Задание на 15.10.2020 г.

Важно: адрес моей электронной почты weral0606@yandex.ru. Со всеми вопросами обращаться в любое время

Работы на проверку представляем в рукописном сканированном варианте или в Word, затем после получения разрешения, размещаем в личном кабинете, предварительно переводим графику и текст в PDF.

Тема: ВЫВЕТРИВАНИЕ

Цель: ознакомиться с процессом, задачами изучения, методикой исследований, прогнозом процесса и борьбе с негативными явлениями, возникающими при выветривании

4.1. Понятие процесса и задачи изучения

Выветривание – комплекс физических, физико-химических и биохимических процессов, изменяющих состав, состояние и свойства исходных (материнских) горных пород в верхней части земной коры под влиянием следующих факторов (агентов): колебаний температуры, подземных вод, содержащих кислород, углекислый и другие газы, почвенных кислот, деятельности организмов и техногенеза. Синонимом понятия выветривания является **гипергенез** [23], а комплекс эпигенетических процессов, приводящих к изменениям пород и минералов в коре выветривания, называется **гипергенными** процессами.

Процессы выветривания, разрушая горные породы, формируют новый генетический тип континентальных отложений – элювий (от лат. eluvio – вымывать). Это не испытавший механического смещения продукт выветривания разного возраста, фаций и условий залегания (***ортоэлювий*** – формируется на магматических и метаморфических породах, ***параэлювий*** – на осадочных морских и ***неоэлювий*** на континентальных породах). Состав и мощность элювия определяется как составом исходных пород, и природно-климатическими

условиями, так и временем его накопления. Очень часто граница между элювием и материнской породой нечеткая, с карманами сапролитов. Корой выветривания является не только элювий, но и переотложенный выветрелый материал, в связи с чем выделяются остаточные и аккумулятивные коры [43]. Следует различать современные и древние коры выветривания. Формирование первых связано с современными климатическими условиями, вторых – с палеоклиматическими. Древние коры могут залегать как с поверхности, так и на значительных глубинах.

Основными задачами при изучения выветривания в инженерно-геологических целях являются следующие:

1) установление строения и закономерностей распространения зон и горизонтов выветривания в разных породах и в тектонических разрывах, на различных геоморфологических элементах и в микроклиматических условиях;

2) обоснование возраста элювия и характеристика скоростей процессов выветривания в сопоставлении с интенсивностью процессов сноса в разных породах и условиях, а также оценка изменения свойств и состояния пород во времени под их влиянием;

3) установление внешних признаков и классификационных показателей состояния и свойств пород с разной степенью выветрелости и выявление корреляционных связей с геофизическими характеристиками, в первую очередь со скоростью упругих волн, v_p;

4) разработка региональной схемы расчленения коры выветривания на зоны и горизонты с характеристикой (классификацией) физико-механических и фильтрационных свойств пород;

5) выявление приуроченности оползней, обвалов, осыпей, курумов разных типов и объемов к зонам выветривания различного возраста, строения и мощности;

6) оценка пород разной выветрелости в отношении сопротивления их эрозионному и абразионному размыву, развитию процессов выщелачивания и карста, осыпанию, оплыванию и устойчивости в обнаженных откосах и склонах;

7) оценка деформационных свойств различно выветрелых пород для определения глубины их съема в основании сооружений или для

выбора мер по укреплению методами анкерования, технической мелиорации и др.;

8) установление возможности использования различно выветрелых пород в качестве строительных материалов для возведения земляных сооружений (дамб, плотин, насыпей и др.), для создания противофильтрационных экранов и определения эффективных способов их разработки в котлованах и карьерах.

4.2. Закономерности распространения и агенты выветривания

По характеру процессов, происходящих в породах, и действующим агентам различают следующие основные виды выветривания: физическое, химическое и биологическое. Последний вид выветривания – **биологическое** распространено повсеместно, хотя в самостоятельный выделяется редко, и рассматривается совместно либо с физическим, либо с химическим. Наиболее интенсивно оно проявляется в мягком климате. Поэтому обычно выделяют два типа кор выветривания – физические и химические, значительно различающихся по своему составу, строению, физико-механическим свойствам.

Интенсивность действия агентов выветривания определяется широтной зональностью и высотной поясностью. Можно выделить четыре укрупненных подразделении климата [33], в которых происходит выветривание горных пород:

тропический, аридный, умеренный и арктический. Л.А. Ярг [44] предложил такое понятие, как термовлажностный климатический тип (TWK), определяемый по отношению количества атмосферных осадков к величине испарения. Для аридного климатического пояса эта величина составляет < 1, для суб-

арктического – 1.1-1.4, для умеренного 2.2-3.3, для субтропического до 4.2-4.3.

Процесс выветривания, в зависимости от климатических условий, имеет следующие стадии развития коры выветривания:

1) стадия обломочной коры выветривания. В результате главным образом физических процессов в районах с умеренным и арктическим климатом формируются обломочные породы. Обломочный элювий широко развит в молодых горных странах и областях с сезонным и многолетним промерзанием и оттаиванием горных пород. В условиях Арктики, жарких пустынь он может существовать неопределенно долго [43];

2) стадия обызвесткованной или насыщенной сиальной коры выветривания характеризуется удалением в процессе гидролиза серы и хлора и сопровождается гидратацией минералов и окислением сернистых соединений. Возможно накопление в коре выветривания кальция в виде $CaCO_3$ с последующим образованием вторичных минералов – гидрослюды и монтмориллонита. Коры такого типа встречаются в условиях сухого континентального (аридного) климата;

3) стадия остаточной кислой, или ненасыщенной коры выветривания наблюдается в районах, где в результате большого количества осадков и высоких температур происходит интенсивное выщелачивание горных пород и накопление минералов группы каолинита. Эта и последующая стадии наблюдаются в субтропических и тропических областях;

4) стадия аллитной коры выветривания является конечной в процессе выветривания. Удаляется SiO_2, накапливаются Al_2O_3 и гидроокислы железа – формируются латериты.

Величина температуры и количество атмосферных осадков, зависящие от широтной зональности и высотной поясности, определяют возможность или невозможность формирования коры выветривания полного профиля.

