

Министерство образования и науки Российской Федерации

Вологодский государственный университет

Кафедра геоэкологии и инженерной геологии

ГРУНТЫ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Методические указания по изучению дисциплины

Факультет экологии, инженерно-строительный

Направление подготовки 08.03.01 – Строительство

21.03.02 – Землеустройство и кадастры

Профили: Природообустройство и водопользование

Вологда

2014

Грунты Вологодской области: методические указания по изучению дисциплины. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 23 с.

В методических указаниях по дисциплинам «Геоэкология» и «Геология» представлены обобщенные сведения об инженерно-геологических и геоэкологических особенностях грунтов Вологодской области и соседних районов других областей. Методические указания могут быть использованы при прохождении учебной практики по геологии, а также при подготовке курсовых и дипломных работ.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составитель А.Н. Кичигин, канд. геогр. наук, доцент

Рецензент А.В. Белый, канд. геогр. наук, доцент

Введение

Относительно тонкая приповерхностная оболочка Земли, где пересекаются атмосфера, гидросфера, земная кора и биосфера, где живет человек, где осуществляется его производственная деятельность выделяется как экосфера (Голубев, 1999). Геологическая среда – верхняя часть земной коры, входящая в состав экосферы. Верхней границей геологической среды является рельеф земной поверхности; нижняя граница определяется глубиной проникновения человека в земную кору при различных видах деятельности. Напомним, что самая глубокая в мире скважина – Кольская сверхглубокая – пробуренная в СССР в 1970-80 годы, достигла глубины 12200 м. При наиболее распространенных видах хозяйственной деятельности (кроме добычи полезных ископаемых) влияние человека на грунты обычно распространяется до первых десятков метров.

Геологическая среда является литогенной основой экосистем (биогеоценозов), наряду с зонально-климатическими условиями определяет особенности экосистем, (в т.ч. почвообразование), она испытывает различные воздействия при создании и эксплуатации техногенных систем.

Компонентами геологической среды являются 1) горные породы (грунты), почвы и искусственные грунты; 2) рельеф земной поверхности; 3) подземные воды; 4) геологические и инженерно-геологические процессы и явления (Сергеев, 1979).

В данном учебном пособии рассматриваются только грунты природного сложения как часть геологической среды.

1. Разнообразие грунтов (литология, генезис, возраст, пространственная изменчивость)

Грунты, распространенные на территории Вологодской области, являются преимущественно рыхлыми (дисперсными) континентальными образованиями различного генезиса, сформировавшимися на протяжении четвертичного времени. Эти грунты образуют приповерхностную часть земной коры максимальной мощностью примерно до 200 метров. На некоторых участках мощность четвертичных пород очень невелика, а в береговых обрывах отдельных рек они отсутствуют и на дневную поверхность выходят дочетвертичные (коренные) породы.

Рыхлые грунты состоят из минеральных частиц разного размера, не связанных или слабо связанных друг с другом. В некоторых рыхлых грунтах (торфах и заторфованных) присутствует, а иногда и преобладает, органическое вещество. Кроме твердых частиц, в состав грунта входят влага и воздух, содержащиеся в порах грунта.

Классификация дисперсных грунтов по их литологии, используемая в инженерной геологии (и, большей частью, при геоэкологических исследованиях), приводится в межгосударственном стандарте (ГОСТ 25100-95).

В соответствии с ГОСТ выделяются следующие виды природных дисперсных грунтов:

- крупнообломочные – несвязные, состоящие более чем на 50% по массе из частиц крупнее 2 мм;
- песчаные – сыпучие в сухом состоянии, состоящие более чем на 50% по массе из частиц мельче 2 мм;
- глинистые – связные, твердые в сухом состоянии, по мере увлажнения переходящие в пластичное состояние, а при переувлажнении – в текучее;
- торфы – грунты, образовавшиеся при естественном отмирании и неполном разложении болотной растительности, содержащие по массе 50% и более органических веществ;
- заторфованные – пески и глинистые грунты, содержащие в своем составе (в сухой навеске) от 10 до 50% по массе органических веществ.

Состав, физические и физико-механические свойства грунтов характеризуются комплексом количественных показателей, определяемых в лабораториях или в полевых условиях. Наиболее важные из них:

- гранулометрический (зерновой) состав – количественное соотношение частиц различной крупности, слагающих грунт. Частицы, близкие по размеру, объединяются во фракции: крупнообломочную (крупнее 2 мм), песчаную (от 2 до 0,05 мм), пылеватую (от 0,05 до 0,005 мм) и глинистую (мельче 0,005 мм);
- плотность грунта (ρ , г/см³) – отношение массы грунта к объему, им занимаемому;
- плотность частиц грунта (ρ_s , г/см³) – отношение массы твердых частиц грунта к объему этих частиц;
- плотность скелета грунта (ρ_a , г/см³) – отношение массы твердых частиц грунта к объему всего грунта;
- влажность грунта (природная) – (W , доли единицы, проценты) – отношение массы воды, содержащейся в грунте, к массе сухой части грунта;
- пористость (n , доли единицы, проценты) – отношение объема пор к объему всего грунта;
- коэффициент пористости (e , доли единицы, проценты) – отношение объема пор к объему твердой части грунта;
- коэффициент водонасыщения (S_r , доли единицы) – отношение объема воды в порах к объему пор;
- степень водопроницаемости грунта – способность грунта пропускать через себя воду, отражается коэффициентом фильтрации (K_f , м/сут).

По общезначимым показателям с использованием специальных таблиц можно оценить деформационные и прочностные свойства дисперсных грунтов, в этом случае они используются на начальных стадиях строительного проектирования. Это показатель сжимаемости грунта – модуль общей деформации (E_0 , МПа) и показатели прочности грунта – сцепление (C , кПа) и угол внутреннего трения - (φ , градус). При разработке рабочих проектов отмеченные показатели должны быть определены или лабораторными, или полевыми методами.

Кроме того, при необходимости устанавливается химико-минералогический состав твердых, жидких и газовых компонентов грунта.

