось.

Поэтому одной из важных задач, решаемой грунтоведением, является прогноз осадки грунтовой толщи под давлением, вызываемым весом здания.

загадки, знахарь и научный прогноз

Выбрать «счастливое» место для строительства здания, плотины, завода — это очень сложная задача.

Греческие и римские зодчие считали, что строить дома, возводить храмы и крепости на рыхлых грунтах, таких, как глина и песок, опасно.

Под знаменитый Парфенон было выбрано место, где фундамент этой величественной постройки лег на прочные скальные грунты.

Если поблизости подобного места со скалой не оказывалось, то строители рыли глубокий котлован, выбирали из него рыхлый грунт, а взамен заполняли его камнем. На нем и возводилось здание.

Древние шумеры строили многоэтажные храмы и дворцы на слабых грунтах, но для сохранения прочности таких оснований производился послойный обжиг глин.

Интересно, как римские зодчие практиковали своеобразный метод выбора «счастливого» места для строительства городов. На намеченном участке в течение года производился выпас овец. Если

животные выживали, то их затем забивали и изучали внутренности. Не находя следов болезней, считали, что место здоровое и подходящее для будущего строительства.

В последнее десятилетие обнаружилось, что есть места, где в грунтовой толще на разных глубинах пересекаются два-три подземных потока, ориентированные относительно друг друга либо перпендикулярно, либо под углом. На таких участках развиваются аномальные магнитные поля. Предполагается, что длительное пребывание людей в этом месте может явиться причиной возникновения у них ряда заболеваний.

Возможно, что это и было причиной появления мест, считавшихся в народе «несчастливыми», «заколдованными», «проклятыми», на которых люди себя чувствовали неуютно. Этот вопрос еще находится в стадии изучения, но наличие магнитных аномалий на таких участках уже установлено.

В средние века выбор места строительства был связан с различными предрассудками. Этим пользовались знахари и гадалки. Они «предсказывали» и «угадывали» места, где можно строить. Иногда люди боялись строить из-за того, что место «заколдовано» или на этом участке совершено убийство и т. д.

Существовало много предрассудков, связанных с выбором места для постройки. Так, по преданию, чтобы нижегородский (сейчас горьковский) Кремль, который строили в XVI в., стоял прочно, были принесены в жертву девушки, а их кровь пролита на грунты.

Однако среди знахарей было немало народных умельцев, которые помогали в выборе надежного места для нового строительства, рытья колодца или проведения дороги. Они использовали богатый народный опыт, накопленный многими поколениями.

Наступил XX в. На смену средневековому знахарству пришел научно-технический прогноз. Для его получения выполняются специальные инженерные изыскания участков, предназначенных для строительства. Их результаты позволяют выдавать строителям полную характеристику природных условий. Для этого геодезисты, инженеры-геологи, геофизики и гидрологи детально исследуют территории, определяя наиболее благоприятные места для строительства.

В этой сложной работе на долю грунтоведов выпадает значительная роль. Они должны изучить и дать количественную характеристику свойств грунтов.

Эта работа ведется не только в специальных лабораториях, но и в поле, непосредственно на изучаемом участке.

Для исследования инженерно-геологических условий строительства приходится затрачивать много усилий. В ходе полевых работ геологи отбирают специальные образцы-монолиты. Чтобы сохранить природное строение, влажность и свойства образцов, их покрывают сверху специальными пастами, а затем доставляют в грунтовые лаборатории. Здесь образцы подвергаются различным исследованиям. Для этого имеются самые различные приборы: механические, оптические, ультразвуковые, радиоизотопные, термические и др. Полученные в лаборатории результаты исследования свойств грунтов обрабатываются на ЭВМ.

Кроме того, очень полезны исследования, проводимые непосредственно на участке строительства. При этом инженер-геолог пользуется большим арсеналом полевых методов определения свойств.

В результате всех этих работ и дается современный обоснованный прогноз условий возведения самых различных зданий и сооружений. Так, инженерная геология и строительная техника позволили надежно возвести такое сооружение, как Останкинская телевизионная башня (высотой более 0,5 км). Японскими специалистами предложен проект строительства в г. Цукуби однокилометровой башни к Всемирной выставке 1985 г.

НИЧТО НЕ ДАЕТСЯ БЕЗ ТРУДА

Помню, как однажды, во время экзамена, я задал студенту вопрос: «Для чего нужно изучать свойства грунтов?» Он подумал немного и вдруг произнес двусмысленное:

«Коль грунты мы знаем точно, Дом всегда построим прочно».

Этот неожиданный ответ, совершенно непривычный в моей практике экзаменатора, заставил меня на какое-то мгновение растеряться. Однако, подумав, я решил, что он в определенной степени отвечает действительности.

По сути говоря, знать «грунты точно» — задача нелегкая. Ее решение не дается без труда.

Мы уже из предыдущих разделов знаем, что грунтовед должен прежде всего ответить на вопрос: «Как будет сжиматься данный грунт?» Ведь это определяет, какой будет осадка здания. Может быть, оно провалится в грунт на 0,5 — 1 м и выйдет из строя?

Лучше всего ответить на этот вопрос, устроив опытный фундамент на будущем участке здания. Но это очень громоздко, требует много времени и, наконец, неэкономично.

Оказалось, что заменить такой опытный фундамент можно более простым и достаточно точным испытанием.

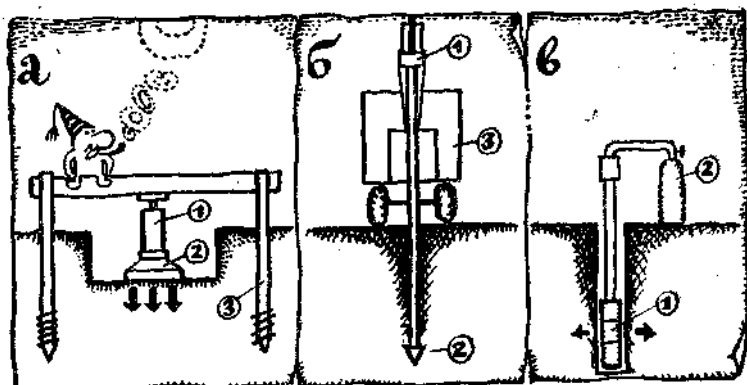


Рис. 38. Так исследуются грунты на сжимаемость непосредственно на участке строительства:

а — штамповые испытания: 1 — гидродомкрат, 2 — штамп, 3 — винтовая свая; **б** — зондирование. 1 — молот, 2 — зонд, 3 — механизм для погружения конуса; **в** — прессиометрические испытания: 1 — резиновая камера, 2 — сжатый воздух

Представьте себе: на толщу грунта ставится металлический или бетонный штамп. На него с помощью гидравлического домкрата воздействуют давлениями 0,1; 0,2; 0,3; 0,5 МПа. Нагрузка увеличивается до тех пор, пока штамп не начнет погружаться в грунт (рис. 38, а). Это и будет тот наибольший предел нагрузки, который строитель не может переступить. Основываясь на результатах этого опыта, грунтовед может определить важный показатель, позволяющий установить с высокой точностью осадку здания. Его назвали «модуль деформации». Он отражает величину осадки грунта при данном давлении.

Но определение сжимаемости в полевых условиях таким методом тоже довольно трудоемко. Это и привело к появлению других, более «легких» способов. Один из них — зондирование. Оно заключается в погружении конического зонда в грунт либо ударами, либо путем постепенного задавливания. О сжимаемости песков судят по величине сопротивления грунта погружению конуса (имеющего угол при вершине 60°). На рис. 38,б показана схема такого испытания грунтов. Этот способ дает возможность судить о модулях деформации песков. В глинистых грунтах его определение оказывается менее надежным.

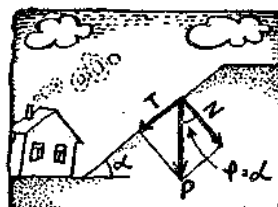
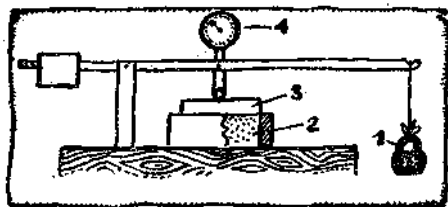


Рис. 39. А так испытывается сжимаемость в лаборатории:

1 — груз; 2 — образец грунта; 3 — штамп; 4 — измеритель деформации

Рис. 40. Вот какие силы действуют в песчаном откосе.