Температура на поверхности Земли подвержена суточным, сезонным, годовым и вековым колебаниям. Амплитуда суточных и сезонных колебаний сравнительно невелика. Вековые же колебания температуры связаны с длительными изменениями климатических условий. Такие колебания происходят при материковых оледенениях, трансгрессии моря и т.д. Они приводят к коренным изменениям свойств и состояния пород при их промерзании или оттаивании. Колебания температуры сказываются прежде всего на скорости химических процессов. При повышении температуры на 10 ° С она удваивается или утраивается.

Температура влияет на растворимость газов: чем меньше температура, тем больше растворимость газов в воде. Так, например, растворимость CO_2 при 20 и 45 °С уменьшается соответственно в 2 и 4 раза по сравнению с О °С.

Колебания температуры вызывают изменения объема минералов, вызывая дезинтеграцию пород и их разрушение, особенно при переходе температуры через 0^oC и образовании льда. С глубиной амплитуда колебаний температур уменьшается, и ниже глубины вековых колебаний имеет нулевое значение.

Подземные воды как универсальный растворитель является одним из активнейших агентов выветривания. Кроме того, их присутствие усиливает, а иногда и полностью обусловливает действие других агентов выветривания - кислорода и углекислоты. Передвигаясь в породах, вода вызывает разнообразные механические, физические и химические явления и реакции, приводящие к разрушению и изменению горных пород.

Действие воды на породы выражается главным образом в гидратации, гидролизе, растворении и механическом разрушении.

4.3. Механизмы выветривания

Физическое выветривание выражается в непосредственном раздроблении и разрушении породы, которое влечет за собой уменьшение ее прочности, устойчивости в откосах и увеличение водопроницаемости. Образующийся обломочный материал при физическом выветривании сохраняет минеральный состав коренных пород.

Основными факторами (агентами), обусловливающими физическое выветривание, являются сезонные колебания температуры и связанное с этим оттаивание и замерзание пород и воды в них; увлажнение и высыхание пород; механическое воздействие ветра; размывающая деятельность поверхностных вод; хозяйственная деятельность человека; накопление солей и других минералов, деятельность животных и растений. При прочих равных условиях интенсивность выветривания определяется генезисом горных пород, тектоническими условиями, трещиноватостью и структурно-текстурными особенностями.

Особенно интенсивно физическое выветривание протекает в случае цикличного замораживания-оттаивания водонасыщенных пород, которое особенно интенсивно протекает в районах с резко континентальным климатом (Забайкалье, Саяны и др.), где число циклов в год на поверхности (рис. 4.1) достигает 70-120.

Это связано с тем, что объем воды при замерзании увеличивается на 9 %. В условиях закрытой системы при замерзании давление воды может достигать (по расчетным данным) 2000 МПа и является главным фактором разрушения водонасыщенных пород в результате резкого повышения давления воды в геологических системах при их промерзании.

Результаты исследований автора, выполненные в Читинской лаборатории Института мерзлотоведения СО РАН, показали, что скорость разруше-

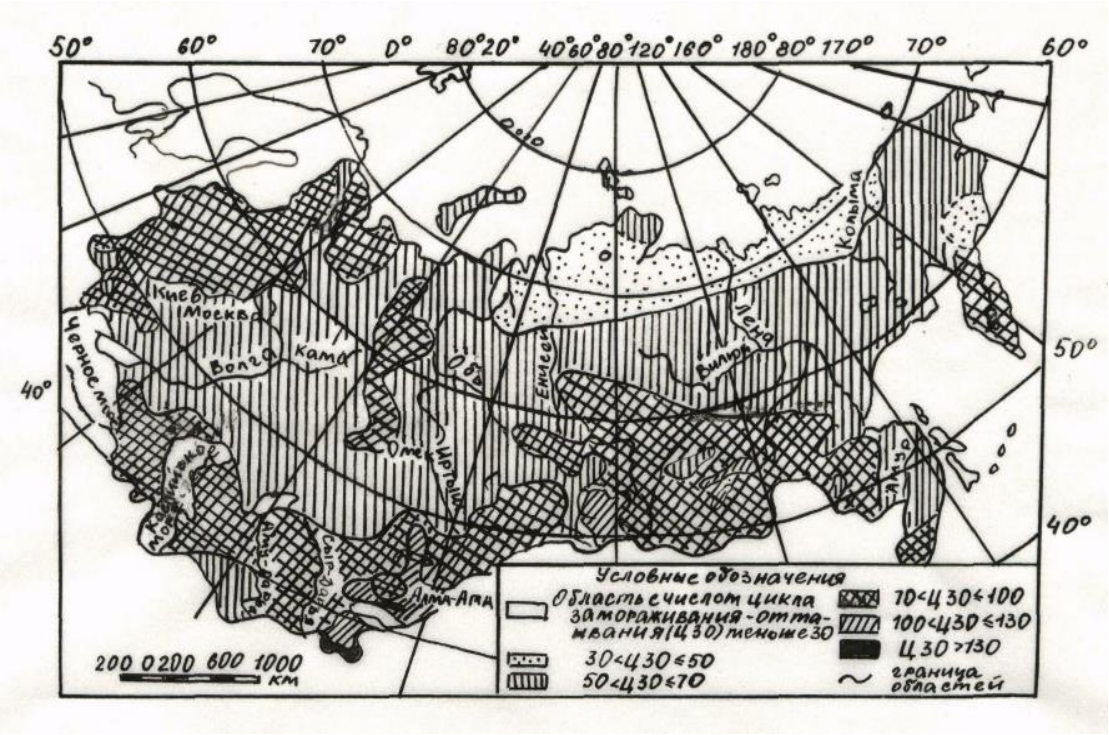


Рис. 4.1. Схема районирования территории бывшего СССР по числу ЦЗО (N) за один год на поверхности почвы
по О. К. Воронкову, Л. Ф. Ушаковой и др. [28]

шения образцов в результате цикличного замораживания – оттаивания в ходе криогенеза убывает в ряду (АР) аэральные условия (образец предварительно водонасыщен, но замораживается в аэральных условиях) → (АК) аквальные условия (образец перед замораживанием полностью погружен в воду) → (ТУ) метод теплового удара (нивальные условия – охлажденые до -20÷-30 ^{o}C породы заливаются водой с температурой +1÷2 ^{o}C и замораживаются) в соотношении примерно как 1(АР):10(АК):20(ТУ). Для кварцитовидных метатморфизованных песчаников Намингинской свиты скорость криогенного выветривания составила в мм/г.: 0.074 (АР) → 0.714 (АК) → 1.482 (ТУ) [42].