Определение вида дисперсного грунта при производстве полевых изысканий осуществляется визуально, что в дальнейшем подтверждается лабораторными определениями классификационных показателей. Для **крупнообломочных и песчаных грунтов** это соотношение между частицами разных размеров, степень однородности зернового состава, плотность сложения и степень водонасыщенности; для **глинистых грунтов** – число пластичности ($I_p = W_L - W_p$) и показатель текучести ($I_L = (W - W_p) / I_p$); для **торфов** – относительное содержание органического вещества (I_r), степень разложения (D_{dp}) и степень зольности (D_{ds}) торфа.

Состав и показатели физико-механических свойств грунтов определенной классификационной принадлежности самым тесным образом связаны (предопределены) с условиями, в которых происходило их образование – с их генезисом. Иногда эта взаимосвязь однозначная - болотные грунты всегда представлены торфом, морена – почти всегда представлена суглинками, содержащими крупнообломочные частицы вплоть до валунов. Часто эта взаимозависимость неоднозначная: аллювий может быть и глинистым, и песчаным, и крупнообломочным, и заторфованным. Но, тем не менее, показатели физико-механических свойств грунтов, их химико-минералогический состав, строение толщ (условия залегания, структура и текстура) тесно связаны с генезисом.

На территории Вологодской области выделяются основные генетические типы континентальных четвертичных отложений: **аллювиальные (речные) отложения – а**, **озерные (лимнические) – l**, **болотные – b**, **склоновые – d**, **ледниковые (морена) – g**, **озерно-ледниковые – lg**, **водно-ледниковые (флювиогляциальные) – f**, **перигляциальные (покровные) – p**, **золые – v**, также выделяются техногенные (насыпные и намывные) образования – **t**. В виде особого образования рассматривается почва – **pd**. Для каждого генетического типа отложений характерны свои литологический и химико-минералогический составы, структурно-текстурные особенности, условия залегания и, что очень важно, – связь с современным рельефом земной поверхности (геоморфологическая приуроченность).

В течение четвертичного периода палеогеографическая обстановка осадкообразования резко и неоднократно изменялась: межледниковые эпохи, с климатическими условиями, аналогичными послеледниковью (голоцену - *IV*), чередовались с ледниковыми эпохами, когда территория подвергалась или прямому, или косвенному воздействию покровных оледенений. В соответствии с Региональной стратиграфической схемой четвертичного периода (1986) на территории Северо-Запада России выделяются окский – *I ok*, днепровский – *II dn*, московский – *II ms*, нижневалдайский (калининский) – *III vd₁*, верхневалдайский (осташковский) – *III vd₃* ледниковые горизонты и разделяющие их лихвинский – *II lh*, одинцовский – *II od*, микулинский – *III mk* и молодого-шекснинский – *III ms (III vd₂)* межледниковые горизонты.

Ледниковые горизонты представлены мореной, озерно-ледниковыми и водно-ледниковыми образованиями, межледниковые – преимущественно аллювиальными, озерными, болотными, иногда – погребенными почвами. Разновозрастные отложения одного генетического типа отличаются друг от друга, обычно более древние грунты более плотные, более прочные, менее сжимаемые, чем более молодые.

Последующие оледенения при своем распространении в значительной мере местами уничтожали геологические образования предшествовавших эпох. Местами на территориях, где последующее оледенение продвигалось в зону распространения предыдущего оледенения, более древние отложения перекрываются (погибают) более молодыми. Там, где более молодые оледенения имели меньшую площадь распространения, чем более древние, более древние геологические образования являются приповерхностными. Границы распространения четвертичных покровных оледенений разного возраста неоднократно пересматривались и уточнялись и до сих пор в определенной мере являются предметом дискуссий.

При геоэкологических и инженерно-геологических исследованиях грунтов геологической среды устанавливаются: условия их залегания, состав, структурно-текстурные особенности, генетический тип и возраст.

2. Инженерно-геологические и геоэкологические особенности грунтов различных генетических типов, распространенных на территории Вологодской области

2.1. Ледниковые отложения (морена) (*от фр. moraine*), моренные отложения, тилл – самые распространенные грунты рассматриваемой территории. Отложения образованы непосредственно ледником при аккумуляции разрушенного им при динамическом воздействии на свое основание и перенесенного обломочного материала. Различают три главных типа морены: основную (донную), абляционную и конечную. В морене выделяется приповерхностная зона, сохраняющая все признаки основной морены, но заметно отличающаяся от нее большей изменчивостью показателей свойств, в целом меньшими значениями плотности и большей глинистостью, вследствие интенсивного воздействия гипергенных факторов (выветривания). Мощность этой зоны составляет в среднем 2 – 3 м.

Формирование отложений основной морены (наиболее распространенной) происходило главным образом под движущимся льдом, оказавшим на оседающий материал большое статическое и динамическое давление. Это проявилось в плотной упаковке частиц, слагающих морену. После стаивания ледникового покрова минеральное вещество, перенесенное ледником, образовало слои, являющиеся моренными горизонтами.

Для основной морены характерна многофракционность ее гранулометрического состава, разнообразие химико-минералогического состава, что определяется характером подстилающих ледник пород, рельефом ложа, структурой и динамикой ледника. Основные морены представлены плотными валунными суглинками, супесями, реже глинами с неясной псевдослоистостью, на отдельных участках в моренах встречаются линзы, гнезда и прослои песков, гравийно-галечникового материала. В моренных суглинках содержится от 5 до 40% гравия, гальки и валунов преимущественно местных осадочных пород, а также магматических и метаморфических пород Балтийского щита.

Окраска морен зависит от подстилающих ее дочетвертичных пород: в области развития пермских и триасовых отложений – преимущественно красная, на юрских осадках – серая, темно-серая. В зоне окисления, где содержатся окислы железа – красноватая, в восстановительной среде – темно-серая.

Мощность основной морены в большей степени зависит от рельефа поверхности подстилающих ее пород, увеличиваясь в депрессиях доледникового рельефа до многих десятков метров, уменьшаясь на выступах до нескольких метров, долей метра или даже выклинивается.