P — сила тяжести массива; T — сдвигающая сила; N — удерживающая сила; α — угол откоса; ϕ — угол внутреннего трения

Конечно, есть и другие методы оценки модуля деформации. Из них наибольшее распространение получил прессиометрический (от лат. *pressare* — давить, жать) способ. Он заключается в том, что в скважину опускается цилиндр с эластичными стенками. Затем в него нагнетают какую-либо жидкость или пускают под давлением газ (например, сжатую углекислоту). Показателем служит величина расширения грунта в стороны под действием давления со стороны эластичных стенок

цилиндра (рис. 38, в). Геолог, зная эту величину при определенном давлении, легко рассчитывает модуль деформации.

Так проводят исследования в полевых условиях. А можно ли оценить сжимаемость в лаборатории?

Конечно. Более того, исторически сложилось так, что лабораторные методы были использованы первыми для определения этой важной характеристики. И сейчас они преобладают в повседневной деятельности производственных организаций. Главный недостаток лабораторного определения сжимаемости — ее оценка по маленькому образцу (цилиндр диаметром 6 — 7 и высотой 2 см).

Само испытание очень простое. В бронзовое кольцо из монолита (сохраняющего природную влажность и строение грунта) осторожно врезается образец. Затем его ставят под штамп прибора (рис. 39) и прикладывают ступенями давление от 0,1 до 0,5 МПа. На разных этапах нагрузки точно измеряется уменьшение высоты образца. Этих данных достаточно, чтобы оценить его сжимаемость.

Теперь мы знаем, как определяется способность грунтов уплотняться под нагрузками.

Зная величину модуля деформации грунта, строитель расчетом определяет ожидаемую осадку от веса здания. Вот и выходит, что если бы средневековые зодчие умели делать подобные вычисления, то они легко бы установили, что на участке опоры Пизанской башни на глинистый грунт осадка оказалась бы в 5 раз больше предполагаемой.

Достаточно ли строителю знать только один модуль деформации? Оказывается, нет. Есть еще один важный показатель — сопротивление сдвигу.

Представим себе песчаный откос насыпи или выемки перед мостом. Давайте попытаемся сделать его вертикальным. Как бы мы ни старались, у нас ничего не получится. Песок будет осыпаться и скользить к подошве откоса. Однако, уменьшая угол откоса, мы достигнем момента, когда он окажется достаточно устойчивым. Чтобы понять, почему не держится вертикальный откос, посмотрите схему на рис. 40. Единственная сила, которая здесь действует, — сила тяжести грунта (или его вес). По известному правилу параллелограмма ее можно легко разложить на силу, действующую вниз по склону, T , и силу, направленную перпендикулярно к откосу, N . Не вызывает сомнений, что сила T стремится сдвинуть грунт вниз, а сила N прижимает песчинки к массиву и препятствует этому движению. Здесь следует заметить, что отношение этих сил представляет собой коэффициент внутреннего трения грунта f . Значит, $f = T/N$, и тогда сдвигающая сила $T = fN$. Из рис. 40 видно, что f является тангенсом угла ϕ , так как T и N образуют катеты треугольника и относятся к этому углу. Угол ϕ получил название угла внутреннего трения грунта. В песках он равен a — углу откоса.

Давайте посмотрим, как будет обстоять дело в откосах, сложенных глиной. Силы, действующие в грунтовом массиве, останутся те же, но появится один новый фактор — сцепление между частицами глины. В этом случае сопротивление грунта сдвигу будет зависеть не только от трения между зернами, но и от действующих связей между глинистыми частицами. Величина этих связей может быть весьма существенной и достигать $(1 - 2) \cdot 10^4$ Па.

Теперь ясно, что в глине противодействует движению откоса не только трение, но еще и сила сцепления C . Отсюда устойчивость такого откоса будет определяться простым уравнением $T = Nig(f + C)$. Если сила сдвига T окажется больше удерживающих сил, то склон начнет скользить вниз, а если меньше, то он будет стоять неподвижно.

Мы уже знакомы с тем, что при чрезмерном весе постройки и появлении значительной горизонтальной силы, превышающей сопротивление грунта сдвигу, возникает его выпучивание.

Нетрудно заметить, что эти процессы в откосе и основании имеют один и тот же характер. Вот поэтому закономерности сопротивления грунта в обоих случаях одинаковы.

Подведем итог. Для оценки прочности грунта или его сопротивления сдвигу необходимо знать величину трения и сцепления между частицами.

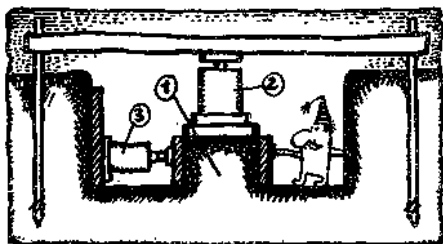


Рис. 41. Исследование прочности грунтов в поле:

1 — грунт; 2 — гидродомкрат для вертикального нагружения; 3 — гидродомкрат для сдвигающего нагружения

Как же определить эти важные характеристики? Долгое время искали пути их оценки. В конце концов решили попросту моделировать процесс сдвига.

В полевых условиях (на месте строительства) делается шурф, на дне которого оставляется кубический монолитный «останец» (рис. 41). Сверху и снизу к нему с помощью домкратов прилагаются давления, имитирующие соответственно вертикальную силу N и горизонтальную силу T . Сначала устанавливают вертикальное давление 0,1 — 0,3 МПа, а затем прикладывают горизонтальное усилие. Последнее постепенно увеличивают до момента возникновения сдвига монолита. Его значение и будет соответствовать разрушающей силе T .

В полевых условиях для определения сопротивления грунта сдвигу применяются и другие, уже известные нам методы — прессио-метрия и зондирование.

Эту важную характеристику грунтов можно определить и в лаборатории. Наиболее распространен один из самых старых методов — одноплоскостной сдвиг. Он напоминает собой только что рассмотренный полевой опыт. В отличие от него определение осуществляется в небольшом образце, врезанном в бронзовую обойму (примерно такую же, как при испытании на сжимаемость). Ее характерная черта заключается в том, что она состоит из двух колец, верхнего и нижнего. Это и позволяет сдвигать заряженный образец грунта за счет перемещения одного из колец по другому (рис. 42, а). Вертикальное давление прикладывается через штамп к верхней части образца, а сдвигающая (горизонтальная) сила — к подвижному кольцу. Последняя увеличивается до момента возникновения смещения (сдвига).

Ну, а как дальше? Срезали образец и получили значения при определенных вертикальных давлениях сдвигающей силы T . А ведь для пользования формулой, приведенной выше, нужно знать не только V и T , но еще и угол трения ϕ и коэффициент сцепления C . Здесь необходимо немного вспомнить геометрию.

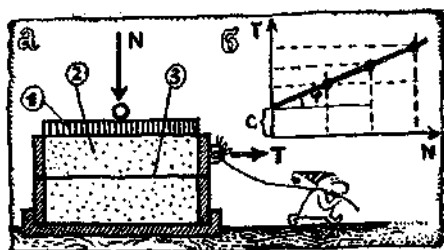


Рис. 42. В лаборатории также определяется прочность грунтов:

а — сдвиг в приборе: 1 — поршень, 2 — образец грунта, 3 — плоскость сдвига; б — как определяется угол трения и сцепления грунта: T — сдвигающее усилие, N — вертикальное давление

Для получения этих величин производят испытание трех образцов на срез с тремя значениями вертикального давления. Имея эти данные, можно построить график, в котором по оси абсцисс (ось N) откладываем вертикальные давления, а по оси ординат (ось T) наносятся значения сдвигающих усилий. По трем точкам (трем испытаниям), отложенным на графике, проводится прямая линия. Отрезок, который она отсечет на оси T , равен величине сцепления C . Угол, образованный проведенной линией с осью N , является углом трения грунта ϕ . На рис. 42, б показаны эти простые построения.

Теперь давайте совершим экскурсию в грунтовую (инженерно-геологическую) лабораторию. Вот перед нами отдел гранулометрических анализов. На столах стоят блестящие цилиндры. Здесь одновременно в 12 — 15 установках идет определение содержания в грунтах частиц разных размеров. Следующий зал наполнен различными приборами. С их помощью определяются физические свойства грунтов: тшотность, объемная масса (масса 1 см³ грунта с порами и влагой), пластичность, липкость и др. Переходим в отдел водно-физических свойств. Посреди зала расположен бетонный лоток, где изучается размываемость грунтов. У стенок размещены приборы для определения водопроницаемости, размокаемости, влагоемкости и других свойств.

Пойдем дальше. Перед нами святая святых лаборатории — зал механических испытаний. Рядом стоят поблескивающие никелем компрессионные приборы, стабилометры и сдвигающие установки. Некоторые из них снабжены микроЭВМ, которые направляют работу приборов по заданным программам.

А вот следующее помещение. Здесь изучаются состав и строение грунтов. На столах оптические микроскопы разных типов. В одной фистройке разместился растровый электронный микроскоп, а в другой — оборудование для рентгеноструктурного анализа.