С глубиной число циклов замораживания-оттаивания N с глубиной убывает, что видно из графика представленного на рис. 4.2.

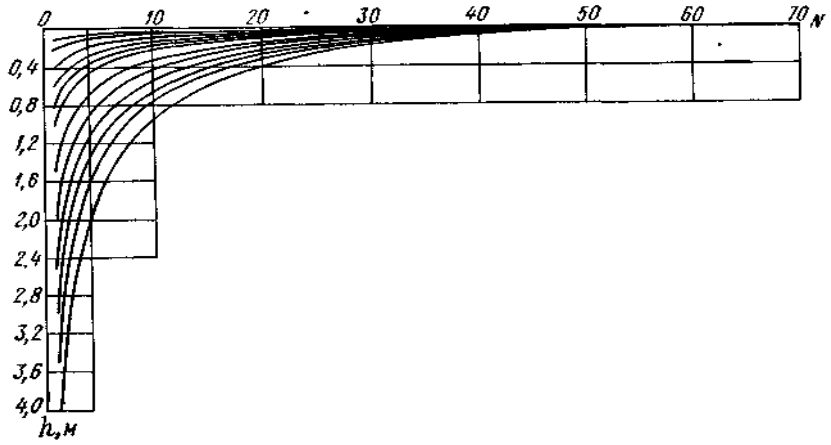


Рис. 4.2. Изменение числа ЦЗО с глубиной для районов со среднегодовым числом $N_{ср.год}$ = 70 [28]

Химическое выветривание протекает за счет процессов гидратации, гидролиза, окисления, карбонатизации и др., взаимодействия и выпадения в осадок продуктов разложения минералов в виде окислов, гидроокислов и простых солей, устойчивых в коре выветривания, и, наконец, в растворении и выносе простых солей кальция, магния, натрия и калия. Эти процессы в большинстве случаев вызывают ослабление прочности пород, разрушают их, и лишь процессы отложения солей железа, кремневой кислоты и других приводят к увеличению прочности вследствие цементации. Процесс химического выветривания имеет большую зависимость от скорости денудации. Если темпы смыва опережают, то процесс полностью не развивается и химическое выветривание останавливается на щелочной стадии не переходя в кислую. Напомним, как происходят некоторые процессы при химическом выветривании

Гидратация – поглощение породой воды. Может происходить как без изменения минералогического состава, так и с образованием новых минералов. Характерной реакцией первого типа является поглощение воды породой коллоидными и глинистыми частицами (монтмориллонит). Примером реакции второго типа является образование гипса из ангидрита

$$CaSO_4 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \bullet 2H_2O.$$

Гидролиз – реакция расщепления солей с выделением кислоты под влиянием воды. Например, окисление сульфидов с образованием лимонита и выделением свободной серной кислоты

$$4FeS_2 + 11\,H_2O + 15O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 \bullet 3H_2O + 8H_2SO_4.$$

Гидролиз разрушает атомную структуру кристаллических минералов, особенно силикатов, благодаря действию воды и растворенных в ней ионов $HCO_3^-, SO_4^-, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+$. Эти ионы могут замещать атомы в кристаллах или реагировать с ними, нарушая первичную структуру, например:

$$K_2Al_2Si_6O_{16} + 3H_2O + CO_2 \rightarrow H_4Al_2Si_2O_9 + 4SiO_2 \bullet nH_2O + K_2CO_3.$$

ортоклаз каолинит кремнезем

Растворение связано с гидролизом и заключается в переходе твердого вещества породы в водный раствор, если она содержит воднорастворимые соли и вода не насыщена соответствующей солью.

Карбонатизация – накопление карбонатных солей ниже дневной поверхности в засушливых районах также оказывает разрушающее действие, подобное действию ледяных клиньев.

Сочетание высокой температуры и влажности, например во Вьетнаме, где количество осадков на высотах более 1500 м составляет 4880 мм, а среднегодовая температура превышает 20 ^oC, обуславливает возрастание гидролиза силикатов в 4 раза, выщелачивание горных пород и разложение растительного опада в 5 раз, по сравнению с умеренными широтами. Двигающаяся на поверхности вода оказывает механическое воздействие на породы – размывает их, раздробляет, измельчает, окатывает обломки и обеспечивает постоянный снос выветрелого материала, облегчая доступ агентов выветривания к горным породам.

Биологическое выветривание – это разрушение пород в процессе жизнедеятельности: 1) высших зеленых растений, синтезирующих органическое вещество; 2) беспозвоночных и позвоночных животных, питающихся готовым органическим веществом; растений; 3) микроорганизмов (бактерий), способных

питаться органическим веществом, или образовывать его из неорганического. Имеются сведения, что содержание микроорганизмов достигает 10^8 клеток в 1 г воздушно-сухого грунта, и прослеживаются они до глубины как минимум 800 м [37]. В подземных водах бактерии обнаружены на глубинах до нескольких тысяч метров и их количество изменяется от десятков тысяч до 1 млн клеток в 1 мл. Наиболее часто встречаются аэробные, анаэробные, авто- и гетеротрофные, сульфаторедуцирующие, тионовые и метанообразующие бактерии.

4.4. Трещиноватость массива горных пород как фактор выветривания

В инженерно-геологическом отношении трещиноватость горных пород важна как фактор, определяющий: 1) возможность доступа агентов выветриваня; 2) водо- и газпроницаемость пород; 3) прочность и деформируемость массива; 3) развитие опасных для сооружений геологических и инженерно-геологических процессов (обвалов, оползней и др.).

Генезис трещин может быть различен, но, вне зависимости от этого, являясь входами в геосистемы, они вместе с пустотами обеспечивают доступ агентов выветривания и вынос его продуктов. При инженерно-геологическом классифицировании трещин используются следующие признаки [11]: а) генезис трещин (табл. 4.1); б) возраст и последовательность образования, ориентировка, протяженность и ширина (табл. 4.2); г) интенсивность трещиноватости; д) характер поверхности стенок (табл. 4.3); е) заполнитель трещин. По составу заполнителя различают: А) тектонические брекчии в зонах разломов; Б) минеральные образования; В) продукты выветривания; Г) накопления вмывания. Состав и сложение заполнителя влияют на залечивание трещин и укрепление массива.