Абляционная морена образована за счет принесенного ледником обломочного материала внутри и на поверхности льда. Ее формирование заверши-

лось при полном растаивании уже остановившегося (мертвого) ледника. Абляционная морена оседает на основной морене, покров абляционной морены не является сплошным и мощность его редко превышает 2-3 м. От основной морены она отличается меньшей плотностью и большей сжимаемостью. В составе абляционной морены больше песчаной и пылеватой фракций. Основная и абляционная морены формируют ледниково-аккумулятивный рельеф (моренный). Разрезы ледниково-аккумулятивных форм обычно наряду с мореной содержат прослой, линзы водно-ледникового материала.

Конечная морена представляет собой сложно построенное накопление, состоящее как из собственно моренного материала, так и из нарушенных под напором ледника водно-ледниковых осадков и даже коренных пород ложа. Ее формирование происходило на участках длительного стояния ледникового фронта (края ледника). Конечные морены имеют более пестрый состав: на небольшом расстоянии валунные суглинки или глины заменяются валунно-галечниковыми или валунно-песчаными разностями. Содержание гравия, гальки и валунов (иногда размером до 2 м и более) местами увеличивается до 70%. Конечная морена выражена в рельефе дневной поверхности в виде конечно-моренных гряд, фиксирующих места длительного расположения фронта ледника.

Важнейшей чертой морен является отсутствие в них сортированности – однородности размеров обломочных частиц, но, несмотря на это, содержание отдельных фракций в составе морен довольно постоянно. В зонах преобладания ледниковой аккумуляции в основных моренах среднее содержание крупнообломочного материала не превышает 10%, а глинистых частиц – 15-20%. На долю песчаной и пылеватой фракций в основной морене приходится 70-75%. Изменчивость содержания глинистой, пылеватой и песчаной фракций невелика – 7-20%, крупнообломочной – много выше – 65%. Абляционные морены по сравнению с основными моренами обычно более песчанисты. Число пластичности основных морен в зависимости от содержания глинистых частиц колеблется от 1-3 у легких супесей, до 30 у глин, наиболее распространенные значения 7-18.

Среди минералов песчаной и пылеватой фракций морены преобладают кварц, полевые шпаты, слюды, выделяются роговая обманка и другие амфиболы, гранат, эпидот, ильменит, глауконит, окислы и гидроокислы железа. Глинистая фракция морены в подавляющем большинстве случаев представлена гидрослюдами, реже присутствуют каолинит и монтмориллонит. Отличительной и определяющей особенностью химического состава морены является высокое содержание окиси кремния (71-79%), окиси алюминия (8-11%), окислов щелочных металлов. Некоторые морены выделяются повышенной карбонатностью. Емкость поглощения у моренных суглинков и глин невелика – 5-12 мг-экв (редко до 20-25 мг-экв), что объясняется преимущественно гидрослюдистым

составом глинистой фракции. В поглощенном комплексе преобладают кальций и магний.

Морены характеризуются высокими значениями плотности, что обусловлено не только воздействием ледника при осадкообразовании, но и гранулометрическим составом отложений. При естественной влажности плотность моренных грунтов почти всегда превышает $2,0 \text{ г/см}^3$, достигая в отдельных случаях $2,3 \text{ г/см}^3$, и сравнительно мало зависит от ее литологического состава. Для различных участков Русской равнины средние значения плотности, полученные по тысячам определений, для морены последнего оледенения составляют: 2,08-2,28 для супесей, 2,08-2,29 для суглинков, 2,01-2,20 для глин. Колебания значений плотности у морен невелики - для территории Московской синеклизы коэффициенты вариации составляют: 2-5% для нижневалдайской (калининской) морены, 1-4% для московской и днепровской морен. Плотность скелета грунта изменяется от 1,8 до $2,1 \text{ г/см}^3$, коэффициент пористости 0,25-0,45, редко превышает 0,5, естественная влажность в среднем 10-20%, коэффициент водонасыщения 0,8-1,0, изредка снижается до 0,7.

Значения компрессионного модуля общей деформации моренных грунтов колеблются от 25 до 35 МПа (значения, полученные при штамповых испытаниях, как минимум, в два раза выше) и редко снижаются до 5-10 МПа. Показатели сопротивления сдвигу также высокие – наиболее распространенные значения угла внутреннего трения $20-35^\circ$, величина сцепления в большей степени зависит от гранулометрического состава и изменяется от десятых долей у супесчаных разностей до 1,7 кПа у суглинков. Наиболее часто встречаемые значения – 0,3-0,8 кПа.

Моренные суглинки и глины обладают значительной водопрочностью, но все же размокают и размываются, что является причиной деформаций откосов, дна выемок и котлованов.

Установлены некоторые закономерности изменения состава и физико-механических свойств основных морен по площади (пространственная изменчивость). Основная закономерность связана с удалением от зоны питания ледника: в общем направлении с северо-запада на юго-восток уменьшаются содержание и размеры крупнообломочного материала, возрастает содержание глинистых частиц. Несколько различаются гранулометрический, химико-минералогический составы морен, сформированных различными ледовыми потоками (лопастями).

Кроме этих общих закономерностей, наблюдаются изменения местного характера. Морена, отложенная одним ледниковым потоком, изменяется в пространстве в соответствии с особенностями доледникового рельефа, что наиболее заметно проявляется в периферийных зонах оледенений. От условий залегания морены в пределах тех или иных *палеогипсометрических уровней* зависят

не только величины средних значений показателей состава и свойств морены, но и степень ее однородности. Состав пород ложа влиял на состав морены там, где ледник был активным, а породы ложа сравнительно легко поддавались разрушению.

Более древняя морена более дисперсна, чем более молодая, что объясняется удаленностью от области питания – Балтийского щита. По мере удаления от области питания к границам распространения ледников в морене повышается содержание глинистой фракции, возрастает ее однородность. В низинах, служивших вместилищами окончаний ледников, встречается сравнительно легкая морена, неоднородная по содержанию глинистых частиц, по мере продвижения к ледоразделам морена становится более дисперсной, а содержание глинистых частиц в ней менее изменчивым. Поскольку морена низин формировалась преимущественно за счет ассимиляции местных отложений ранних оледенений, в ней повышено содержание песчаных фракций, ее состав легче, однородность больше, чем у морены, слагающей поднятия, частично сформированной из относительно хорошо сортированного, принесенного издалека материала. При сходном составе пород ложа состав морены зависит от отношения ледового потока к его ложу: менее дисперсные разности морены образуются там, где ледник существенно экзарировал ложе, более дисперсные – в местах его «безразличного» отношения к ложу.

