

## ФАКТОРЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УРАЛА. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Грязнов О. Н.

Рассмотрены региональные геологические факторы инженерно-геологических условий Урала: геологическое строение, тектоника, история геологического развития, региональный метаморфизм, флюидно-гидротермальные рудообразующие процессы, вещественные инженерно-геологические комплексы, природные геологические процессы и связанные с ними явления, гидрогеологические условия, природное загрязнение территорий.

*Ключевые слова:* региональные геологические факторы; инженерно-геологические условия; метаморфизм; флюидно-гидротермальные процессы; геологические процессы; гидрогеологические условия; природное загрязнение.

Урал – старейший минерально-сырьевой регион Российской державы. Активное освоение его недр насчитывает более 300 лет. Основная горно-металлургическая направленность промышленного производства повлекла сопровождающее развитие других отраслей. На сегодня Урал – один из крупнейших экономических, промышленных, научных и культурных регионов страны.

С первых шагов освоения месторождений полезных ископаемых горными способами, строительства городов, поселков потребовалось геологическое обоснование инженерных решений. Это повлекло инженерно-геологическую направленность геологических исследований. Активное геологическое и минерагеническое изучение региона сопровождалось исследованием его гидрогеологических и инженерно-геологических условий.

Изучению различных аспектов инженерной геологии Урала посвящены работы Абатуровой И. В., Абдрахманова Р. Ф., Алексеева А. Ф., Афанасиади Э. И., Гаева А. Я., Глазыриной Н. С., Грязнова О. Н., Гузовского Л. А., Гуман О. М., Дубейковского С. Г., Дублянской Г. Н., Дублянского В. Н., Катаева В. Н., Костеровой Т. К., Лидера В. А., Лукина В. С., Максимовича Г. А., Осипова В. И., Печеркина И. Н., Подкорытовой Л. И., Плотникова Н. И., Попова И. В., Пшеничникова К. Г., Сигова А. П., Стефановского В. В., Трофимова В. Т. и многих других. Вместе с тем обобщающим работам по региональным инженерно-геологическим условиям Урала уделено недостаточно внимания.

Инженерно-геологические условия (ИГУ) территории, согласно представлениям И. В. Попова [1], В. Д. Ломтадзе [2] и В. Т. Трофимова [3] – комплекс взаимосвязанных компонентов геологических условий, определяющих возможности ее хозяйственного освоения.

Инженерно-геологические условия формируются при взаимодействии региональных геологических, зональных, а на освоенных территориях и техногенных факторов [1, 3]. Фактор, по С. И. Ожегову – движущая сила, причина какого-либо процесса, явления [4].

Многолетние исследования геологии, металлогении, инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии Урала от Восточных Мугоджар на юге до Полярного Урала на севере, позволяют выделить следующие факторы, ответственные за формирование инженерно-геологических условий.

Региональные геологические факторы: геологическое строение, тектоника, история геологического развития; региональный метаморфизм; флюидно-гидротермальные рудообразующие процессы; вещественные инженерно-геологические комплексы; природные геологические процессы и связанные с ними явления; гидрогеологические условия; природное загрязнение территорий (природной среды).

Физико-географические (в том числе зональные) факторы – плейстоцен-современные природные условия: орография, гидрография, климат, мерзлотные условия, ландшафты.

Техногенные факторы: горнопромышленный техногенез; промышленный техногенез; сельскохозяйственный техногенез; урбанизация территорий; техногенные и техноприродные геологические процессы; химическое и радиоактивное загрязнение природной среды.

В настоящей статье рассмотрены *региональные геологические факторы* инженерно-геологических условий Урала.