Таблица 4.1

Схема инженерно-геологической классификации трещин [11]

Группы трещин	Генетические типы трещин	Характерные черты
Остывания или контракционные (перви-чной отдельности)	в интрузивных породах в эффузивных породах	Обычно волосные и узкие, протяженные, закономерно ориентированные в трех направлениях Преобладают широкие трещины
Литогенетические или напластования	усадки в илах, такырах; напластования и объемного уплотнения в литифи-цированных толщах глинистых пород	Возникают при высыхании, разной ширины, нередко образуют шестигранные отдельности. Микро- и волосные трещины обнаруживаются при разуплотнении и выветривании
Тектонические (эндогенные)	Разломы: глубинные, региональные и локальные и их сочетания Разрывы	Протяженность измеряется десятками и сотнями километров, ширина многие сотни метров Разного характера, с дроблением и смятием пород, шириной многие метры и десятки метров различного заполнения, обычно вторично измененного; сопровождаются оперяющими трещинами
Тектонические (эндогенные)	Зоны трещин Трещины, образованные: а) при сдвигах и сколах; б) при сжатии (давлении); в) при растяжении (разрыве); г) при развальцевании и скручивании	Обычно шириной несколько метров, чаще 1-2 м; заполнены разным материалом; прерывистые; преобладают микро-, волосные, ухзкие и средние трещины, прерывистые и закономерного простирания; для каждой генерации характерны две основные системы и третья менее четко выраженная; открытые и различно выполненные

Экзогенные; обычно наложены на другие типы трещин	Нетектонического давления – при гидратации ангидритов и других пород, от веса ледяного покрова и т.п.	Локальное распространение без четкой ориентации, узкие и волосные
	Разгрузки (разуплотнения) естественного-напряженного массива пород, в том числе бортового отпора	Обычно наложены на тектонические и первичные, проявляются при эрозионном расчленении
	Выветривания	Разного характера, выполнения и ориентации в различных горизонтах выветривания
	Мерзлотные (температурного напряжения)	Связаны А) с переменным оттаиванием и замерзанием пород, температурным сжатием; Б) с буграми пучения, наледями и другими мерзлотно-геологическими явлениями, создающими локальные очаги давлений
	Оползневые а) детрузивные (выдавливания), б) разрыва и бортового сдвига, в) зоны скольжения (перемятия)	Разной длины и ширины: приурочены к различным частям оползневого массива; отражают характер распределения напряжений при развитии и движении оползня В плане обычно концентрические, широкие
	Сдвижения при обрушении кровли над карстовыми пустотами	

Экзогенные; обычно наложены на другие типы трещин	Просадочные в лессах и пепловых туфах Суффозионные	Распространение, размер и количество определяется масштабами просадочных явлений и мощностью Обычно наложены на тектонические или литогенетические, трещины неравномерно расширяя их по простиранию,
Техногенные	Разгрузки: А) в откосах карьеров и котлованов; Б) вокруг подземных выработок; Г) взрыва (сотрясения) Сдвижения – при обрушении кровли подземных выработок Искусственно измененные (закрепленные природные трещины)	Простирание и ширина зависят от размеров и ориентировки бортов карьеров, а также первичным напряженным состоянием и строением массива пород. Распространение характер и ширина зависят от пород, глубины оюрушения и др. Цементация, силикатизация, глинизация, обжиг и др. методы технической мелиорации

Трещины в массиве скальных грунтов, подразделяют на разновидности по пространственной ориентации, ширине раскрытия, длине, виду заполнителя и шероховатости

Таблица 4.2

Градация трещин по ширине [20]

Наименование	Характеристика

Микротрещины	Шириной до 0.1 мм; их число можно измерит в шлифе большого размера и они частично влияют на механическую прочность и дефомируемость пород.
Волосные (тонкие)	Шириной 0.1 - 1 мм; видимые на глаз, обычно закрытые, значительно отражаются на механических свойствах пород и процессах разгрузки.
Узкие (шириной 1 – 5 м)	Открытые или заполненные, влияющие на напряженное состояние пород, механические, фильтрационные свойства массива, на развитие геологических процессов
Средние (шириной 5–20 мм)	
Широкие (шириной 20 – 100 мм)	
Очень широкие (шириной 100–500 мм)	"Рвы отседания" и др.

Таблица 4.3

Градация трещин по шероховатости [20]

Характер поверхности	Высота выступов
Гладкие	Высота бугорков до 0.1 мм
Шероховатые	Высота бугорков до 1 мм
Бугристые	Высота бугорков до 10 мм
Неровные	Ступенчатый характер поверхности

По пространственной ориентации трещины **ГОСТ 25100-2011** в зависимости от угла падения подразделяют на разновидности в соответствии с таблицей При этом необходимо указывать азимут падения плоскости трещины (слоя, разрыва) - азимут перпендикуляра к следу от пересечения плоскости трещины с горизонтальной плоскостью.

Таблица 4.3 а

Разновидность трещин	Угол падения
Субвертикальные	80°
Крутые	80° 60°
Наклонные	60° 30°
Пологие	30° 10°
Субгоризонтальные	10°

По расстоянию между скальными стенками трещины выделяют разновидности трещин в соответствии с таблицей

Таблица 4.3 б

Разновидность трещин	Расстояние между скальными стенками трещины , см
Щели	10
Широкие	10 1
Средней ширины	1 0,1
Узкие	0,1 0,01
Трещины-капилляры	0,01

По длине трещины скального массива подразделяют на разновидности в соответствии с таблицей 4.3 в

Таблица 4.3 в

Разновидность трещин	Длина трещины , м
Разрывы	100
Длинные	100 10
Средней длины	10 1
Короткие	1 0,1
Микротрещины	0,1

По виду заполнителя трещины подразделяют на разновидности в соответствии с табл. 4.3 г.