Пространственная изменчивость показателей, характеризующих сложение морены (плотность скелета, пористость), подчиняется некоторым закономерностям. По мере продвижения к границе ледника уплотненность морены снижается независимо от изменения состава морены, что обусловлено снижением активности ледового потока вблизи границ ледника. В низинах, вмещавших окончания ледовых потоков, распространена морена высокой степени уплотненности, в пределах ледоразделов и краевых частей ледового потока залегает морена небольшой уплотненности. На склонах низин, обращенных навстречу леднику и препятствовавших его движению, морена характеризуется наиболее компактной упаковкой частиц и максимальными значениями плотности скелета грунта. У западных границ окончаний ледникового покрова морена менее дисперсна, чем у восточных окончаний.

2.2. Озерно-ледниковые (лимногляциальные) (от греч. *λίμνη* – озеро и лат. *glacialis* - ледяной) отложения сформировались в приледниковых и внутриледниковых озерах. Основные свойства озерно-ледниковых отложений и их пространственная изменчивость связаны, прежде всего, с гранулометрическим составом. В целом они характеризуются неоднородностью своего гранулометрического состава и свойств по разрезу, что обусловлено нестабильной фаци-

альной обстановкой осадконакопления в приледниковых бассейнах, определяемой глубиной, положением береговой линии, проточностью бассейна.

Образование отложений приледниковых озер происходило в обширных депрессиях перед фронтом ледникового покрова. В современном рельефе отметки их распространения обычно не превышают 160-165 м. Неравномерное таяние льда в теплый и в холодный периоды года предопределяло различный по интенсивности привнос наносов в приледниковый бассейн. Последующее осаждение наносов в маломинерализированной холодной воде приводило к формированию горизонтальной слоистости, иногда - характерной «ленточной». В большинстве случаев тонкие (2-3 мм) глинистые (зимние) прослои чередуются с более грубыми (4-6 мм) песчано-алевритовыми (зимними). В прибрежных зонах бывшего озерного водоема тонкие осадки (глины, суглинки) замещаются более грубыми песчаными, иногда с гравием.

Отложения крупных приледниковых озер слагают обширные низменности, некогда занятые водоемами у края ледникового покрова, особенно они характерны для периода деградации оледенения. Состав озерно-ледниковых отложений может изменяться от глин до супесей при преобладании суглинков. Число пластичности изменяется в пределах от 3 до 19 (чаще 9 – 11), глинистая фракция представлена преимущественно гидрослюдами с небольшой примесью каолинита и монтмориллонита.

Озерно-ледниковые отложения встречаются среди четвертичных отложений разного возраста, но наиболее широко распространены в отложениях завершающей стадии последнего оледенения. Для физико-механических свойств озерно-ледниковых отложений характерны высокие значения показателей влажности, пористости, сжимаемости, пониженные значения показателей сцепления. По характеру изменения предела текучести для верхнеплейстоценовых озерно-ледниковых отложений выделены разрезы двух типов, характеризующие трансгрессивные и регрессивные фации мелководных и глубоководных зон проточных бассейнов, фации бессточных озер.

Инженерно-геологические свойства этих отложений не всегда благоприятны. С горизонтальной слоистостью связана резко выраженная анизотропия свойств. Плотность грунтов изменяется от 1,3 до 2,0 г/см³ (чаще 1,8-1,9 г/см³), плотность скелета – от 1,0 до 1,6 г/см³ (чаще 1,4-1,5 г/см³). Коэффициент пористости изменяется от 0,47 до 1,20, в единичных случаях достигает 2 и более (чаще 0,6-0,9), естественная влажность глин 30-45% (иногда достигает 60-70%), супесей 22-28%, песков колеблется от 3-10% в зоне аэрации до 22-32% ниже уровня грунтовых вод. В большинстве случаев озерно-ледниковые отложения находятся в состоянии, близком к полному водонасыщению. Глины и тяжелые суглинки могут находиться в скрытотекучем состоянии и при нарушении естественной структуры переходят в текучее состояние, при динамическом воздей-

ствии им свойственны ярко выраженные тиксотропные явления. Пылеватые и мелкозернистые пески, супеси часто представляют собой типичные пливуны. Глины и суглинки водонеустойчивы, легко размокают, в откосах котлованов оплывают, склонны к морозному пучению.

Глины и суглинки обладают невысокими значениями сопротивления сдвигу: угол внутреннего трения не превышает 12-20°, часто снижаясь до нескольких градусов; сцепление 0,02-0,3 кПа (чаще 0,05-0,1 кПа). Среди озерно-ледниковых глин и суглинков встречаются разности, характеризующиеся сравнительно слабой сжимаемостью (модуль общей деформации превышает 7 МПа) и сильно сжимаемые (модуль общей деформации до 1,5 МПа). Супеси и пески менее сжимаемы, значения модуля общей деформации могут достигать 50 МПа.

Спецификой образования озерно-ледниковых отложений является то, что они формировались в замкнутых, не связанных или слабо связанных между собой бассейнах, различавшихся динамикой осадконакопления. Исследования латеральной изменчивости озерно-ледниковых отложений проводятся в границах территории, покрывавшейся водами одного озерно-ледникового бассейна. В условиях гидравлически подвижных бассейнов по мере их отмирания накапливались более дисперсные осадки, чем в раннюю фазу озера. Для отложений таких бассейнов характерно увеличение дисперсности состава от береговой линии к центру озера.

Отложения внутриледниковых водоемов (*камы, от нем. kamt – гребень*) образовались в проталинах ледникового покрова в его краевой зоне. После стаивания ледника они образовали холмистые участки, или платообразные возвышения, или куполовидные холмы. Камовые отложения пестры по составу (пески, часто с гравием и галькой, супеси, суглинки и даже глины), с поверхности они местами перекрыты маломощной мореной. Существенно различаются свойства камовых отложений: песчаные разности приближаются по своим свойствам к флювиогляциальным осадкам, а глинистые разности – к бассейновым озерно-ледниковым. В связи с хорошими условиями естественного дренажа их плотность обычно выше, показатели прочностных и деформационных свойств имеют более высокие значения.