Коридор выводит нас в большой зал. В нем находятся крупные лотки и устройства, напоминающие краны. Это отдел лаборатории, занимающийся моделированием грунтов и процессов, протекающих в Массивах.

В Следующей комнате обрабатывают полученные результаты. В ее центре находится современная ЭВМ, с огромной скоростью выдающая обобщения, статистические данные и выводы по выполненным исследованиям.

Но это еще не все. Давайте спустимся в полуподвальное помещение — зал, залитый ярким светом люминесцентных ламп. Здесь стоят различные прессы, на которых идет исследование прочности скальных пород.

Отсюда мы попадает в специальную комнату, где происходит подготовка образцов к исследованиям. Выполняются самые различные операции: зарядка колец для механических испытаний, вырезка и шлифовка кубиков скальных грунтов для раздавливания на прессах.

Подготовленные образцы на подъемниках подаются наверх в только что осмотренные нами залы. Такова современная грунтовая лаборатория.

Как же правильно?



В XIV в. философ Жан Буридан сочинил притчу об осле, который, находясь на равном расстоянии от двух совершенно одинаковых охапок сена, не мог решить, какую из них ему начать есть, В результате он умер от голода. С тех пор выражение «буриданов, осел» стало крылатым.

Когда нужно сделать выбор между равноценными предметами, человек может затрудниться в решении. А как быть, когда получаемые значения свойств одного и того же грунта в параллельных опытах различаются?

Может быть, превратиться в «буриданова осла», не зная, какую цифру выбрать — справа или слева?

Расхождения практически во всех случаях исследования свойств — обычное явление. Передо мной на столе лежат таблицы результатов изучения объемной массы одного образца суглинка. В лаборатории было сделано 12 определений. Их значения оказались от 1,71 до 1,94 т/м³. А вот результаты определения одного из самых простых свойств того же суглинка — естественной влажности. Опять в 9 случаях она колеблется от 16,2 до 20,1 %. В этом же суглинке по 5 испытаниям в одном и том же приборе разница в значении модуля деформации составила от 7,6 до 11,2 МПа.

В чем же дело? Почему возникают такие значительные расхождения между параллельными определениями? Какие из них взять для проектирования?

Эти расхождения объясняются прежде всего тем, что свойства одних и тех же грунтов в природе неодинаковы в разных точках. Подобное явление связано с неравномерностью строения, колебаниями влажности и состава пород. Ведь грунт имеет сложное происхождение. Формируется он не в лаборатории, а в природе. Независимо от того, образуются ли грунты в воде или в результате ветрового привноса, на отложения всегда действуют десятки факторов: изменения скорости водного потока или ветра, температуры, характера привносимого нового материала и многие другие.

Мы уже говорили, что скорость накопления осадков на две морей не превосходит 2 мм в год. Давайте посмотрим, сколько нужно лет, чтобы образовался слой мощностью, равной высоте опробуемого образца. Чаще всего высота образца колеблется от 200 до 250 мм. Значит, слой подобной толщины сформируется в море за 100 — 150 лет. За это время многое может измениться. Это — одна из причин колебания свойств грунта в пределах даже одного образца. Но свойства грунта зависят также от способа отбора образцов, степени изменения их влажности при транспортировке, а также воздействия вибрации и толчков при перевозке.

Наконец, погрешности возникают при самом испытании из-за того или иного несовершенства прибора и методики оценки свойств.

Вот почему при параллельных определениях расхождения в полученных значениях показателей могут составлять от 5 до 30 %.

Как же поступить? Какую цифру можно выбрать, чтобы рекомендовать ее для расчета фундаментов и оснований зданий?

Нельзя не вспомнить историю с Пифагором, который пытался на словах объяснить своему ученику одну сложную зависимость. Видя, что тот ничего не понимает, ученый воскликнул: «Нет, это не объяснить на словах, здесь могут помочь только цифры».

И в нашем случае на помощь должна прийти математика — прежде всего статистическая.

Давайте выстроим в ряд полученные в лаборатории значения какого-либо одного свойства образца грунта. Отбросим аномально большие и малые значения и определим среднюю арифметическую величину. Вот ее-то и рекомендуется использовать для расчетов.

На следующем этапе определяется точность полученного показателя. Для этого вычисляют среднюю арифметическую или среднюю квадратическую погрешность. Первая представляет собой сумму разностей отклонений отдельных значений свойств от полученного среднего значения,

деленную на число определений (или $\frac{\sum (x_i - \bar{x})}{n}$, где x_i — отдельные значения свойства; \bar{x} — среднее значение; n — число определений).

Вторая величина — средняя квадратическая погрешность — позволяет лучше оценить точность выбора значения свойства. Она представляет собой квадратный корень из суммы квадратов тех же разностей, деленной на число определений (или

$$\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}.$$

Применяется и ряд других методов математической статистики, позволяющих оценить выбранную величину свойства.

Математические формулы и ЭВМ широко используются в грунтоведении для расчетов механических свойств, прогноза поведения грунтовых массивов при строительстве, моделирования и других целей.

В последние годы для разработки проблем науки о грунтах стали использовать системный анализ. Как известно, это не какой-то математический прием или метод, а скорее способ мышления и логических построений. Как, например, строятся исследования при системном анализе? Ученый в этом случае действует примерно по такой схеме: выбор проблемы->выбор конкретной задачи->постановка частных задач->выбор путей их решения->моделирование процесса или грунтового массива-> выбор варианта дальнейшего действия->внедрение результатов.

Большие возможности открылись перед грунтоведением в связи с использованием моделирования. В настоящее время предложены многочисленные модели песчаных, глинистых грунтов, позволяющие решать многие практические вопросы.

В качестве моделей применяются либо естественные грунты, либо материалы, эквивалентные по своим свойствам грунтам. Используются методы лабораторного моделирования, фотоупругих исследований на эквивалентных материалах, центробежного моделирования. В отдельных случаях могут быть полезны также логические или математические модели.

Вопрос о деталях использования моделирования излагается в специальной литературе.



Океаны и моря. Морская стихия. Это совсем иной мир. Если животные с континента на длительное время оказываются под водой, то они тоиут. И, наоборот, если обитатели моря попадают на сушу, они также «тонут», но в воздухе. Лишь небольшая группа земноводных животных способна жить и в воде, и на суше.

Океаны явились колыбелью жизни на Земле. Здесь она зародилась на сотни миллионов лет раньше, чем на континентах. Значительно позже, когда поверхность материков стала пригодной для жизни, первые обитатели моря выползли на берег и начали приспосабливаться к континентальной среде. У человека и поныне сохраняются некоторые следы водного происхождения его древних предков — морских животных. От рыб человек получил позвоночник, череп, челюсти, зубы, конечности, слух и ряд других органов.

Для людей морская среда долгое время казалась загадочным и даже враждебным миром. Древние народы окружили океаны мифами и населили их пучины богами. О морях созданы тысячи легенд и преданий.

До XX в. человек практически не использовал всего богатства морей и океанов, занимаясь в основном только рыболовством. И только в наш век человечество серьезно обратило на них свой взор. Прежде всего в морях и океанах стали искать новые источники промышленных ресурсов. На дне морских акваторий были обнаружены многочисленные месторождения полезных ископаемых. Наконец, их пространства сейчас начали рассматриваться как возможные площади для размещения городов. Поэтому океан и назвали «голубой целиной».

Наверное, многие из вас знают о разработке нефти на Каспийском море, где нефтяные вышки шагнули далеко в воду; в Северном море; о поисках нефтяных месторождений во многих других морях. Люди принялись интенсивно осваивать морской шельф (прибрежную мелководную часть морей и океанов). Он оказался необычайно богатым. Здесь встречается не только нефть, но и золото, серебро, цветные металлы и другие полезные ископаемые.

Добыча нефти сейчас ведется со сравнительно небольших глубин — до 300 м. Вместе с тем уже ставится задача разработки нефтяных месторождений на отметках до 1000 м ниже уровня моря. Предполагается, что основные месторождения этого ценного источника энергии размещаются на глубинах 2000 — 3000 м.

Добыча на «мелких» месторождениях (до 200 м) осуществляется со стационарных нефтяных платформ. На больших глубинах приходится переходить на нефтедобывающие установки, монтируемые непосредственно на морском дне. Они представляют собой герметические цилиндры, в которых поддерживается нормальное атмосферное давление. На дне работают и бригады нефтедобытчиков. В связи с этим возникает необходимость создания жилых придонных помещений.

Нетрудно догадаться, что строительство нефтяных платформ и глубинных установок предъявляет серьезные требования к изучению свойств и строения донных грунтов. Их исследование необходимо и при организации добычи других полезных ископаемых.