Таблица 4.3 г

Разновидность трещин	Вид заполнителя трещины
Открытые	Наполнены газом или жидкостью
Заполненные	Полностью или частично заполнены дисперсным грунтом
Залеченные	Наполнены природным или искусственным скальным грунтом, цементирующим стенки

По макрошероховатости стенок трещины подразделяются на разновидности в соответствии с таблицей 4.3 д.

Таблица 4.3 д

Разновидность трещин	Макрошероховатость стенок	Механический тип трещины
Ровные	Выступы с наклоном менее 5°	Зеркала скольжения и притертые трещины скола
Волнистые	Выступы с наклоном от 5° до 30°	Трещины скола и отрыва, частично притертые
Волнистоступенчатые	Выступы с наклоном более 30°	Трещины отрыва и скола, не измененные смещением
Примечание - Кроме макрошероховатости, имеющей сантиметровую (до нескольких сантиметров) амплитуду выступов, на стенке трещины может быть микрошероховатость, которая осложняет поверхность макровыступов, создавая на ней волны высотой до 1,0 мм. Длинные трещины, кроме названных микро- и макрошероховатостей, могут иметь на стенках неровности третьего порядка с высотой выступов до нескольких дециметров.		

По взаимной ориентации в массивах скальных грунтов выделяют следующие разновидности сетей трещин в соответствии с таблицей 4.3 е

Таблица 4.3 е

Разновидность сетей трещин	Взаимная ориентация трещин	Анизотропия массива
Системная	Трещины группируются в системы	Массив анизотропный
Полигональная	Одна система трещин вдоль слоя осадочной породы (поверхности магматического тела) и перпендикулярные к ней трещины разных азимутов	Массив трансверсально-изотропный
Хаотическая	Трещины в массиве ориентированы по любым направлениям	Массив изотропный
Шаровая	Независимые радиально-концентрические	

	сети в округлых геологических телах, слагающих массив	

Примечание - Системой трещин называется множество примерно параллельных трещин в массиве скальных грунтов.

По коэффициенту трещинной пустотности (отношение общей площади трещин к площади изученной поверхности в процентах) породы разделяются в соответствии с таблицей 4.3 ж.

Таблица 4.3 ж

Наименование массива по степени сплошности	Коэффициент трещинной пустотности , %	Отношение	Характеристика массива
Монолитный	$КТП < 0,1$	1,0	Массив не расчленен трещинами на отдельные блоки. Имеются немногочисленные трещины, которые редко пересекаются
Трещиноватый:			Массив не полностью расчленен трещинами на отдельные блоки. Между блоками имеются целики скального грунта
слаботрещиноватый	$0,1 \le КТП \le 0,5$	1,0-1,5	
среднетрещиноватый	$0,5 < КТП \le 1,5$	1,5-2,5	
сильнотрещиноватый	$1,5 < КТП \le 3$	2,5-4,0	
Разборный	$КТП > 3$	4,0	Массив полностью расчленен трещинами на отдельные блоки. Трещины различных направлений многократно пересекаются

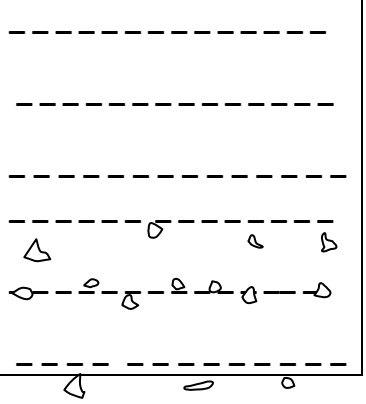
Примечание - Для подразделения массива скального грунта по степени сплошности следует руководствоваться отношением, где - средняя длина трещин, - среднее расстояние между трещинами. Показателем КТП следует пользоваться, если площадь естественного или искусственного обнажения (котлован, штольня и т.п.) не позволяет оценить реальные значения и .

(Примечание: Раньше деление было следующим: слаботрещиноватые $К_{тр}$ < 2 %, среднетрещиноватые $К_{тр}$= 2–5 %, сильнотрещиноватые $К_{тр}$= 5-10 % и весьма сильно-трещиноватые $К_{тр}$>10 %).

4.5. Схемы расчленения кор выветривания, методика изучения и оценки свойств пород

Предложено несколько схем инженерно-геологического расчленения коры выветривания Н.В Коломенского [14], Е.М. Сергеева [33], Л.А. Ярга [43], Г.С. Золотарева [11] и др., различия которых в известной степени связаны с особенностями изучаемых комплексов пород, климатом района и спецификой исследований. В вертикальном разрезе коры выветривания практически все исследователи выделяют от 3 до 5 зон. Например, в схеме Н.В. Коломенского [14] выделяются снизу вверх: I) монолитная зона; II) глыбовая зона; III) зернистая или мелкообломочная зона; IV) зона тонкого дробления.

В настоящее время широкое распространение получила схема Г.С. Золотарева [11] инженерно-геологического расчленения коры выветривания, представленная на рис. 4.3, согласно которой сверху вниз по разрезу выделяются: I – верхняя "дисперсная"; II – средняя "обломочная" и III – нижняя "трещинная" зоны

Названия и индексы зон выветривания	Характерные особенности	Принципиальный разрез
“Дисперсная” полного химического преобразования исходных пород	Глины, суглинки, супеси в основании с редкой щебенкой, выщелоченые и ожелезненные, карбонатизированные и т.д. Возможно расчленение на 2-3 горизонта. Слабо изучена в инженерном отношении	