2.3. Флювиогляциальные отложения (*от лат. fluvius – река; glacialis – ледяной*) представлены осадками водных потоков, существовавших внутри тела ледника – озы (*от швед. – asar - холм*) и перед фронтом ледника –зандровые отложения (*от дат. sandur – песок*). Озы четко выражены в рельефе земной поверхности, имеют вид вытянутых насыпных валов; высота озов обычно 15-20 м, но в отдельных случаях может достигать нескольких десятков метров, длина – до нескольких километров. Озовые отложения представлены в основном граве-

листыми и крупнозернистыми песками с линзами и прослоями грубообломочного материала, реже встречаются линзы глинистых грунтов. Многие озы разрабатываются как месторождения строительных материалов.

Накопление флювиогляциальных отложений происходило и у внешнего края ледника, где потоки талых вод растекались по приледниковой равнине, теряли транспортирующую способность и «сгружали» наносы в виде широких сливающихся друг с другом конусов выноса, образуя так называемые «зандровые поля». Мощность зандровых отложений небольшая – от 10 - 20 м у границы таяния ледника до 1 – 2 м у внешних границ зандровых полей. В депрессиях доледникового рельефа, заполненных флювиогляциальными отложениями, сформировались полесья – залесенные и заболоченные низменности, одна из них – Молого-Шекснинская низменность. В строении полесий принимают участие озерные и аллювиальные осадки, мощность песков в таких понижениях может достигать 30-50 м.

Потоки талых ледниковых вод устремлялись по некоторым речным долинам, расположенным у края ледника. В настоящее время верхние аккумулятивные террасы таких долин сложены флювиогляциальными отложениями (долинные зандры).

Флювиогляциальные отложения представлены песками, различающимися по крупности, однородности, характеру слоистости. У края бывшего ледникового покрова среди них преобладают крупно- и среднезернистые пески, у внешнего края зандровых полей преобладают мелкие и пылеватые пески, переходящие в супеси. Для зандровых песков характерна тонкая косая слоистость, местами переходящая почти в горизонтальную. Пески долинных зандров менее сортированы и имеют более грубый состав.

От песков других генетических типов флювиогляциальные пески отличаются несколько более высокой плотностью. Их плотность изменяется от 1,8 до 2,1 г/см³ (реже 1,6-2,3 г/см³); коэффициент пористости 0,5-0,8; влажность 3-8% в зоне аэрации и 20-30% в водонасыщенном состоянии. Коэффициент фильтрации, как правило, несколько выше, чем у песков других генетических типов и изменяется от первых единиц до десятков метров в сутки. Флювиогляциальным пескам свойственны сравнительно высокие углы внутреннего трения – от 23 до 45° (в среднем 27-35°); сцепление составляет сотые доли кПа, но в единичных случаях достигает 0,1 – 0,2 кПа (в т.ч. за счет слабой цементации). Модуль общей деформации составляет 30-70 МПа, иногда может быть и больше.

2.4. Покровные (перигляциальные) отложения (от греч. *περί* – вблизи и лат. *glacialis* – ледяной) почти сплошным чехлом перекрывают водораздельные пространства и их склоны на территории, на которую не распространялись

позднеплейстоценовые оледенения. Мнения об их происхождении противоречивы, но большинство исследователей сходятся на том, что они образовались из рыхлых отложений разнообразного генезиса при преобразовании, связанном с выветриванием в условиях сурового приледникового (перигляциального) климата. На рассматриваемой территории мощность их невелика – составляет первые метры.

Представлены покровные отложения безвалунными суглинками, реже – глинами или супесями. При детальном изучении разрезов в них выделяется два слоя – верхний, отличается более пылеватым составом и практически полным отсутствием гравелистых и даже крупнопесчаных частиц. Нижний слой более плотный и глинистый, часто со следами горизонтальной слоистости, содержащий гравийные, а иногда и галечные частицы, железисто-марганцевые конкреции, линзы и прослои оглеенного и гумусированного материала. На контакте покровных образований с подстилающей породой отмечается повышенная опесчаненность.

Содержание пылевой фракции в покровных отложениях не менее 55%, чаще – до 70-80%. В минералогическом составе пещаной и пылевой фракций преобладают кварц и полевые шпаты. Глинистая фракция представлена преимущественно минералами группы гидрослюдов (около 60%), в которых много лабильных компонентов (до 30%) со смешаннослойными образованиями «гидрослюда-монтмориллонит», содержание каолинита до 10%, карбонатность отложений невелика, обычно не более 0,5%.

Грунты характеризуются кислой реакцией: рН водной вытяжки составляет 5-6; ненасыщенностью основаниями ($\text{Ca}+\text{Mg}$ – 9-30 мг/экв); низкой емкостью поглощения (14-28 мг/экв), способны к оглеению.

Покровные суглинки обладают рядом неблагоприятных инженерно-геологических свойств: они быстро размокают, легко размываются водой, проявляют тиксотропность, быстро высыхают, имеют сильно выраженную морозную пучинистость, при оттаивании разжижаются.

В различных геоморфологических условиях характеристики состава строения разреза покровных суглинков различаются. Выделяются три разновозрастных генерации покровных суглинков, контролируемые гипсометрией и связаны с возрастом суглинков. На моренных равнинах московского возраста преобладающий интервал их распространения 160 – 200 м, как правило, они не встречаются в пределах конечно-моренных гряд. Для покровных суглинков приводораздельных пространств характерна наибольшая дисперсность, повышенная влажность, они наиболее однородны по показателям физико-механических свойств.

Покровные отложения на высоких (озерно-ледниковых) террасах в долинах некоторых рек Беломорского бассейна и на высоких террасах в долинах рек

бассейна Каспия (в гипсометрическом интервале 160 – 140 м) отличаются наиболее высоким содержанием пылеватой фракции. Вскрытые в основании этих отложений торфяники имеют микулинский возраст.