**Геологическое строение, тектоника, история геологического развития.** Уральский складчатый пояс на западе граничит с Восточно-Европейской платформой вдоль Предуральского краевого прогиба, а на востоке перекрывается отложениями чехла Западно-Сибирской плиты. В соответствии с представлениями [5], уточненными К. П. Плюсниным и Е. М. Ананьевой, в схеме геологического и структурно-тектонического строения с запада на восток выделяются региональные структуры I порядка: Западно-Уральский пояс (ЗУП) линейной складчатости; Центральное-Уральское поднятие (ЦУП); Главный эвгеосинклинальный пояс, представленный сопряженными Тагильским и Магнитогорским прогибами (ТМПР); Восточно-Уральский пояс (ВУП) поднятий и сопряженных прогибов – сложное горно-складчатое сооружение, состоящее из антиклинорных и синклинорных структур II порядка; Зауральский пояс (ЗП) прогибов и остаточных поднятий. На западном склоне обнажены палеозойские осадочные комплексы ЗУП, докембрийские, венд-кембрийские, ордовикские комплексы ЦУП. На восточном склоне (ТМПР, ВУП, ЗП) распространены палеозойские формации, выполняющие прогибы, и допалеозойские комплексы поднятий. Внутри палеозойских структур (уралид) массивы гипербазитов и базитов слагают прибортовые части прогибов, фиксируя зоны глубинных разломов. В строении поднятий большую роль играют гранито-гнейсовые комплексы. Границами региональных структур являются глубинные разломы. Значительная роль принадлежит диагональным и субширотным разломам, обуславливающим в сочетании с продольными нарушениями

линейно-блоковое строение и металлогению Урала. Наряду с тектоникой и магматизмом в формировании структурно-вещественных комплексов (СВК) на разных стадиях развития Урала большое значение имели процессы регионального метаморфизма [6]. Существенную роль в истории региона играли коры химического выветривания сиалитного и латеритного типов [7].

В геологической истории Урала выделяются четыре цикла развития: архейско-раннепротерозойский, позднепротерозойско-раннеордовикский, среднеордовикско-пермский и мезозойско-кайнозойский [5]. Архейско-раннепротерозойский цикл отвечает периоду развития сложной протогеосинклинальной системы, позднепротерозойско-раннеордовикский – соответствующему циклу байкальского тектогенеза и среднеордовикско-пермский – каледоно-герцинскому (уральскому) циклу. Каледониды Урала в большей части (за исключением Мугоджар) не завершены, а герциниды в большинстве случаев редуцированы. Уралиды завершаются единой орогенной стадией развития с типичным позднепалеозойским гранитоидным плутоническим магматизмом. Особый период в жизни Урала связан с позднепалеозойско-мезозойской тектоно-магматической активизацией (ТМА) региональных структур в блоках ранней (доуралиды) и поздней (уралиды) стабилизации [8]. В ее развитии могут быть выделены две стадии: ранняя (поздняя пермь – ранний триас) и поздняя (средний триас – средняя юра). Ранняя стадия выразилась в образовании региональных разломов или подновлении существовавших. В СВК доуралид ЦУПа, глубоко метаморфизованных комплексах микроконтинентов, срединных массивов эвгеосинклинальной области восточного склона, в граничных разломах I–II порядков тектоническая активизация сопровождалась развитием щелочного, щелочно-базальтоидного и гранитного магматизма с высокотемпературной редкометалльной металлогенией литофильного и литофильно-халькофильного профиля. Вторая стадия проявилась в образовании наложенных вулканогенно-молассовых