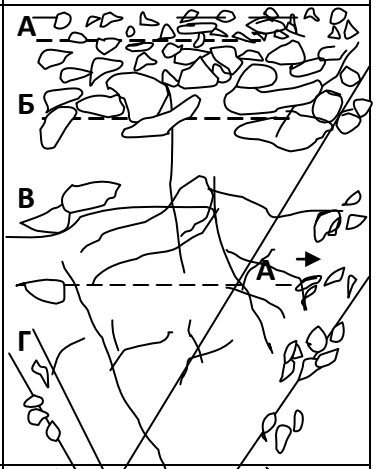
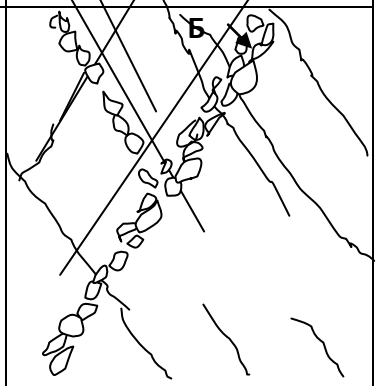
		— – – – – – – – – – – –
"Обломочная" Преобладание физической дезинтеграции и частичное химическое разложение пород	По степени раздробления и химического разложения, количеству минеральных новообразований и физико-механических свойствам подразделяются на 4 горизонта.обозначенные "А", "Б", "В" и "Г"	
Трещинная" Раздробление массива и начало разложения пород по крупным трещинам и тектоническим зонам	Проявление на значительных глубинах. Возможно образование зон выветривания малой толщины вдоль основной трещины	

Рис. 4.3. Принципиальная схема инженерно-геологического расчленения коры выветривания
[по Г.С. Золотареву, 1983]

Д и с п е р с н а я зона выветривания характеризуется практически полным преобразованием минерального состава, текстуры и свойств исходных пород, в зависимости от которых и от климатических факторов преобладают различные вторичные минералы, выносятся или накапливаются гипс, карбонаты, окислы железа и др. По сложению, механическим свойствам, размываемости и водопроницаемости глинистые образования дисперсной зоны выветривания являются относительно однородными и обычно целесообразно их подразделение на два инженерно-геологических горизонта, в зависимости от наличия

мелкой дресвы, плотности и увлажнения. Эта зона характеризуется большими амплитудами колебаний суточных температур и влажности, процессами почвообразования и биологического выветривания. Глинистые породы дисперсной зоны выветривания легко размываются и оползают.

Для обломочной зоны характерны процессы физической дезинтеграции и частичное химическое разложение пород. Она имеет сложное строение, и для нее типичны по разрезу весьма значительные изменения (до десятков раз) прочности, деформируемости и др. В этой зоне возможны значительные колебания годовых амплитуд температур и влажности. Здесь развиты процессы окисления, гидратации и выщелачивания.

Трещинная зона выветривания разнообразна по своему характеру, распространению в массиве и др. особенностям, зависящим от исходных пород, интенсивности и размеров тектонических трещин и разломов, эрозионной расчлененности, разгрузки естественных напряжений, состава и движения подземных вод. Это зона практически нулевых годовых амплитуд колебаний температуры и влажности, но здесь возможны вековые колебания этих характеристик. Выветривание в тектонических разломах протекает на значительно большие глубины, чем в нормальном трещиноватом массиве; вдоль разломов в породах формируются свои зоны экзогенного физического и химического изменения. Таким образом, мощность современной коры выветривания может достигать 10-25 м, что зависит от климатических условий, а в тектонических зонах до 100 и более метров.

Признаки выветрелости горных пород в каждой из зон могут быть количественными и качественными.

Количественные показатели определяются в лабораторных условий по стандартным методикам. К ним относятся: гранулометрический состав, влажность, плотность, скорость прохождения упругих волн, прочность на одноосное сжатие, морозостойкость и другие. В частности, для оценки изменения прочности пород на одноосное сжатие возможно использование двух методов – косвенного с

использованием скорости прохождения упругих волн и непосредственного испытания на гидравлическом прессе. Схема экспериментальной установки для выполнения этих испытаний, разработанная с участием автора в Читинской лаборатории Института мерзлотоведения СО РАН, приведена на рис. 4.4.

Качественными показателями являются трещиноватость, раздробленность пород, изменение облика и плотности сложения породы, вследствие ожелезнения и выщелачивания, новообразование минералов, образование гумуса. Характеристика качественных показателей дается непосредственно при документации обнажений, горных выработок, керна скважин.

Чем меньше выветрелость породы, тем выше ее прочностные характеристики и тем выше скорости прохождения продольных (v_p) ультразвуковых волн. В то же время существенное влияние на скорость прохождения волн и показатель прочности (R_c) оказывает состояние пород.

Так для Колымских гранитов в сухом, водонасыщенном и льдонасыщенном состоянии эти характеристики представлены в табл. 4.4

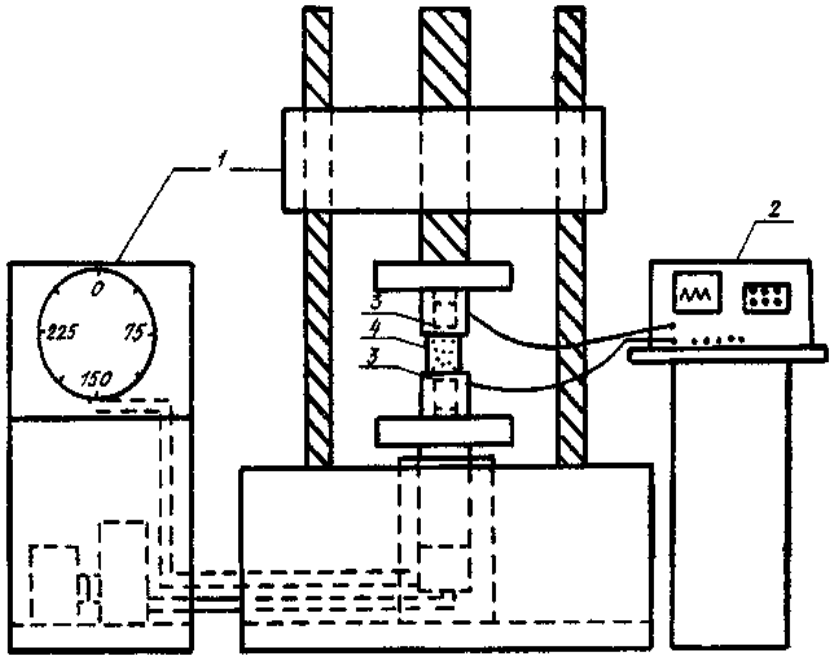


Рис. 4.4. Установка для определения прочности на одноосное сжатие и скоростей продольных

ультразвуковых волн [42].