Поздневалдайские покровные отложения перекрывают аллювий второй надпойменной террасы рек волжского бассейна (в т.ч. в Молого-Шекснинской низменности) и озерно-ледниковую террасу с отметками поверхности более чем 135 м в Присухонской низменности. Для них характерны сланцеватость, неравномерное распределение песчаной фракции, железистые конкреции.

Эпигенетические изменения в большей степени выражены у более древних покровных суглинков, что привело к увеличению доли пылеватой фракции, «вымораживанию» карбонатов, формированию структурных отдельностей (вертикальной трещиноватости).

2.5. Аллювиальные отложения (от лат. *alluvio* – нанос, намыв) широко распространены на всей территории области, на аллювии построено большинство населенных пунктов, промышленных объектов, гидротехнические сооружения. Ведущая роль в формировании аллювиальных отложений принадлежит речным потокам, но большое значение в формировании аллювиальных толщ имели покровные оледенения, оказавшие существенное влияние на условия залегания, фациальную структуру и вещественный состав аллювия.

Аллювий распространен в пределах пойм и нижних надпойменных террас речных долин. Принадлежит к одному генетическому типу отложений, по структурно-текстурным особенностям, вещественному составу, по показателям физико-механических свойств аллювий подразделяется на русловой, пойменный и старичный.

В основании русловых осадков, слагающих нижнюю часть разреза, находятся отложения наиболее грубой – базальной фации, формирующиеся в стрежневой зоне водного потока в процессе размыва своего ложа. Для этих отложений характерна крупнолинзовидная косая слоистость, представлены гравелистыми и крупными песками, часто с галькой и валунами (на месте размыва морены). Пески неоднородны, коэффициент неоднородности достигает 10-15. Мощность базального аллювия в первую очередь зависит от размеров реки и ее долины.

Выше залегает пристрежневая фация аллювия, для нее типично переслаивание песков различной крупности с примесью гравия, иногда и гальки. Слоистость песков косая или диагональная, встречаются пачки с горизонтальной слоистостью, включения древесных остатков. Коэффициент неоднородности песков пристрежневой фации от 2,5 до 3,5.

Верхняя часть руслового аллювия – пляжевая фация, осадки которой отличаются меньшей крупностью и большей однородностью, представлены мел-

кими, реже – пылеватыми песками с косоволнистой и горизонтальной слоистостью. В песках пляжевой и пристрежневой фаций встречаются супесчаные и суглинистые прослои мощностью 5-20 см. Эти фации составляют около 90% руслового аллювия и 60-80% всей аллювиальной толщи. Во многих случаях они не разделяются и выделяются как русловой аллювий.

Пойменный аллювий формируется из взвешенных наносов, оседающих на пойме на спаде половодья. Он слагает верхнюю часть всей толщи аллювия и состоит из фаций приречной и внутренней частей поймы. Для приречной фации пойменного аллювия характерны песчаные и пылевато-глинистые отложения с горизонтальной слоистостью, в рельефе поймы она выражена прирусловыми валами. Фация внутренней поймы представлена более дисперсными осадками – неяснослоистыми суглинками и глинами.

Старичные отложения образуются при заиливании и зарастании участков русла, отделившихся от реки в результате ее боковых смещений (старицах), по сути, являющихся небольшими озерами. В основании старичного аллювия обычно залегают осадки ранней озерной стадии – оглеенные суглинки, они перекрываются осадками зрелой озерной стадии – чередующимися тонкими слоями иловатого суглинка, глины, супеси, пылеватого песка с растительными остатками, иногда заторфованными. Глины и суглинки обычно составляют 70-90% разреза старичного аллювия.

Соотношение фаций в разрезах аллювиальных свит, их строение, вещественный состав, мощности меняются в зависимости от многих факторов. Наиболее важными являются геолого-геоморфологические условия, размеры речной долины, русловой режим реки.

Показатели физико-механических свойств аллювия зависят от литологического состава, который, помимо фациальной принадлежности отложений, определяется ландшафтно-климатическими условиями времени формирования аллювия и его возрастом. Наибольшей изменчивостью показателей свойств характеризуется аллювий современных пойм, что связано с молодостью пойменных отложений и высоким содержанием в них легкоподвижных органических соединений, повышающих геохимическую активность глинистой фракции.

При врезании русел рек происходит образование надпойменных террасовых уровней, накапливается аллювий нормальной мощности (нормальная мощность аллювия примерно соответствует сумме средней глубины русла и высоты подъема уровней в половодье). В случае направленной аккумуляции наносов (заполнении долины наносами) образуются сложно построенные аллювиальные толщи на переуглубленных (погребенных) участках речных долин.

Для глинистых пойменных грунтов характерно четкое изменение свойств по фациальным разновидностям, зависимость от степени естественной дренированности поймы, грунты пластичные, реже – скрытотекучие. Коагуляцион-

ные связи в грунтах находятся в стадии формирования. Пористость грунтов всегда превышает 50%, плотность скелета грунта у суглинков около $1,3 \text{ г/см}^3$, у глин – $1,1 \text{ г/см}^3$. Показатели физико-механических свойств песчаного аллювия еще более изменчивы.

Аллювий террас, прошедший начальные стадии литогенеза, имеет более стабильные показатели физико-механических свойств. Для террасового аллювия в долинах рек бассейна Белого моря и Онежского озера характерно осадкообразование в условиях подпруживания их морскими трансгрессиями и льдами материковых оледенений. Верхние террасы сравнительно крупных долин рек Беломорского бассейна сложены аллювиально-озерными и озерно-ледниковыми отложениями, местами их поверхность заболочена.

Нижние – позднеплейстоценовые и голоценовые террасы – аллювиальные. В составе террасового аллювия преобладает русловая фация, представленная преимущественно песками. Углы внутреннего трения мелко- и среднезернистых песков достигают соответственно 33 и 36° . Глинистые породы туго- и мягкопластичные. Для суглинков (при испытаниях в условиях консолидированного сдвига) характерны следующие показатели: угол внутреннего трения $17\text{--}19^\circ$, сцепление $0,28\text{--}0,31 \text{ кПа}$, модуль общей деформации изменяется от $4,5$ до 10 МПа .