Масштаб 1 : 2 500 000

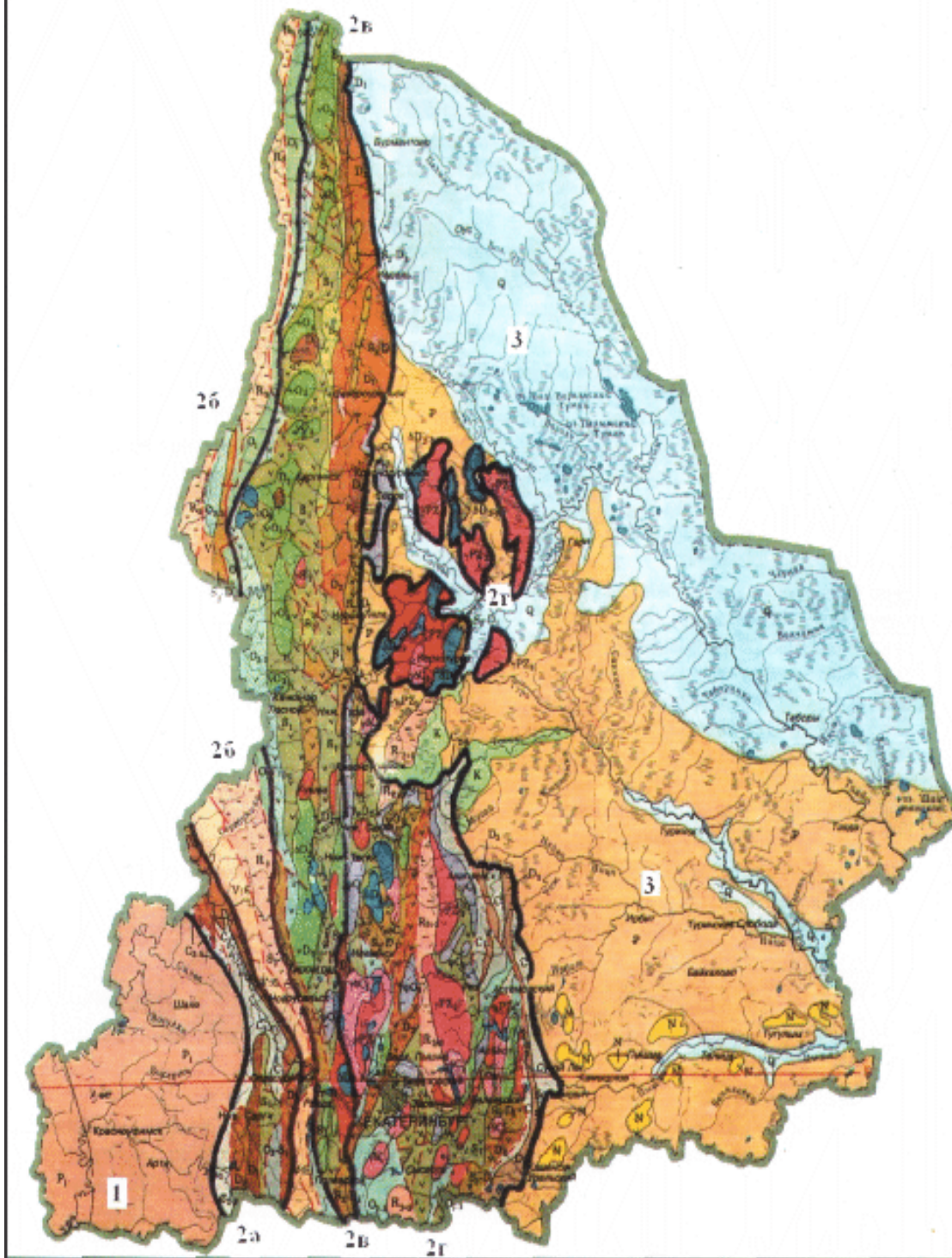