Цифры: 1 – гидравлический пресс ПСУ-250, 2 – прибор для ультразвуковых исследований УК-10П, 3 – металлические обоймы с установленными в них сейсмическими датчиками, 4 – испытуемый образец

Таблица 4.4

Значение скоростей упругих волн и прочности на одноосное сжатие в зависимости от состояния породы [28]

Скорости прохождения продольных волн			Прочность
v_p (сухое состояние), км/с	v_p (водонасыщенное. состояние), км/с	v_p (мерзлое состояние), км/с	R_c, МПа
1.5 – 2.0	2.35 – 3.0	4.47 – 4.92	40 – 60
2.0 – 2.5	3.0 - 3.55	4.92 – 5.2	60 – 80
2.5 – 3.0	3.55 – 4.05	5.2 – 5.42	80 – 100
3.0 – 3.4	4.05 – 4.4	5.42 – 5.56	100 – 180
3.5 и более	4.5 и более	5.57 и более	более 200

По относительной скорости распространения упругих продольных волн массивы скальных грунтов подразделяют на разновидности согласно таблице 4.4.а

Таблица 4.4.а

Наименование скального массива	Относительная скорость упругих продольных волн $v_{p.М}/v_{p.Б}$, д.е.
Монолитный	Более 0,6
Слаботрещиноватый	От 0,6 до 0,3
Среднетрещиноватый	От 0,3 до 0,1
Сильнотрещиноватый	От 0,1 до 0,03
Разборный	Менее 0,03
Примечание - V_{pM}- скорость упругих продольных волн в массиве скального грунта; $V_{p\text{Б}}$- скорость продольных волн в блоке отдельности.	

К числу показателей, которые характеризуют выветрелость и можно определить косвенным (сейсмоакустическим) методом, относится динамический модуль упругости $E_{д,}$ который рассчитывается по формуле 4.1.

$$E_{\partial} = \frac{v_p^2 \cdot \rho \cdot (1+\mu) \cdot (1-2\mu)}{1-\mu}, \qquad (4.1)$$

где v_p – скорости прохождения продольных волн, м/с;

ρ – плотность породы (базальты ρ =2850, гнейсы ρ =2650, известняки ρ =2750 и т.д.), кг/м^3;

E_{∂} – динамический модуль упругости, Па;

μ – коэффициент Пуассона, значение которого для скальных пород варьирует от 0.03 до 0.3.

Статический модуль упругости (при $2 \cdot 10^3 < E_{\partial} < 13 \cdot 10^4$, МПа) можно найти по формуле

$$E_c = 0.135 \cdot E_{\partial}^{1.141}. \qquad (4.2)$$

Модуль общей деформации E_o находится по следующим формулам для интрузивных и метаморфических: $\lg E_o = -1.45 + 1.28 \lg E_{\partial}$; для эффузивных: $\lg E_o = -0.75 + 1.14 \lg E_{\partial}$; для осадочных скальных: $\lg E_o = -1.5 + 1.126 \lg E_{\partial}$.

Общую пористость сухих скальных пород можно определять по формуле

$$n = \left(\frac{v_m}{v_p} - 1\right) \cdot \left(\frac{v_m}{v_з} - 1\right)^{-1}, \qquad (4.3)$$

где v_m – скорость продольных волн в твердой (минеральной) части породы;

$v_з$ – скорость продольных волн в заполнителе пор ≈ 360 м/с.

Уравнение среднего времени [Willy, Gregory, Gardner, 1956] используется и для оценки трещиноватости [39]

$$K_m = \frac{v_з(v_m - v_p)}{v_p(v_m - v_з)} \cdot 100, \qquad (4.4)$$

где $v_з$ – скорость в заполнителе трещин, равная 750 м/с;

v_m – скорость в монолитной породе (максимальная) : базальты – 6400 м/с; гнейсы – 6100 м/с; известняки мраморизованные – 6800 м/с;

v_p – скорость продольных волн в исследуемой точке массива.

Прочность массива (R_c) находят по формуле корреляционного уравнения, полученного Л. В. Шаумян [39]

$$R_c = R_{с.макс}\left\{1 - \left[1 - \left(\frac{v_p - v_{p_o}}{v_m - v_{p_o}}\right)^2\right]^{1/2}\right\}, \qquad (4.5)$$

где $R_{с.макс}$ – максимальные значения прочности: базальты – 330 МПа. гнейсы – 280 МПа. известняки мраморизованные – 250 МПа;

v_m – максимальная скорость продольных волн;

v_p – скорость продольных волн в исследуемой точке массива;

v_{p_o} – скорость, при которой прочность массива равна 0.

При классификации структурного видов элювия, характеристика которых дана в таблице 4.5, следует в первую очередь учитывать их прочность (R_c, МПа). Она определяет способность грунтов сопротивляться воздействию внешних (нормальных и касательных) нагрузок без полного

разрушения. При внешней весьма хорошей сохранности породы в массиве, прочность ее в результате выветривания может быть очень низкой.

Таблица 4.5 а

Разновидности скальных грунтов по пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии (см. ГОСТ 25100-2011)

Разновидность грунтов	Предел прочности на одноосное сжатие , МПа
Скальные: - очень прочные - прочные - средней прочности - малопрочные	 $R_c > 120$ $120 \geq R_c > 50$ $50 \geq R_c > 15$ $15 \geq R_c > 5$
Полускальные: - пониженной прочности - низкой прочности - очень низкой прочности	$5 \geq R_c > 3$ $3 \geq R_c > 1$ $1 \geq R_c$

Таблица 4.5

Изменение прочностных характеристик в зависимости от выветрелости [СП 11-105-97]

Наименование видов структурного элювия	Предел прочности на сжатие, R_c, МПа
Сапролит слабый	5-15
Сапролит средней прочности	15-30
Сапролит повышенной прочности	30-50
Рухляк слабый	≤ 30
Рухляк средней прочности	30-50
Рухляк прочный	> 50

4.6. Показатели динамики выветривания и степени выветрелости пород (по разным авторам)

Динамика выветривания осадочных пород может быть оценена через скорость процесса [33] по формуле

$$H \approx a\sqrt{t - t_o} \quad \text{при} \quad t_o \le t \le T, \tag{4.6}$$

где H – мощность зоны выветривания;

a – средняя скорость выветривания в метрах за первый год;

t – время на данный момент после начала выветривания;

t_o – время проявления первых признаков выветривания;

T – время, необходимое для формирования молодой коры выветривания полного профиля.