Следующая важная задача морского грунтоведения — выявление закономерностей образования и движения донных грунтов, а также динамики их свойств. Это необходимо знать для строительства различных гидротехнических сооружений: портов, молов, дамб, прилив-но-отливных электрических станций и т. д.

Особенно остро стоит для многих прибрежных городов проблема борьбы с наступлением моря. Жизненно важно ее решение для поселений, находящихся на берегах, медленно опускающихся под действием движений земной коры или в связи с откачкой подземных вод.

Опускания дна привели к погружению многих древних городов. Так, в районе г. Сухуми акванавты открыли на некотором расстоянии от берега на морском дне развалины исчезнувшего когда-то Сухум-Кале. Продолжив свои поиски, они нашли остатки еще более древнего города Севастополя, который оказался погруженным на большие глубины и на более значительном расстоянии от берега.

Положение уровня Каспийского моря за несколько тысячелетий колебалось до Юм. Так, в 1939 г. в Бакинской бухте под водой нашли остатки башни, на которой была написана дата ее постройки — 1234 г. Около г. Дербента в море на глубине 7 м удалось обнаружить древние каменоломни.

Сейчас стоит вопрос о предотвращении погружения в море г. Венеции — сокровищницы итальянского искусства. Ежегодно осенью и зимой под ударами сирокко (ветра с моря) морские волны гонят воду на город. В результате более чем 30 раз в году часть города оказывается под водой. Затапливается знаменитая площадь Св. Марка. Для прохода по ней приходится устраивать мостки. Специалисты считают, что спасти Венецию может только устройство двойной линии дамб.

Опыт подобного строительства имеется в разных странах: СССР, СРВ, Франции и др. В Нидерландах, например, многие десятилетия ведется успешная борьба с наступающим морем. В 1932 г. там отгородили дамбой целый залив Зейдерзее, который затем осушили.

Развитие мореходства требует расширения портового строительства, создания морских судоходных каналов на мелководье, волноломов и других сооружений.

Вот почему морское и океаническое дно начало привлекать к себе особое внимание исследователей. Нужно сказать, что именно в океанских просторах находится основная масса грунтов. Действительно, в морях и океанах — громадные количества гальки, песка, ила, глины и других грунтов. Крупнообломочные и песчаные грунты, шельфа все больше превращаются в объект разработки для нужд строительства. Часто она носит хищнический характер. Уже сейчас ученые бьют по этому поводу тревогу. Такая непомерная добыча на пляжах и мелководье наносит серьезный ущерб курортам и равновесию шельфовых зон. Она является одной из причин возрастающего разрушения морских берегов.

В грунтоведении изучение морских глубин началось сравнительно недавно, примерно 30 лет назад. Но уже сегодня можно говорить о развитии нового направления в этой науке — морского грунтоведения.

Возникает естественный вопрос: «Чем отличаются морские пески от континентальных или глина на море от глины на суше?»

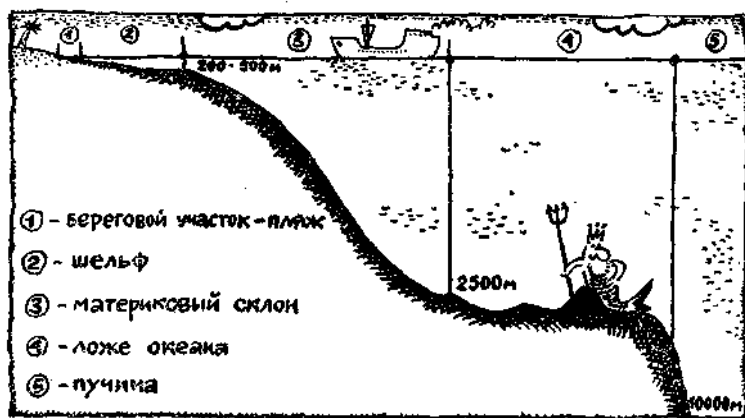


Рис. 43. Таков рельеф дна

Первое отличие в том, что они находятся под слоем воды. Толщина этого столба воды зависит от рельефа дна. Ученые выделяют прежде всего пологую подводную окраину материков, наиболее мелководную часть дна. Она получила также название материковой отмели или шельфа. Ее условной границей считается 200-метровая глубина моря. Однако сейчас полагают, что к шельфу следует отнести и большие глубины. Так, в Баренцевом море глубина подводной части материков достигает 500 м. Именно к шельфу и приковано главное внимание ученых. Здесь дно покрыто самыми разнообразными грунтами: галечно-гравелистыми, песчаными, иловатыми и глинистыми.

За этой зоной следует переход от материка к ложу океана. Материковый склон простирается примерно до глубины 2500 м. Далее идет ложе океана (рис. 43).

Однако рельеф дна гораздо сложнее, чем представляется на первый взгляд. В сущности, он мало чем отличается от поверхности материков. Здесь также есть мощные горные системы, вулканы, обширные равнины, каньоны, пропасти, остатки речных долин.

Лет 25 тому назад стало известно, что по дну океанов идут срединно-океанические хребты. Но самое интересное, что они в продольном направлении рассечены глубокими долинами, получившими название рифтов. Это зоны, в которых происходят удивительные процессы. Здесь находятся самые подвижные части земной коры. Можно сказать, что в них идет ее образование. Именно тут раздвигаются плиты, слагающие, как считают геологи, верхнюю часть Земли, а через образующиеся трещины изливается расплавленная базальтовая лава. Так, можно сказать, на наших глазах образуются скальные грунты.

Но вернемся к донным грунтам. Итак, то, что все они находятся под слоем воды, определяет их главные особенности. К ним прежде всего относится постоянное, почти полное насыщение водой всех пор. Лежащие на донной поверхности грунты находятся под давлением столба воды: на глубине 50 м — 0,5 МПа, у края шельфа (глубина 200 м) оно достигает 2 МПа, а на ложе океана — громадной величины 50 МПа и более. Когда возникает необходимость поднять для исследования образец донного грунта на поверхность, то встречаются различные затруднения. Прежде всего сказывается большой перепад давлений. Образец, извлеченный с глубины хотя бы 100 м, испытывает переход от давления 1,0 МПа к атмосферному давлению (примерно около 0,1 МПа). Нетрудно заметить, что разница составляет 10-кратную величину. А ведь вода, заполняющая поры грунта, после его

извлечения на поверхность не сразу теряет напор. На поверхности в момент контакта с атмосферой он резко изменяется, а внутри иловато-глинистого образца повышенное давление воды в порах сохраняется длительное время. Этот процесс ведет к глубокому динамическому изменению структуры.

Необходимо также помнить, что донные грунты насыщены морской водой, содержащей в своем составе огромный набор различных солей. Это обстоятельство делает затруднительным определение состава грунтов по крупности (гранулометрический анализ), а также оценку ряда других свойств грунтов.

Самая верхняя часть донных грунтов на дне морей и океанов (слой мощностью 0,3 — 0,7 м), как правило, разжижена и легко перемещается под действием различных донных течений. При этом нужно учитывать, что расход и скорости некоторых постоянных морских течений в ряде случаев превосходят те же параметры воды в равнинных реках. Таким примером может служить Гольфстрим. Он несет 25 млн. м³ воды в секунду. Эта величина в 20 раз больше расхода всех рек земного шара. При этом скорость потока колеблется от 3 до 10 км/ч. Для сравнения можно привести скорость течения р. Дон — 3,6 км/ч.

Морская вода вообще находится в постоянном движении то в результате приливно-отливных, то тепловых и ветровых процессов. Это приводит к перемещению прежде всего донных грунтов, находящихся на небольших глубинах в зоне прибоя. Разжиженный поверхностный слой осадка медленно перемещается под действием гравитационных сил даже при слабых уклонах дна в 2 — 3°. А если они более значительны, то возникают подводные оползни. Водонасыщенность верхнего слоя морских грунтов определяет их высокую подвижность.

Движение наносов и тектонические поднятия дна приводят к неожиданным явлениям. Как-то в Карибском море неожиданно из водной пучины поднялся довольно большой остров. Англичане успели поднять на нем свой флаг. Но пока они размышляли, как его навзвать, он успел опять погрузиться.

Конечно, трудности изучения донных грунтов не ограничиваются их водонасыщенностью и подвижностью. Оказывают свое влияние и микробиологический состав, и содержание различных газов, и другие особенности донных грунтов.

Эти обстоятельства заставили ученых уделить особое внимание разработке методов исследования грунтов непосредственно на месте их залегания. Для этой цели стали использоваться специальные батискафы, различные автоматические устройства, в том числе снабженные телевизионными камерами. Применяются также установки для зондирования, приборы для эхолокации и многие другие.