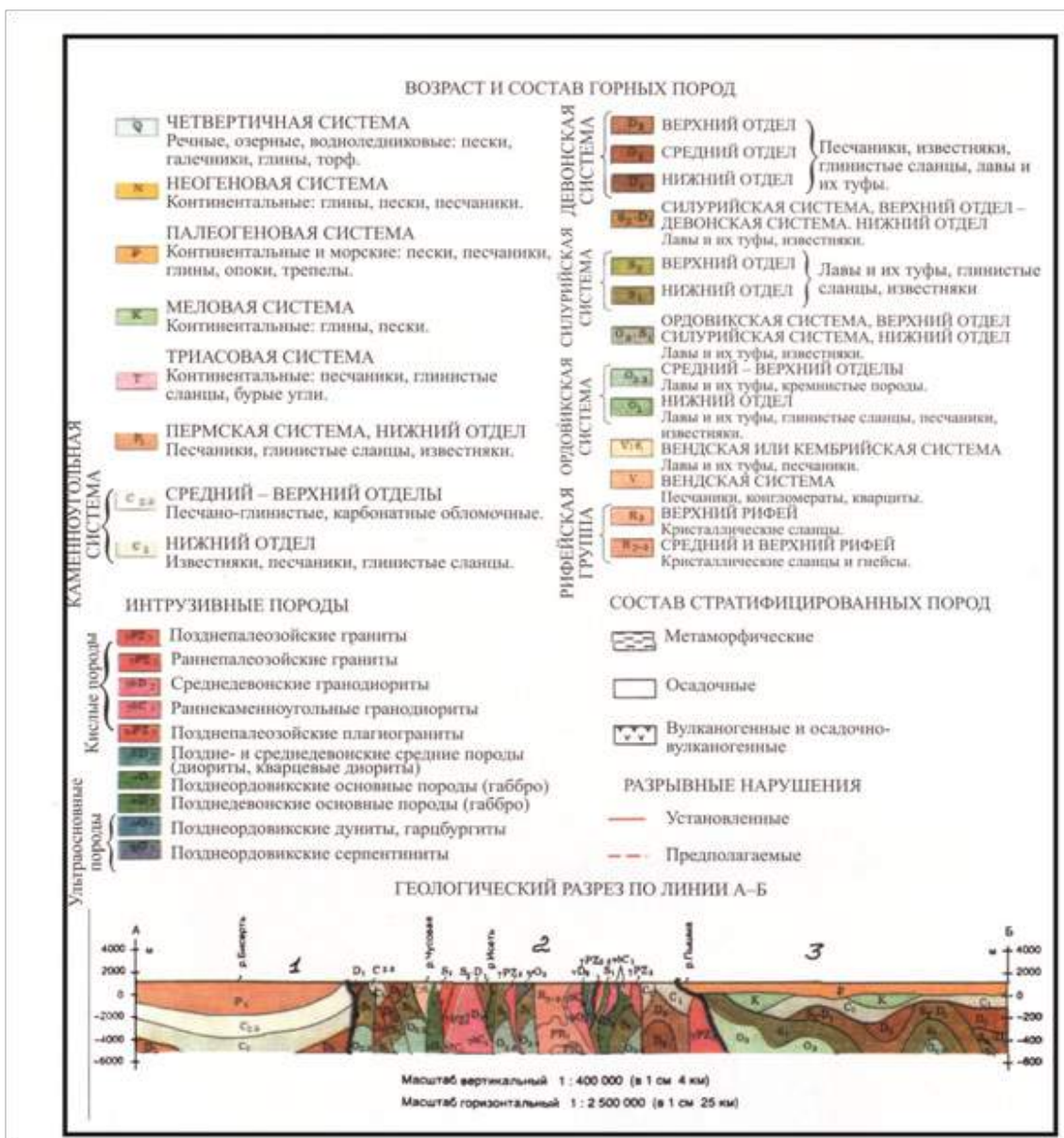