Выветрелостъ изверженных и метаморфических пород характеризуется показателем [41]

$$i = \frac{p_2 - p_1}{p_1} \cdot 100, \tag{4.7}$$

где p_1 – масса образца породы, высушенной при 105 °С;

p_2 – масса того же образца, но водонасыщенного в течение 1,5-2 ч.

Выветрелостъ пород по В.Б. Швецу [11] характеризуется коэффициентом

$$K_в = \frac{K_t - K_o}{K_t}, \qquad (4.8)$$

где K_t – отношение массы частиц размером <2 мм к массе частиц более 2 мм после испытания на крошимость в специальном барабане;

K_o – то же, в природном состоянии.

Породы сильновыветрелые, если 0.75<K<1.0; слабовыветрелые, если 0.5<K<0.5; прочные, если K<0.5.

Степень выветрелости осадочных и магматических пород по Г.С. Золотареву [11] оценивается коэффициентом

$$B_c = \frac{F_н - F_o}{F_н - F_A}, \qquad (4.9)$$

где F - характерные показатели элювия, например, объемный вес, пористость, сопротивление одноосному сжатию, динамический модуль упругости, сцепление и др.

Индексы "н", "о", "А" относятся соответственно к невыветрелым, оцениваемым и предельно выветрелым (горизонт "А") породам.

По степени выветрелости выделяются четыре категории пород:

- сильновыветрелые $0.9<B_c<0.9$;
- выветрелые $0.7<B_c<0.9$;
- средневыветрелые $0.3<B_c<0.7$;
- слабовыветрелые $0 < B_c<0,3$.

Показатель интенсивности выветривания [43] $K_в$ – есть отношение приращения какого-либо показателя к приращению мощности выветрелых пород:

$$K_в = \frac{R_{i,n} - R_{i(n-1)}}{\frac{h_n}{2} + \frac{h_{n-1}}{2}}, \qquad (4.\ 10)$$

где $R_{i,n}$, $R_{i(n-1)}$ – среднее значение какого-либо i-го показателя для соответствующей зоны выветривания;

h_n, h_{n-1} – мощности зон выветривания.

По ГОСТ 25100-95 коэффициент выветрелости (K_{wr}) для скальных грунтов есть отношение плотности выветрелого грунта к плотности монолитного грунта $\rho_{выв}/\rho$ и они подразделяются на следующие разновидности согласно табл. 4.6

Таблица 4.6

Подразделение скальных грунтов по степени выветрелости

Разновидность грунтов	Коэффициент выветрелости K_{wr}, д. е.
Невыветрелый	1
Слабовыветрелый	1–0,90
Выветрелый	0,90–1,00
Сильновыветрелый	0,80

Крупнообломочные грунты подразделяют согласно табл. 4.7 [ГОСТ 25100-95].

Таблица 4.7

Подразделение крупнообломочных грунтов по степени выветрелости

Разновидность крупнообломочных грунтов	Коэффициент выветрелости K_{wr}, д. е.
Невыветрелый	0—0,50
Слабовыветрелый	0,50—0,75
Сильновыветрелый	0,75—1,00

Для крупнообломочных пород коэффициент выветрелости K_{wr} определяется по формуле

$$K_{wr} = \frac{K_1 - K_o}{K_1}, \qquad (4.11)$$

где K_1 – отношение массы частиц размером менее 2 мм к массе частиц размером более 2 мм после испытания на истирание в полочном барабане;

K_0 – то же, в природном состоянии.

Очевидно, что пользоваться предложенными показателями необходимо очень осторожно, особенно для скальных пород, где оценка выветрелости по методикам разных авторов для одних и тех же грунтов может быть прямо противоположной.

4.7. Прогноз и мероприятия по борьбе с процессом выветривания

Прогноз выветривания горных пород является сложной проблемой, что связано с многофакторностью процесса. Средне- и долгосрочные прогнозы

развития процессов физического выветривания основываются на анализе степени выветрелости пород, их трещиноватости, прогнозе изменения климатических характеристик; характеристике состава, и доступности пород для проникновения агентов выветривания. Долгосрочные прогнозы протекания химического выветривания могут составляться для растворимых пород и для объектов, представляющих историческую ценность, расположенных вблизи крупных химических производств.

Комплекс мероприятий по борьбе с выветриванием сводится к:

1) ограничению доступа агентов выветривания путем покрытия пород непроницаемыми и теплоизолирующими материалами (гудроном, бетоном, цементом с известью, песком, суглинком, шлаком и др.); пропитывания пород различными веществами - жидким стеклом, цементацией, тесмолином, фтористыми соединениями;

2) искусственной нейтрализации агентов выветривания путем введения в воду солей, уменьшающих их растворяющую способность, отвод поверхностных вод и т.д.;

3) ограничению масштабов формирования техногенных обнажений и управлению процессом перемещения современного элювия на склонах и откосах; организации геодинамического мониторинга за процессами выветривания.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте зоны выветривания (по Г. С. Золотареву).
2. Как определяется степень выветрелости?

3. Какие задачи решаются при изучении выветривания в ходе инженерно-геологических изысканий?

5. Какие мероприятия используются для борьбы с выветриванием?

Рекомендуемая литература

1. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. - М.: МГУ, 1983. – 328 с.

2. Иванов И.П Инженерная геодинамика / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – СПб.: Наука, 2001. - 416 с.

3. Ярг Л.А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании / Л.А. Ярг. – М.: Недра, 1974. – 144 с.

6. 4. Ярг Л.А. Методы инженерно-геологических исследований процесса и кор выветривания / Л.А. Ярг. – М.: Недра, 1991. – 139 с.

Практическое задание

При выполнении практического задания используем «Учебное пособие по инженерной геологии» Г.С. Золотарёва – М Изд-во МГУ, 1990 – 294 с.

Тема: Инженерно-геологическое изучение трещиноватости пород

Задание по вариантам на стр. 5-23. Методика выполнения работы представлена на стр. 250-258 того же пособия. Обязательно получить учебник в библиотеке. Работа выполняется в обычной тетради в клеточку.

Курсовая работа – продолжаем работу над курсовой. Вопросы отправляем на электронную почту