В долинах рек, относящихся к бассейну Волги, аллювий слагает две надпойменные террасы (нижние). Формирование двух высоких террас в долинах этих рек связывают с талыми ледниковыми водами, на некоторых участках террасы являются долинными зандрами и сложены флювиогляциальными отложениями.

В составе отложений нижних террас преобладает русловой аллювий, в основании разреза залегают крупно- и среднезернистые пески с гравием и галькой, среди песков нередко прослой супесей и суглинков. В Молого-Шекснинской низменности в террасовом комплексе широко развит пойменный аллювий, сложенный пластичными супесями и суглинками туго- и мягкопластичной консистенции. Показатели сопротивления сдвигу супесей и суглинков составляют: угол внутреннего трения $21\text{--}22^\circ$; сцепление $0,13\text{--}0,2 \text{ кПа}$; модуль общей деформации у супесей варьирует от $11,5$ до 21 МПа (среднее 16 МПа); у суглинков от 9 до 17 МПа (среднее $13,5 \text{ МПа}$).

2.6. Болотные отложения. Наиболее характерным типом болотных отложений является торф – порода, образовавшаяся при накоплении и разложении органических остатков, главным образом, растительных, содержащая примеси пылевато-глинистого и песчаного материала.

В соответствии с типами болот выделяются низинный, переходный и верховой виды торфа. По составу растительных остатков выделяются лесные (дре-

весные), лесо-топяные (древесно-травяные и древесно-моховые), топяные (травяные, травяно-моховые и моховые) торфы.

По степени разложения растительности выделяются четыре группы торфа: I – степень разложения до 15%; II – разложение 16-30%; III – 31-50%; IV – более 50 %. По зольности – содержание в торфе минеральных частиц – выделяются нормальнозольные и высокозольные торфы. Зольность изменяется от 1 до 50%, уменьшаясь от древесных низинных торфов (10-16%) к моховым верховым (2-3%).

Сухое вещество торфа состоит из органических и минеральных компонентов, состав которых определяется химизмом водно-минерального питания торфяника и характером растений-торфообразователей. Важнейшей особенностью торфа, особенно слаборазложившегося, является большое содержание в нем волокнистой массы. Среднее содержание тонкодисперсных фракций в торфах колеблется от 8 до 20%, в их составе находятся продукты разложения органики, потерявшие клеточное строение. Эти фракции обладают низкой влагоемкостью, но благодаря высокой удельной поверхности определяют адсорбционные и ионообменные свойства торфа.

Органическая часть торфа имеет приблизительно следующий химический состав: С – 50-64%; О – 32-37%; Н – 4,7-6,5%; N – 0,4-4%; S – 0,2-0,8%. В гумусе преобладают гуминовые кислоты, содержание гуминовых кислот с увеличением степени разложения торфа возрастает от 30 до 43% в низинном торфе и от 10 до 34% в верховом. Кислотность торфа находится в связи с условиями водно-минерального питания болота, у низинного торфа рН в среднем 4,0-5,5; у верхового – 3-4

Основные физико-механические свойства торфа зависят преимущественно от степени разложения и зольности (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства торфяных грунтов

Категория торфа	Полная влагоемкость, %	Зольность, %	Плотность, г/см ³	Плотность скелета, г/см ³	Коэфф. пористости	Сцепл. кПа	Модуль деформации МПа
Низкая степень разложен.	1400-2500	1,5-3,0	1,6-1,7	0,04-0,07	22-40	0,09-0,12	0,15-0,55
Сред. и высокая	900-1400	3-8	1,50-1,55	0,07-0,10	13-22	0,12-0,15	0,25-0,90
Высокозольный	500-900	8-50	1,45-1,50	0,11-0,14	7,5-13	0,15-0,18	0,50-1,30
Заторфованный грунт	200-500	50-90	1,50-2,00	0,20-0,40	3-9	0,18-0,30	1,30-1,50

В естественном залегании у земной поверхности торфы обладают чрезвычайно высокой влажностью, достигающей 5-10 и даже 20 единиц. С увеличением степени разложения, плотности и зольности влажность торфа уменьшается. В условиях естественного залегания торф обычно находится в состоянии полного водонасыщения. При искусственной или при естественной подсушке торф дает усадку, при повторном увлажнении набухает, но никогда не достигает первоначального объема.

Водопроницаемость торфа изменчива, зависит от уплотненности, степени разложения, зольности и геоботанического состава. Коэффициент фильтрации различных видов торфа варьирует от 0,01 до 2 м/сут. Торфяная залежь лучше пропускает воду в горизонтальном направлении.

Торфы очень сильно, неравномерно и длительно сжимаемые грунты, величина сжимаемости зависит от генезиса торфа, степени его разложения, плотности и влажности. Прочностные показатели торфа определяются главным образом его влажностью, а также видом торфа и степенью разложения.

В зависимости от степени разложения, зольности, уплотненности торфы могут иметь устойчивую и неустойчивую консистенции. Торфы устойчивой консистенции можно выторфовывать (вырезать), они не расплываются из стенок канав, не выдавливаются от приложенной нагрузки. Торфы неустойчивой консистенции не выторфовываются, расплываются, легко выжимаются из-под нагрузки.

2.7. Озерные отложения. Вещественный состав озерных отложений очень разнообразен – от органогенных образований до песчано-глинистых осадков. Прибрежная растительность и залесенность водосборов предохраняют озера от заиления механическими наносами, поэтому в составе озерных отложений большое участие принимает органический материал – отмершие остатки растительного и животного происхождения. В больших озерах обычно намечается четкая фациальная изменчивость осадков. Береговая отмель нередко сложена песками с примесью крупнообломочного материала, глубже – песчанистые сапропели (сапропель – органико-минеральный озерный ил), в удаленной от берега части – «чистый» сапропель.

2.8. Эоловые отложения. Суровые климатические условия, слабый тундрово-степной растительный покров перигляциалов благоприятствовали эоловым процессам. На зандровых, аллювиально-зандровых равнинах, на бортовых террасах рек наблюдаются многочисленные формы эолового рельефа (параболические дюны, продольные и поперечные гряды) обычно поздневалдайского возраста. Преобладающая ориентировка эоловых форм свидетельствует об их перемещении господствующими ветрами западных румбов. В долинах

крупных рек встречаются современные дюны и соответствующие им эоловые пески.