Рис. 1. Геологическая карта Свердловской области (по К. К. Золоеву и др.) [9]: 1–3 – структурные мегазоны Среднего Урала: 1 – Предуральский краевой прогиб; 2 – открытые структуры горноскладчатого Урала (2а – Западно-Уральская зона линейной складчатости; 2б – Центрально-Уральское поднятие; 2в – Тагило-Магнитогорский прогиб; 2г – Восточно-Уральская область поднятий и сопряженных прогибов второго порядка); 3 – Зауралье



впадин в структурах восточного склона и подновлении разнопорядковых разломов складчатого фундамента. С этим периодом связана низкотемпературная гидротермальная минерализация (золото, уран, ртуть и др.), уголь и ряд нерудных полезных ископаемых.

Уральская горнорудная провинция характеризуется чрезвычайно широким разнообразием месторождений полезных ископаемых, которые совместно с геологическими формациями образуют структурно-формационные (структурно-металлогенические) зоны со специфическими группами рудных формаций [10]. Базитовые (базальтоиды, габброиды)

и гипербазитовые формации обусловили фемический металлогенический профиль, а гранито-гнейсовые комплексы – сиалический металлогенический профиль региональных структур. Эти закономерности усложняются металлогенической специализацией зон ТМА.

Геологическое строение Урала с воспринимаемой детальностью невозможно отразить на карте в масштабе статейного рисунка. Основные особенности геологического строения региональных структур можно видеть на геологической карте Свердловской области, масштаб 1:2500000 (рис. 1).

Новейший этап развития региона начи-

нается с середины верхнего олигоцена после завершения приразломной складчатости в эоценовых и раннеолигоценовых отложениях. С инженерно-геологических позиций целесообразно рассматривать континентальные образования данного этапа в ранге стратиграфо-генетических комплексов [11]. В целом формирование их происходило в условиях неравномерных, пульсирующих сводово-блоковых воздыманий и изменения климатических условий в сторону похолодания, с ритмичным чередованием оледенений и межледниковых периодов. В среднем и позднем олигоцене наблюдалось общее воздымание Урала. В условиях теплого гумидного климата господствовали эрозионно-денудационные процессы на междуречьях и карстово-суффозионные процессы на карбонатных и сульфатных породах в речных долинах. Формируются песчано-гравийные аллювиальные и озерно-аллювиальные образования. В условиях относительного тектонического покоя и жаркого засушливого климата миоцена образуются делювиальные, делювиально-пролювиальные отложения: красноцветные глины со щебнем и галькой. Интенсивные сводово-блоковые поднятия плиоцена привели к перестройке речной сети и формированию рельефа, близкого к современному. В конце цикла на фоне затухающих тектонических подвижек формируются аллювиальные, делювиальные и озерные отложения (песчано-галечные образования, глины и суглинки). Интенсивные дифференцированные блоково-сводовые поднятия, выветривание и денудация, которые предшествовали плейстоценовому циклу, превратили складчатую систему в низкогорный регион. В раннем плейстоцене преобладают эрозионные процессы. На севере – солифлюкционно-делювиальные, на юге – делювиальные. Образуются суглинки и глины со щебнем. В среднем плейстоцене тектонические подвижки носят локальный характер, и в долинах рек формируется аллювий четвертой надпойменной террасы. На водоразделах преобладают субэральные процессы. Ледниковая фаза среднего плейстоцена определила широкое развитие севернее г. Карпинска ледниковых, леднико-

во-речных и ледниково-озерных комплексов. Это суглинки с валунами и щебнем, пески и слоистые глины. В долинах рек формируется аллювий третьей надпойменной террасы. В позднем плейстоцене в долинах рек вырабатывается профиль равновесия. Аккумулируются осадки второй надпойменной террасы, представленные песчано-гравийными разновидностями. На карбонатных породах развивается карст. В голоцене формируются торфяники на междуречьях и пойменных террасах в долинах рек.

**Региональный метаморфизм.** В ходе развития Уральского складчатого пояса эволюция геодинамического режима, термодинамических условий определили последовательную смену в структурно-формационных зонах различных геологических типов регионального метаморфизма [12]: начального, зеленокаменного, зеленосланцевого, дислокационного, симатического и сиалического плутонометаморфизма, контактового метаморфизма. Геологические типы и фациальные условия проявления метаморфизма отражены на рис. 2. Ассоциации метаморфических и метаморфизованных горных пород, свойственные различным геологическим типам и фациям метаморфизма, приведены в табл. 1.

*Начальный метаморфизм* или метагенез (по Н. В. Логвиненко) охватывает изменения осадочных пород, происходящие на глубинах 7–10 км в условиях давления 200–300 МПа и более, температур 200–300 °С и выше. Метагенез по своей природе – процесс физико-химический. Движение масс горных пород при складчатости обуславливает развитие тонкой трещиноватости – кливажа разрыва (скольжения), что создает пути миграции растворов. Последней способствует повышенная температура. Минерализованные растворы формируются за счет мобилизации поровых вод. В зоне метагенеза широко развиты процессы растворения и регенерации, перекристаллизации, реакции взаимодействия растворов и минералов осадочных пород с привнесением и выносом вещества, т. е. процессы автотоматизма. В результате осадочные породы изменяются в метаморфизованные горные породы.