Разумеется, все это не исключает исследования донных грунтов в лаборатории. Для этого создаются специальные грунтоотборники. Отобранные ими образцы изучаются при помощи оптических и растровых электронных микроскопов, рентгеноструктурного анализа, а также обычными физическими методами, принятыми для исследования континентальных грунтов. В последнем случае приходится вносить различные поправки для учета особых свойств морских отложений.

Хотя уже много сделано в развитии морского грунтоведения, однако еще больше вопросов остаются неизученными.



В исторический день 12 апреля 1961 г. Ю. А. Гагарин впервые в мире поднялся в просторы космоса. Началась космическая эра. Сейчас сотни спутников, космические станции бороздят приземное космическое пространство. Люди послали на планеты Солнечной системы целый ряд автоматических аппаратов, позволивших поближе узнать наших космических соседей.

За истекшие 20 — 30 лет знания человека о Вселенной неизмеримо выросли. Это связано не только с развитием космических аппаратов, но и с появлением принципиально новых методов изучения. Возникли и развились радиоастрономия, рентгеновская астрономия, гамма-астрономия и другие новейшие направления науки о Вселенной.

Сейчас уже ставится вопрос о возможности использования Луны и некоторых астероидов для извлечения необходимых человеку полезных ископаемых. Истощение месторождений на нашей планете будет подталкивать к решению этой проблемы.

По мере развития космической техники все более будут использоваться для изучения планет сначала автоматические станции, а затем аппараты, доставляющие исследователей на поверхность планет. Возможно также создание промежуточных баз и постоянно действующих исследовательских станций на некоторых планетах и астероидах. Все это заставляет изучать грунты, покрывающие ближайшие небесные тела, с точки зрения их состава, строения и свойств.

Нам сейчас ясно, что формирование грунтов других планет происходит не всегда по земному типу. Это определяется иными физическими условиями поверхности всех ближайших к нам космических соседей. В одних случаях на них отсутствует воздушная оболочка, в других — она незначительна, а в третьих — оказывается более мощной, чем на нашей планете. Также разнятся состав газовых оболочек, их температура и характер движения. Еще сложнее обстоит дело с гидросферой. В жидком виде она, кроме Земли, по всей вероятности, существует еще в марсианской коре, а в виде льда, парообразной, а возможно, и жидкой субстанций встречается в атмосфере Венеры и других планет (например, Юпитера и его спутников).

Все эти факторы приводят к особым условиям формирования грунтов на окружающих небесных телах. Даже магматические породы, изливающиеся из недр планет, часто имеют специфическое строение и состав, отличающий их от земных. Такие планеты, как Меркурий, Марс, а также спутник Земли — Луна, и астероиды подвергаются бомбардировке метеоритами, порождающей особые условия образования их грунтов.

Пока имеются лишь первые данные о характере грунтов в космосе, но и они свидетельствуют об их большом разнообразии.

Давайте кратко остановимся на условиях формирования грунтов ближайших планет и имеющихся о них сведениях.

Начнем обзор с нашего спутника — Луны. Она представляет особый интерес для человечества как ближайшее к Земле космическое тело. Ученые считают — в период с 1993 по 2030 г. на Луне будет создан опорный центр для управления космоплаванием. В изучении нашего спутника сделаны большие успехи. На Луну были осуществлены посадки космических аппаратов: автоматических и управляемых людьми. Карты Луны по своей точности не уступают земным, а лунные грунты доставлены на Землю и исследованы в лабораториях СССР и США.

Условия формирования лунных грунтов значительно отличаются от земных. Прежде всего здесь отсутствует воздушная оболочка, поэтому поверхность то нагревается под действием солнечных лучей до 80 — 130°C, то быстро охлаждается при наступлении лунной ночи до минус 100 — 150°C. Следует при этом учесть, что продолжительность лунного дня около двух земных недель.

Хотя принято считать, что на Луне нет атмосферы, в последнее время установлено присутствие здесь очень разреженной газовой оболочки. Она в основном состоит из гелия.

Рельеф Луны представляет собой сочетание обширных равнин (называемых морями) с горными хребтами, отдельными остроконечными пиками, кольцевыми горами и кратерами.

На нашем спутнике зарегистрированы землетрясения и вулканические извержения.

На нем установлено также интересное явление неравномерного распределения гравитации. Это связано с особенностью строения Луны. Она до глубины нескольких сот километров состоит из крупных глыб, присыпанных снаружи песком. Это, необычное распределение массы получило наименование «масконов».

Вместе с тем средняя сила тяготения на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле. Это определяет характер смещения обломков по склонам лунных гор.

Все рассмотренные особенности нашего спутника позволяют считать, что на нем встречаются следующие генетические типы грунтов: магматические породы; вулканические пеплы; метеоритные образования, сформировавшиеся за счет метеоритов и процессов, происходящих при их падении; космическая пыль; рыхлые грунты, возникшие в ходе физического (термического) выветривания при резкой смене дневных и ночных температур.

Имеющийся опыт работы автоматических станций, доставленное на Землю образцы и информация от американских астронавтов, высадившихся на поверхности Луны, позволяют говорить о наличии в лунной коре следующих групп грунтов: 1) скальных, сложенных базальтами (их разновидностью — реголитом), образцы которых доставлены на Землю. Их особенностью является значительное количество титансодержащих минералов. Пользуется также распространением габбро (его разновидность — долерит); 2) крупнообломочных, в составе которых находятся камни и обломки размером от нескольких метров до 2 — 20 мм; 3) песчано-пылеватых, образующих слои мощностью от сантиметров до многих десятков метров.

Другая интересная планета Марс, особенно привлекающая внимание людей, была изучена советскими и американскими космическими аппаратами.

В отличие от Луны эта планета имеет большую воздушную оболочку. Правда, она весьма разрежена и содержит очень мало воды, а кислорода только 0,3 %. Ускорение свободного падения на поверхности Марса на разных участках различно. Оно составляет в среднем 38 %, земного. Марсианские сутки по продолжительности близки к земным (они длятся 24,5 ч). Эта планета получает значительно меньше солнечной энергии (почти наполовину), чем Земля. Поэтому ночью температуры достигают минус 120 °С, а днем не поднимаются выше минус 15 °С. Рельеф Марса на большей части его территории пологий. Вместе с тем там находится наиболее высокий из всех известных на других планетах вулканический конус — гора Олимп. Ее высота достигает 27 км при диаметре основания более 600 км. Кроме того, на Марсе обнаружен необычный по величине каньон длиной 3600 км и глубиной 7 км. Его бока пересекаются громадными оврагами, а на склонах находятся многочисленные оползни.

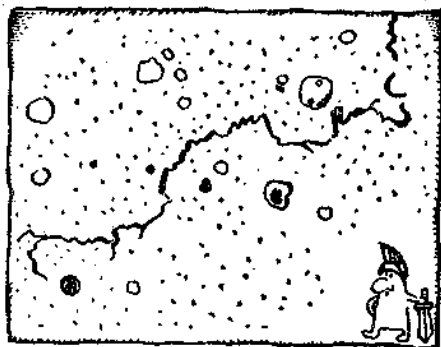


Рис. 44. Следы реки «Ниргал» на Марсе (с фотографии «Маринер-9»)

Обнаружена также и долина древней реки, длина которой достигает 400 км. Она содержит массу меандр. Ее водное происхождение не вызывает сомнения (рис. 44).

В полярных шапках Марса находится много льда. Здесь же отмечены массы затвердевшей углекислоты. Предполагается, что вода содержится в больших количествах в грунтах, образуя вечную мерзлоту.

По данным, полученным советскими аппаратами «Марс», американскими «Маринер» и «Викинг», значительная часть планеты покрыта песчано-пылеватыми грунтами. Они формируют простирающиеся на обширном пространстве равнины. Часто на их поверхности имеются дюны. По химико-минералогическому составу эти грунты кремнисто-железистые. Поэтому окраска поверхности планеты имеет ярко-красный цвет. По крупности в составе грунтов преобладают частицы диаметром от 1 до 10 мкм.

Зарегистрировано также присутствие в атмосфере очень тонких частиц размером 0,1 мкм. Последнее обстоятельство заставляет предполагать наличие глинистых минералов. Их образование, как видно, связано с условиями, существовавшими в далекую эпоху, когда на планете был другой климат и бурно текли потоки поверхностных вод.

Песчано-пылеватый, а также глинистый материал во время сильных продолжительных бурь легко поднимается вверх, достигая высоты 15 км над поверхностью Марса.