Гранулометрический состав эоловых песков однороден, глинистые и гравийные частицы, как правило, отсутствуют, так как первые легко уносятся ветром, а вторые перемещаются с трудом. Относительно грубодисперсный состав имеют эоловые пески, являющиеся продуктом переработки аллювия. По минералогическому составу пески кварцевые, реже – полевошпатовые, поверхность зерен полированная и матовая.

3. Распространение грунтов геологической среды Вологодской области

Распространение грунтов определенного вида (согласно производственной классификации) связано с происхождением (генетическим типом) грунтов и рельефом земной поверхности. Если учесть, что генетический тип грунтов и рельеф взаимообусловлены, то рельеф, как наиболее осязаемый и устойчивый элемент ландшафта, является четким индикатором грунтовых условий.

Региональная характеристика приповерхностных грунтов

3.1. Морена является верхним (рельефо- почвообразующим) грунтом на большей части поверхности Вологодской области. Участки ее распространения приурочены к наиболее приподнятым формам современного рельефа, в большинстве случаев с отметками, превышающими 160-170 м, но морена может встречаться у поверхности земли в любом гипсометрическом интервале.

3.2. Днепровская морена (*g II dn*) залегает у дневной поверхности только на крайнем юго-востоке области, ее выходы на поверхность установлены, в частности, на водоразделе рек Анданги и Большого Лоха (левые притоки в верховьях р. Юг). Морена представлена красновато-бурыми, темно-серыми суглинками или черными глинами (пос. Кузюг), очень плотными с небольшим количеством валунов. Среди крупнообломочных включений преобладают местные породы. Она плащеобразно перекрывает водоразделы и спускается в долины (доднепровские) где погребена более молодыми образованиями. Мощность морены обычно 10-15 м, в погребенных долинах до 50 м и более, залегает на дочетвертичных породах.

3.3. Московская морена (*g II ms*). Граница максимального распространения московского оледенения (за исключением крайнего юго-востока) находится за пределами Вологодской области. С северо-запада выходы московской морены на дневную поверхность ограничены зоной распространения верхнеплейстоценовых ледниковых образований. Граница максимального продвижения валдайских ледников разными авторами проводится по-разному. Для восточной части Вологодской области (низовья Сухоны) наиболее аргументированной

представляется точка зрения А.С.Лаврова и Л.М.Потапенко (2005). Для центральной и западной частей области наиболее убедительны доводы, изложенные в материалах симпозиума «Проблемы стратиграфии четвертичных отложений и краевые ледниковые образования Вологодского региона» (М.,2000).

В физико-механическом отношении наиболее изучены основная и абляционная морены, поскольку участки распространения конечной морены менее охвачены производственной деятельностью.

Таблица 2

**Основные осредненные показатели физических свойств
моренных суглинков**

Пункт опробования, морена	Граница раска- тывания, %	Число пласти- чности, %	Плот- ность, г/см ³	Плотность скелета, г/см ³	Коэфф. порис- тости	Естеств. влаж- ность, %
Тотьма, <i>gIIms</i>	14,4	11,2	2,16	1,87	0,44	11,5
Вологда, <i>gIIms</i>	14,4	10,2	2,16	1,86	0,45	16,1
Харовск, <i>gIIIvd₁</i>	14,5	10,5	2,12	1,80	0,51	16,4
Череповец, <i>gIIIvd₁</i>	13,0	9,4	2,21	1,95	0,38	13,0
Вытегра, <i>gIIIvd₃</i>	13,6	9,7	2,19	1,90	0,42	16,8
Белозерск, <i>gIIIvd₃</i>	14,7	11,5	2,13	1,84	0,47	15,5
Центр области <i>gIIIvd₁</i>	13,0	4,7	2,27		0,34	11,0
Центр области <i>gIIms</i>	13,8	8,6	2,22		0,41	14,4

Таблица 3

**Основные осредненные показатели физических свойств
глинистых грунтов озерно-ледниковых отложений**

Пункт опробования, состав	Граница раскаты- вания, %	Число пласти- чности, %	Плот- ность, г/см ³	Плотность скелета, г/см ³	Коэфф. порис- тости, %	Естеств. влаж- ность, %
Красавино, глина	31,2	22,5	1,87	1,38	0,97	37,1
Вытегра, суглинок	18,4	14,2	2,05	1,63	0,67	27,1
Вологда, суглинок	19,6	10,8	2,00	1,60	0,70	26,1
Вологда, супесь	19,5	5,0	2,00	1,52	0,78	23,0

**Основные осредненные показатели физических свойств
покровных отложений (суглинки)**

Пункт опробования, состав	Граница раскаты- вания, %	Число пласти- чности, %	Плот- ность, г/см ³	Плотность скелета, г/см ³	Коэфф. пористо- сти, %	Естеств. влаж- ность, %
Сыктывкар	19,4	10,1	1,95	1,62	0,70	17,2
Загорск	18,7	14,6	1,96	1,59	0,71	23,5
Дороги	16,6	10,0	1,98	1,58	0,72	25,7

Библиография

1. Голубев, Г.Н. Геоэкология / Г.Н. Голубев. – М.: ГЕОС, 1999. – 337 с.
2. Сергеев, Е.М. Инженерная геология – наука о геологической среде / Е.М. Сергеев // Инж. геология. – 1979. – № 1. – С. 1-9.
3. Лавров, А.С. Неоплейстоцен Северо-Востока Русской равнины / А.С Лавров, Л.М. Потапенко. – М.: Аэрогеология, 2005. – 222 с.
4. Проблемы стратиграфии четвертичных отложений и краевые ледниковые образования Вологодского региона (Северо-Запад России). – М.: ГЕОС, 2000. – 100 с.

Подписано в печать 15.05.2014.	Усл. печ. л. 1,44	Тираж	экз.
Печать офсетная.	Бумага писчая.	Заказ №	_____.

Отпечатано: РИО ВоГУ, г. Вологда, ул. Ленина, 15