Начальный метаморфизм вызывает полное преобразование цемента зернистых пород и частичное преобразование основной массы глинистых и карбонатных пород. Обломоч-

ные зерна терригенных горных пород, как правило, не перекристаллизуются или перестраиваются лишь по периферии. Имеют место явления незначительного катаклаза. По

Геологические типы метаморфизма	Фации метаморфизма							
	Цеолитовая	Пренит-пумпеллитовая	Зелено-сланцевая	Глаукофан-сланцевая	Эпидот-амфиболитовая	Амфиболитовая	Гранулитовая	Эклогитовая
Контактовый метаморфизм					■	■		
Сиалический плутонометаморфизм			■	■	■	■	■	
Симатический (фемический) плутонометаморфизм			■	■	■	■	■	■
Дислокационный метаморфизм			■	■				■
Региональный зеленосланцевый метаморфизм		■	■					
Региональный зеленокаменный метаморфизм	■	■	■					
Начальный метаморфизм	■	■						

Рис. 2. Геологические типы и фациальные условия проявления метаморфизма Уральского складчатого пояса

РТ-условиям метагенез осуществляется в цеолитовой (начальной) и более глубинной пренит-пумпеллитовой фациях.

*Региональный зеленокаменный метаморфизм* проявляется на ранних стадиях развития складчатых областей в связи с рифтогенезом и инициальным базальтоидным вулканизмом в эвгеосинклиналиях и отчасти миогеосинклиналиях. Метаморфические процессы связаны с каждым конкретным актом вулканизма и приобретают в этом случае аутометаморфический (аутометасоматический) характер. Существенное значение, очевидно, имеет общий прогрев, обусловленный повышенным глубинным конвективным тепловым потоком, что вызывает общее нарастание интенсивности изменения пород с глубиной. Метаморфизму подвержены вулканогенные, вулканогенно-осадочные и осадочные комплексы. Преобразование минерального и отчасти химического состава горных пород происходит путем замещения первичных минералов закономерными ассоциациями метаморфических

минералов, отвечающих низким ступеням метаморфизма – цеолитовой (сметитовой), пренит-пумпеллитовой и зеленосланцевой (актинолит-эпидот-хлоритовой) фаций. Низкая скорость метаморфических процессов не приводит при этом к установлению полного минерального равновесия, метаморфические реакции оказываются незавершенными, о чем свидетельствует наличие реликтовых минералов, сохранность первичных структур и текстур исходных пород.

*Региональный зеленосланцевый динамотермальный метаморфизм* связан с фазами складчатости и охватывает обширные территории в пределах мегаструктур, испытывающих восходящие тектонические движения в эвгеосинклиальной и миогеосинклиальной областях подвижных поясов. Зеленосланцевый метаморфизм протекает в режиме пренит-пумпеллитовой и зеленосланцевой фаций. Он не зависит ни от глубин залегания, ни от возраста, ни от состава исходных пород. Вследствие динамических нагрузок породы

всегда имеют сланцеватый облик, что наряду с достаточно полным прохождением реакций отличает их от зеленокаменно-измененных пород близкого состава. Породы, претерпевшие метаморфизм на уровне пренит-пумпеллиитовой фации, по составу аналогичны зелено-

каменным метаморфитам. В условиях фации зеленых сланцев развиваются минеральные ассоциации трех ступеней: актинолит-эпидот-альбитовой, эпидот-хлорит-альбитовой и альбит-хлорит-мусковитовой с образованием сланцев соответствующего состава (табл. 1).

Таблица 1

**Ассоциации метаморфических и метаморфизованных горных пород различных геологических типов и фациальных уровней метаморфизма  
(по материалам И. А. Елисеева, Н. Л. Добрецова, Г. А. Кейльмана с добавлениями) [12]**