Кроме того, на планете отмечены магматические породы базальтового состава (реголит), которые концентрируются у вулканических конусов. Распространены и крупнообломочные грунты. На снимках равнин Марса хорошо видны обломки диаметром от 2 мм до 3 м. Обращает на себя внимание то, что большинство камней, усеивающих поверхность, не окатаны. Лишь на отдельных из них видны следы обработки. Можно полагать, что эти грунты сравнительно молодые, а видимые следы обработки связаны с сухими песчаными потоками, возникающими во время сильных ветров. Как видно, что обтачивание камней («коррозия») имеет существенное значение в современных процессах образования песчано-обломочных грунтов планеты.

Наконец, на Марсе зарегистрировано большое число кратеров, являющихся чаще всего результатом падения метеоритов. При этом также образуются своеобразные рыхлые грунты. Отмечается довольно высокая плотность поверхностных пород: от 1,8 до 2,0 т/м³.

Рассмотрим еще одну планету — Венеру. Она долгое время была загадкой для астрономов. Дело в том, что Венера окружена мощной атмосферой. В ней от высоты 18 до 75 км размещается несколько ярусов облаков, закрывающих поверхность планеты.

Венера по размерам, плотности и силе тяжести весьма близко напоминает Землю. Венерианский год около 225 дней, однако продолжительность суток составляет 118 земных. Интересно, что Венера не имеет магнитного поля.

Советские станции «Венера-9, -10, -11 и -12», помогли раскрыть тайну, которой окутана планета. Прежде всего было установлено, что здесь царит всегда испепеляющая жара. Температура поверхности около 500 °С. Нижний припланетный слой воздуха состоит из углекислого газа, плотность которого в 70 раз выше, чем приземного слоя. Давление атмосферы на поверхности Венеры достигает 9,8 МПа.

Условия формирования свойств грунтов здесь весьма своеобразны. Температура почти всегда одинаковая. Разница между ее дневными и вечерними значениями оказывается в пределах менее 1 °С. Дождей нет, потому что воды в атмосфере планеты вообще очень мало. Ветер сравнительно слабый и вряд ли превосходит скорость 1 м/с. Однако даже при столь малых ветрах следует учитывать высокую плотность углекислой атмосферы и отсюда — ее повышенную способность к разрушению пород. Можно полагать, что на минеральный состав грунтов влияет также взаимодействие пород с горячим углекислым газом. Рельеф планеты до сих пор изучен слабо. Имеющиеся сведения позволяют предполагать присутствие вулканических гор и обширных равнин.

Панорамы, полученные советскими спускаемыми аппаратами «Венера», в том числе последнее цветное изображение, позволяют говорить о том, что на планете пока зарегистрировано два типа грунтов: скальные, магматические и рыхлые, крупнообломочные. Последние состоят из глыб, камней со слоистой структурой и мелких обломков до 1 — 2 мм. Судя по снимкам, имеется также пепловый материал с «вулканическими бомбами» (образования, связанные со взрывами во время извержения вулканов).

В заключение кратко остановимся еще на одной планете — Меркурии. Среди других планет Меркурий — своеобразный чемпион. Он успевает обежать Солнце за 88 земных суток (год Меркурия). Но солнечные сутки (оборот вокруг своей оси) составляют ни много ни мало 176 земных суток. Получается, что солнечные сутки в 2 раза длиннее года на Меркурии!

Хотя плотность Меркурия близка к земной, сила тяжести на нем составляет только 38 % от силы тяжести на Земле. Условия образования грунтов (расчлененный рельеф, очень разреженная гелиевая атмосфера, наличие большого числа метеоритных кратеров и проявления вулканической деятельности) очень напоминают лунные.

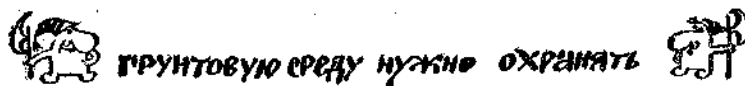
Есть и некоторые характерные черты рельефа, например странные 2 — 3-километровые обрывы, вытянутые на тысячи километров. Этот элемент ландшафта, как видно, связан с тектоническими движениями массы планеты. Колебания между дневной и ночной температурами достигают значительной величины: днем до плюс 345 °С, а ночью до минус 180 °С. Сейчас полагают, что грунты Меркурия очень близки к лунным. Здесь есть скальные магматические породы типа базальтов. Большое распространение, по всей вероятности, имеют рыхлые грунты, образовавшиеся вследствие ударов метеоритов и процессов физического (термического) выветривания.

Обнаружены на Меркурии и «масконы». Это позволяет предположить наличие значительного по мощности песчано-обломочного грунта.

Мы сделали очень беглый обзор условий формирования грунтов на планетах и сообщили о предполагаемых основных типах грунтов, покрывающих их поверхность. Нетрудно видеть, что в грунтовых покровах ближайших к Земле космических соседей есть, с одной стороны, много общего, а с другой — весьма специфического.

Грунты отдаленных планет, таких, как Уран, Юпитер, Нептун, пока малоизвестны. Некоторые сведения появились с поверхности ряда спутников Юпитера, покрытых скальными грунтами и льдом.

Можно с уверенностью сказать, что с каждым годом наши знания о грунтах других планет будут все более пополняться. Без этого изучение наших космических соседей и их естественных ресурсов вряд ли возможно.



Как-то один остроумный человек грустно пошутил: «Разве мы можем ждать милостей от природы, если мы превратили ее в окружающую среду?» Человечество очень долго жило, занимая у природы ее блага, а ведь долги всегда приходится когда-то отдавать.

Один из ученых, занимающихся отдаленными прогнозами, высказал предположение, что к 3000 г. большинство людей будет жить в космосе. Основанием для такого мрачного предсказания послужило истощение минеральных ресурсов и загрязнение природной среды.

В свое время греческий философ Гераклит говорил, что в природе существует всеобщая связь, она вечно движется и изменяется. Современная экология — наука о взаимоотношении организмов с окружающей средой — детально изучает экосистемы. Это понятие в тридцатых годах нашего века ввел Д. Тенсли. Он понимал под экосферой «понятие..., включающее не только комплекс организмов, но и комплекс физических факторов, образующий то, что мы называем средой».

Р. Смит, говоря о физической среде, считает, что «для пруда — это вода, донный ил и система стока, для леса — атмосфера и климат, почва и факторы водного режима».

В большинстве работ ученых-экологов мало учитывается влияние грунтов на жизнь организмов (среди них и человека). Обратимся к этому вопросу.

Трудно переоценить роль почв в экологической системе. Именно в почвах развивается жизнедеятельность азотфиксирующих бактерий и значительной части синезеленых водорослей. Именно они — и только они усваивают из атмосферы азот и делают его доступным для растений. Не меньшее значение имеют грунты при «кальциевом» обмене. Вода растворяет минералы, а растения оттуда усваивают необходимые им вещества.

Таким образом, почва — важнейшая часть природной среды. На грунтах в зависимости от состава и строения со временем формируются определенные типы почв (почвообразовательный цикл требует от 800 до 1000 лет). Между почвой и грунтовой средой существует постоянный обмен веществами и растворами.

Пока человек не распахивал почву, на ней существовал плотный травянистый покров. Почва была сверху достаточно прочной и стойкой от размыва. Степные пространства нашей страны в древности были покрыты буйной степной растительностью, способной скрыть всадника с конем.

Когда появилась пашня, почва стала легкой добычей для эрозии. Дробя каждый год верхний почвенный горизонт, мы создаем благоприятные условия для его смыва дождевыми и снеговыми водами. Если почву подстилают рыхлые грунты, например лёссовые породы, то поверхностная эрозия может переходить в линейную. Тогда начинают быстро развиваться овраги, разрушающие не только почвы и грунты, но и сложившуюся природную среду. Исчезают пахотные земли, растительное сообщество нарушается, падают уровни грунтовых вод и т. д.

В тех случаях, когда почва размещается на крутых склонах предгорий, процесс уничтожения почв и грунтов становится особенно интенсивным. В начале века по всему миру славился синопский табак. Его, высаживали в районе г. Сухуми. Особенность выращивания этой культуры заключается в устройстве борозд сверху вниз по склону и в необходимости в течение вегетационного периода неоднократно пропахивать междурядья. Это привело к крайне быстрому смыву и почв, и грунтов, на которых они формировались. Там, где на склонах в течение 30 — 40 лет высаживали табак, в конечном счете был снесен весь рыхлый покров. Сейчас бывшие плантации табака в районе г. Сухуми в значительной части исчезли вместе с почвами и грунтами. На этих местах остались лишь голые скалы. Такая же судьба ждет и многие другие табачные поля на склонах.

Другой фактор — внесение удобрений. Оно дает хороший эффект для повышения урожайности культур, вводя в почвы необходимые растениям минеральные добавки. Однако с течением времени там, где нарушаются агрохимические правила и в почву поступают излишние количества минеральных удобрений, начинается накопление ряда веществ, отравляющих и почвы, и грунты. В итоге такое ведение хозяйства может привести к обратному явлению — уменьшению урожайности. Но не только это волнует геологов. Ведь химические соединения поступают в подземные воды и в конечном счете делают их непригодными для водоснабжения. Процесс этот усиливается распашкой полей, которая повышает водопроницаемость почв.