Фашии метаморфизма	Субфашии, ступени метаморфизма	Ассоциации метаморфических и метаморфизованных горных пород
<i>Контактный метаморфизм</i>		
Пироксен-роговикова	–	Роговики: андалузитовые, кордиеритовые, силлиманитовые и др.
Амфибол-роговикова	–	Роговики: биотитовые, полевошпатовые, амфиболовые и др.
Амфибол-эпидот-роговикова (мусковит-роговикова)	–	Роговики: биотитовые, мусковитовые, полевошпатовые, амфиболовые, кальцитовые, доломитовые и др. Мраморы: кальцитовые, доломитовые
<i>Симатический (фемический) плутонометаморфизм</i>		
Эклогитова	Пироксен-гранатова	Эклогиты, эклогитоподобные породы: пироксен (омфациит) – гранатовые (пироповые, пироп-гроссуляровые) Гнейсы, кристаллические сланцы
Гранулитова	Пироксен-амфиболовых гранулитов	Гранулиты и гнейсы: пироксеновые, оливин-пироксеновые (энстатитовые), плагиоклазовые, роговообманковые и др. Амфиболиты: пироксеновые, плагиоклазовые, гранатовые
<i>Сиалический плутонометаморфизм</i>		
Гранулитова	Оливин-пироксенова	Метагипербазиты: оливин-энстатит-антофиллитовые; оливин-клинопироксеновые
<i>Сиалический и симатический плутонометаморфизм</i>		
Амфиболитова	Силлиманит-альмандинова, ставролит-кианитова	Амфиболиты: плагиоклазовые, гранатовые, эпидотовые, цоизитовые, биотитовые, кварцевые, кианитовые Гнейсы и кристаллические сланцы: биотитовые, гранатовые, ставролитовые, силлиманитовые, кианитовые, мусковитовые
Эпидот-амфиболитова	Кордиерит-антофиллитова	Амфиболиты: антофиллитовые, куммингтонитовые, тремолитовые, жедритовые
	Гранат-роговообманкова	Амфиболиты: гранатовые, эпидотовые, биотитовые, кварцевые Сланцы: гранатовые, гранат-амфиболовые, гранат-эпидотовые, амфиболовые, амфибол-эпидотовые, силлиманит-(андалузит)-мусковитовые, альбит-эпидотовые, кварц-альбит-эпидотовые, кварц-биотитовые и др.
	Актинолит-биотитова	Сланцы: актинолит-гранатовые, актинолит-эпидотовые, биотит-актинолитовые, кварц-биотитовые, кварц-эпидотовые, актинолит-биотит-кварцевые
	Амфибол-талк-карбонатная	Сланцы: талк-карбонатные, талк-карбонат-серпентинитовые, талк-карбонат-антигоритовые и др.