Третий фактор — орошение и осушение. Эти мероприятия крайне важны для повышения интенсивности сельского хозяйства. Но они ведут к серьезным сдвигам в экосистемах — меняют растительные сообщества, бактериологическую флору, часто порождают засоление, иссушение (при осушении) или заболачивание (при орошении). Под их влиянием изменяются подземные воды как в количественном, так и, качественном отношении. При этом серьезные изменения могут возникать в значительной по мощности толще грунтов.

Для борьбы с отрицательными воздействиями осушения или орошения на природную среду необходимо в первую очередь строгое выполнение норм и правил их проведения.

Перемены, возникающие в результате сельскохозяйственной деятельности людей, ведут к изменению состава, структуры и свойств грунтов, что отражается на почвообразовательных

процессах, химическом составе почв, существующем обмене веществ почвогрунтов, водном режиме покровных отложений, а также на подземных водах. Все это, в свою очередь, может привести (и приводит) к далеко идущим изменениям экологической среды.

Гидротехническое строительство также оказывает серьезное влияние на грунтовую среду. Перемены в целом носят положительный характер, но нередко возникают и отрицательные явления. Например, создается водохранилище. Какие метаморфозы происходят в грунтовой толще? Прежде всего появляются новые водоносные горизонты, меняется положение существующих уровней подземных вод, нарушается температурный режим, некоторые части массивов могут заболачиваться и затопляться. Волны водохранилища интенсивно размывают береговые толщи грунтов. Часть массивов приходит в движение, возникают оползни и обвалы. Наконец, формируются новые грунты в самом водохранилище. Почвы начинают менять свой тип. Часто возникает процесс «олуговления» (увеличение содержания гумуса, соединений железа и влажности). Это в значительной степени изменяет экологические особенности территории. Появляются новые группы организмов и растений, связанных с водной средой, исчезают представители более сухолюбивых растений и животных (например, землероев). Значительно снижается количество насекомых. В результате повышения влажности из грунтовой толщи начинается миграция землероек, полевок и других грызунов. Берега заселяют водяные крысы. Возникает новая экологическая система, приспособленная к изменившемуся влажностному режиму грунтовых массивов.

Все большую территорию Земли занимают города и промышленные комплексы. В результате обширные площади покрываются асфальтобетоном, застраиваются зданиями. В грунтовой толще возводятся подземные газо-, нефте- и водохранилища, прокладываются метрополитены и укладываются многочисленные водопроводные, электрические, канализационные сети.

Особое значение имеют создание дренажных устройств, появление участков измененных грунтов, усиленный водозабор для целей водоснабжения.

В результате такого активного вмешательства человека в грунтовую среду изменяются ее водный и температурный режимы, состав и строение. Резко меняется характер водо- и газообмена грунтов с атмосферой. Все это ведет к серьезным изменениям грунтовой среды, которые отражаются на экосистемах. Как будто каких-либо катастрофических последствий этих преобразований не видно, но опасность подкрадывается постепенно. Идет медленное накопление отрицательных факторов, которые в конечном счете могут серьезно воздействовать на жизнедеятельность человека и его экологические связи с природной средой.

Немалое значение в изменениях грунтовой среды имеет горнодобывающая промышленность. Создание шахт, глубоких карьеров, откачка нефти, воды, извлечение газа оказывают серьезное воздействие на напряженное состояние толщ, а значит, и на пористость и плотность грунтов. В большой степени изменяется водный режим поверхностной части земной коры. Опускание грунтовых толщ при добыче воды, газа и нефти ведет к появлению депрессий и новых условий водообмена, а следовательно, к изменению экосистем. При вскрытии карьеров каждый год извлекаются и существенно трансформируются колоссальные массы грунтов. Сейчас предъявляется требование к рекультивации почв. Она заключается в том, что при разработке карьера почва складывается отдельно. После окончания горных работ и ликвидации карьера он должен быть засыпан грунтом, а сверху уложен слой почвы. Это очень хороший метод, но он не всегда приводит к восстановлению плодородия, потому что структура почвы, влагообмен и обмен веществами с подстилающими грунтами восстанавливаются очень медленно.

Подведем итоги нашим рассуждениям. Итак, охрана грунтовой среды необходима прежде всего как среды, вмещающей подземные воды — важный источник пресной питьевой воды. Кроме того, формирование подземных вод происходит в грунтовых толщах. Любое загрязнение грунтов неминуемо отражается на количестве и качестве извлекаемой из недр воды.

Всякое изменение водного режима и качественного состава грунтовой среды неминуемо отражается на микрофлоре и растительности, а значит, и на плодородии почв.

Размыв и разрушение грунтовой толщи водными потоками чреваты серьезными последствиями для среды обитания людей.

Можно и дальше продолжить этот перечень, но мы на этом остановимся. Несомненно, что охрана грунтов — очень важная задача, стоящая перед современными наукой и производством.

Наш рассказ о грунтах подходит к концу. Поверхность земли и слагающие ее отложения часто преподносят людям неожиданные сюрпризы. Приходится сталкиваться с мощными толщами разжиженных илов, рыхлыми песками, растворимыми породами, просадочными лёссами и многими другими, неприятными для строителей явлениями.

В этих сложных грунтовых условиях специалистам приходится искать пути преодоления «капризов» природы.

Часто практика ставит серьезные и не всегда простые вопросы. Как проложить дорогу по болотистым грунтам или рыхлым пескам? Как возвести многоэтажные здания на слабых, водонасыщенных глинах? Как построить каналы в просадочных лёссах?

А вслед за ними возникает другой вопрос: можно ли изменить свойства грунтов в требуемом для нас направлении? Иными словами, может ли человек управлять их свойствами?

Эта задача решается в специальном разделе грунтоведения — «технической мелиорации грунтов».

Основоположниками этой важной отрасли учения о грунтах были советские ученые А. П. Земятченский, М. М. Филатов, В. В. Охотин, Б. Н. Ржаницын и др., хотя первые попытки укрепления грунтов были предприняты еще в XIX в.

Уже много сделано, чтобы научиться управлять свойствами грунтов. Разработаны различные методы улучшения их физико-механических свойств. Это позволило за последние 50 лет возвести десятки тысяч промышленных и гражданских сооружений, построить сотни каналов, оросительных систем, метрополитены и многое другое. И все это было сделано нередко в сложнейших грунтовых условиях.

Строительство метрополитена в Москве и Ленинграде встретилось, казалось бы, с непреодолимыми препятствиями — жидкими текучими плывунами, слабыми, водонасыщенными иловато-глинистыми грунтами и другими неприятностями, связанными с неудовлетворительными инженерно-геологическими условиями.

Во многих случаях приходится воздерживаться от строительства метрополитена только из-за трудности его возведения в подобных грунтах.

Многим читателям известно, что ленинградский метрополитен отличается от московского большей глубиной расположения тоннелей. А знаете ли вы, почему? Потому, что в Ленинграде поверхностные толщи сложены слабыми грунтами. Лишь на глубинах 30 — 70 м размещаются сравнительно надежные так называемые кембрийские глины, в которых и проходят трассы подземки.

Но все же строителям ленинградского метро приходится проходить шахты в поверхностных водонасыщенных, слабых грунтах и плывунах, решая при этом сложные инженерно-геологические задачи.

Не меньше неприятностей возникает и при горных работах. Добыча угля и различных руд часто производится в скальных грунтах, разбитых трещинами. По ним в шахты проникают массы подземной, воды, газы, происходят вывалы камней из кровли штреков.

Плохие грунтовые условия серьезно затрудняют и гидротехническое строительство. И в этом случае по трещиноватым грунтам вода может уходить из водохранилищ, и наоборот, могут возникать значительные поступления воды в котлованы. В речных долинах, где обычно строятся плотины и дамбы, особенно часто встречаются разжиженные пески, илы и другие «опасные» грунты.

Наконец, при возведении жилых зданий и промышленных объектов строители также часто сталкиваются со слабыми, просадочными, текучими и другими «неприятными» грунтами.

Во всех этих случаях на помощь строителю приходит глубинное укрепление массивов. Оно заключается в нагнетании под давлением через специальные скважины различных укрепляющих веществ (жидкого стекла, цементных, битумных, глинистых и химических растворов).

Широту использования всех этих методов легко можно представить, если только за 30 лет после 1945 г. при строительстве гидроэлектростанций было зацементировано 2,7 млн. м. В числе этих работ есть такая уникальная, как создание противофильтрационной завесы на Асуанской плотине в АРЕ (1970 г.). По данным С. Д. Во-ронкевича, с помощью специального алюмосиликатного раствора (в его основе находится жидкое стекло) было укреплено 665 тыс. м³ грунтов.

Академический театр оперы и балета им. С. М. Кирова в г. Ленинграде, построенный в 1860 г. архитектором А. Кавос, — гордость города. После Великой Отечественной войны он стал

деформироваться. Оказалось, что возникли осадки фундаментов, вызванные взрывами и движением транспорта. Для их прекращения было применено глубинное укрепление грунтов — нагнетание карбамидной смолы. После этого все деформации прекратились.

Разрушение уникального Одесского театра оперы и балета также было предотвращено силикатированием грунтов под фундаментом.

Можно написать многотомную книгу, излагая все случаи использования методов технической мелиорации. Регулирование свойств грунтов стало отраслью не только грунтоведения, но и строительства. Многие заводы, электростанции, плотины и каналы вряд ли бы удалось возвести без специальной обработки грунтов.

Сейчас особенно широко используются цементация, силикатизация, закрепление органическими полимерами (например, битумами) и другие способы.

Разработан также целый комплекс физических методов: уплотнение вибрацией, электроосмотическое осушение, электросиликатизация, термический, замораживания и целый ряд других.

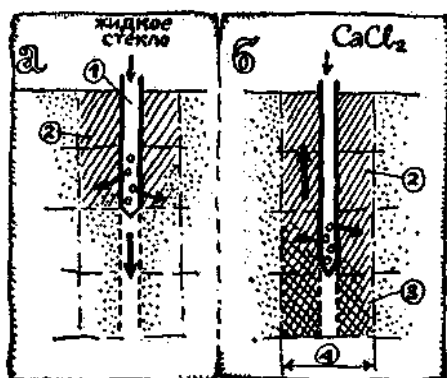


Рис. 45. Так с помощью силикатирования слабый грунт делается прочным:

а — инъектор движется сверху вниз и насыщает песок жидким стеклом; б — инъектор движется снизу вверх, насыщая песок CaCl_2 ; 1 — инъектор; 2 — зона насыщения жидким стеклом; 3 — зона насыщения CaCl_2 ; 4 — зона закрепления

Для того чтобы понять принцип глубинного уплотнения, попытаемся набросать картину его проведения.

Представим себе, что возникла необходимость укрепления рыхлых песков. В этом случае хороший результат дает их силикатирование. Об этом методе мы уже неоднократно упоминали. В чем же его сущность?

Берется трубка (инъектор), снабженная в нижней части отверстиями. В том случае, если песок мелкий, работа осуществляется следующим образом. Инъектор забивается в грунт с интервалами 1,5 — 2 м. В каждый слой насосом (под давлением 0,5 — 2 МПа) подается водный раствор жидкого стекла (Na_2SiO_3). Когда достигается требуемая глубина (обычно 10 — 15 м), инъектор извлекается. На его место до той же глубины забивается другой инъектор. Теперь через него подается раствор хлористого кальция (CaCl_2). Он превращает жидкое стекло в твердую массу (рис. 45). Подача этого «отвердителя» производится снизу вверх по тем же интервалам. На этом процесс закончен. Вокруг участка погружения инъектора образуется столб силикатированного песка диаметром 0,8 — 1,5 м. Он представляет собой полускальный грунт, сопротивление раздавливанию которого достигает 2 — 5 МПа. Чтобы закрепить массив грунта на участке строительства, такие столбы размещаются в шахматном порядке.

Ученые совершенствуют этот метод. Так, была разработана газовая силикатизация. Она заключается в том, что после нагнетания жидкого стекла в грунт подается углекислый газ (CO_2).

Применяется также метод электросиликатизации. В этом случае силикатизация производится под воздействием постоянного электрического тока.

Наука об управлении свойствами грунтов с каждым годом совершенствуется и стремится к повышению экономичности применяемых методов.

БУДУЩЕЕ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

Читатель перевернул последнюю страницу. Книга закончена. Вы познакомились с сегодняшним днем грунтоведения. А что будет в этой науке завтра?

Известно, что прогнозы о развитии науки — не всегда благодарная задача. Но все же в заключение хочется сказать о том, как будет прогрессировать эта часть инженерной геологии в ближайшем будущем.

Развитие народного хозяйства, рост населения Земли, нарастание загрязнения природной среды, прогресс науки и техники — все это требует расширения освоенных территорий и возрастающего использования грунтовой среды.

Вот отсюда и первая перспектива — дальнейшее совершенствование и уточнение методов исследования грунтов, создание новых, более совершенных приборов и, наконец, углубление теоретических основ наших знаний о формировании свойств грунтов.

Человек осваивает морские и океанские просторы. Отсюда вытекает вторая перспектива — развитие морского грунтоведения.

Люди вырвались в космос. Освоение околоземных планет — вопрос ближайших десятилетий, поэтому должна зародиться и развиваться новая отрасль — «планетное» грунтоведение. Первые робкие шаги в этом направлении уже сделаны.

Задача ближайшего будущего — еще более глубокое проникновение в тайны грунтов, в особенности их структуры и состава, и, опираясь уже на эту базу, создание математических приемов моделирования и прогноза свойств грунтов.

Ну, и еще один прогноз — дальнейшее развитие технической мелиорации — разработка новых методов управления свойствами грунтов, а также повышение экономичности и эффективности разрабатываемых методов.

* * *

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие

**ЧТО У НАС
ПОД
НОГАМИ?**

Земля — наш дом

Причина катастроф — грунты

«Рождение», «жизнь» и «смерть» грунтов

Бесконечное разнообразие

Большие, малые и совсем малые

Поразительные карлики

Как увидели «невидимки»

Предание и удивительная действительность

Лицо одно, а характеры разные

Исчезающие грунты

Рукотворные грунты

**ПРОВОСТ, НО
КОВАРЕН**

Удивительное под ногами

Загадочное поведение песков

Еще одна загадка

Как перехитрили природу

Визжащие, свистящие и поющие

Путешественники поневоле

Песок по «карточкам»

**ХИТРЫЕ
ГРУНТЫ**

Невероятно, но факт

Полезная и «зловредная» влага

Ну и липучка!

Нерастворимый «растворимый» грунт

Земля оседает под ногами

«Слабые», совсем «слабые»

То «слабые», то «прочные»

Еще одна полезная способность глин

**ЕЩЕ КОЕ-ЧТО
ИНТЕРЕСНОЕ**

«Пожиратели» металлов и бетонов

Они магнитны!

Ах, как холодно!

А теперь тепло

Поговорим об электричестве.

Как исчезают берега

Неукротимая вода

**ПРОЧНА ЛИ
ПОВЕРХНОСТЬ?**

Крепок как скала

Как сделать, чтобы дом не рухнул?

Какой высоты могла достигнуть

Вавилонская башня?

Загадки, знахари и научный прогноз

Ничто не дается без труда

Как же правильно?

**КОСМОС,
ОКЕАН,
ЗЕМЛЯ**

В царстве Нептуна...»

Грунты планет

Грунтовую среду нужно охранять

Управление свойствами

Будущее грунтоведения.

ББК 26.3

Л 25

УДК 624.131 (023.11)

Ларионов А. К.

Л 25 Занимательное грунтоведение. — М.: Недра, 1984. — 136 с.

В занимательной форме изложены основные разделы современного грунтоведения. Написана ярким, живым языком, изобилует интересными примерами из отечественной и зарубежной практики возведения различных сооружений в сложных грунтовых условиях. Показаны причины и движущие силы ряда природных явлений. В доступной форме повествуется о многих интересных свойствах грунтов. Приведено много оригинальных рисунков, отражающих различное поведение грунтов в основании сооружений и иллюстрирующих методы их исследования. Книга достаточно полно освещает генетические основы отечественного грунтоведения.

Для широкого круга читателей, прежде всего студенческой молодежи и старшеклассников.

Ил. 45, список лит. — 16 назв.

320200000 — 021

Л-----136 — 84

043(01) — 84

Анатолий Константинович Ларионов

ЗАНИМАТЕЛЬНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Редактор издательства Н. И. Мартьянов
Художник Ю. А. Ноздрин
Художественный редактор Е. Л. Юрковская
Технический редактор О. А. Орлова
Корректор К. И. Савенкова
ИБ № 4400

Сдано в набор 26.08.83. Подписано в печать 11.11.83. Т-20379. Формат 84X108 ¹/₃₂. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл.-печ. л. 7,14. Усл. кр.-отг. 7,27. Уч.-изд. л. 8,45. Тираж 45 600 экз. Заказ 565/8486 — 2. Цена 25 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Владимирская типография «Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7