Фации метаморфизма	Субфации, ступени метаморфизма	Ассоциации метаморфических и метаморфизованных горных пород
Зеленосланцевая	Актинолит-эпидот-альбитовая	Сланцы: актинолит-эпидот-альбитовые, актинолит-эпидот-хлоритовые, альбит-хлорит-кварцевые, кварц-хлоритовые, кварц-биотитовые, кварц-мусковитовые и др.
	Эпидот-хлорит-альбитовая	Сланцы: эпидот-хлоритовые, альбит-эпидот-хлоритовые, кварц-альбит-хлоритовые, кварц-хлоритовые и др.
	Серпентин-бруситовая	Бруситизированные и бруситсодержащие серпентиниты
<i>Дислокационный метаморфизм</i>		
Эклогитовая	См. симатический плутонометаморфизм	
Глаукофан-сланцевая (жадеит-лавсонит-глаукофановая)	Глаукофановая	Сланцы: глаукофановые, глаукофан-эпидотовые, глаукофан-хлоритовые, глаукофан-слюдавые и др.
Зеленосланцевая	Эпидот-хлоритовая (стильпномелановая)	Сланцы: стильпномелановые, мусковит-хлоритовые и др.
	Хлорит-мусковитовая	Сланцы: хлоритовые, хлорит-серицитовые, хлорит-мусковитовые, кварц-хлоритовые, кварц-серицитовые
	Серпентин-тальковая	Антигорит-хлорит-карбонат-тальковые и др.
<i>Региональный зеленосланцевые метаморфизм</i>		
Зеленосланцевая	Актинолит-эпидот-альбитовая	Сланцы: актинолит-эпидот-альбитовые, эпидот-кварцевые и др.
	Эпидот-хлорит-альбитовая	Сланцы: эпидот-альбит-хлоритовые, альбит-хлорит-кварцевые, кварц-карбонат-хлоритовые и др.
	Альбит-хлорит-мусковитовая	Сланцы: альбит-хлорит-серицитовые, альбит-хлорит-кварцевые, хлорит-серицит-кварцевые
Пренит-пумпеллиитовая	См. зеленокаменный метаморфизм	Сланцы, по составу аналогичные зеленокаменным породам
<i>Региональный зеленокаменный метаморфизм</i>		
Зеленосланцевая (актинолит-эпидот-хлоритовая)	Актинолит-эпидотовая	Зеленокаменноизмененные вулканогенные породы (актинолитизированные, эпидотизированные, альбитизированные, хлоритизированные, карбонатизированные, окварцованные)
	Хлорит-эпидотовые	
Пренит-пумпеллиитовая	Актинолит-хлорит-тальковая	Актинолитизированные (тремолитизированные), хлоритизированные, оталькованные серпентиниты (гипербазиты)
	Пумпеллиитовая	Пумпеллиитизированные, пренитизированные, альбитизированные, серицитизированные, карбонатизированные, окварцованные терригенные, вулканогенные и вулканомиктовые породы
	Пренитовая	
	Кальцит-серицитовая	
Лизардит-хризотиловая	Серпентинизированные гипербазиты	
Цеолитовая (смектитовая)	Монтмориллонитовая	Монтмориллонитизированные (смектитизированные) вулканогенные породы
<i>Начальный метаморфизм</i>		
Пренит-пумпеллиитовая	–	Сланцы: глинистые, аспидные, филлитовидные Песчаники: кварцито-песчаники, кварциты Известняки, доломиты мраморизованные
Цеолитовая	–	Окварцевание, серицитизация, гидрослюдизация, калишпатизация, пиррофилитизация, альбитизация, цеолитизация пород



*Дислокационный метаморфизм* проявляется в зонах тектонического сжатия в орогенных условиях и возникает независимо от метаморфизма других типов как самостоятельный геологический процесс. Вместе с тем типоморфные минеральные ассоциации дислокационного метаморфизма могут образовываться в зонах локальных динамических нагрузок, сопровождающих другие геологические типы метаморфизма (симатический и сиалический плутонометаморфизм). В зависимости от геологических условий проявления, давления и температуры процесса могут быть выделены три подтипа, отвечающие трем фаціальным уровням, – зеленосланцевый, глаукофансланцевый и эклогитовый.

*Зеленосланцевый дислокационный метаморфизм* умеренных давлений и температур сопровождается развитием зон смятия в региональных антиклинорных и синклинорных структурах. По температурному уровню соответствует зеленосланцевой фации и обычно не превышает низшей хлорит-мусковитовой ступени, иногда достигая эпидот-хлоритовой (стильпомелановой) ступени. *Глаукофансланцевый дислокационный метаморфизм* высоких давлений и умеренных температур развивается в узких линейных зонах, образующих в совокупности региональные пояса. Нередко сопровождается базит-гипербазитовые интрузии, но часто формируется вне связи с ними. Температурный диапазон метаморфических преобразований соответствует глаукофановой (жадеит-лавсонит-глаукофановой) фации. *Эклогитовый дислокационный метаморфизм* высоких температур и давлений развивается нередко в одних региональных структурах с глаукофансланцевым метаморфизмом, сопровождая в пограничных разломах базит-гипербазитовые комплексы. По составу близок минеральным ассоциациям эклогитовой фации других типов метаморфизма.

*Плутонометаморфизм*. По Г. А. Кейльману [13], объединяет метаморфические процессы, связанные с диапироидным перемещением на относительно высокие уровни плутонических масс, представляющих оттор-

женцы мобилизованного кристаллического фундамента в зависимости от геоструктурного положения, характера и состава перемещающихся масс выделяются два геологических типа – симатический и сиалический плутонометаморфизм.

*Симатический* (или фемический, по Б. Я. Хоревой) плутонометаморфизм включает совокупность метаморфических преобразований, связанных со становлением офиолитовых комплексов и происходящих как в самих офиолитах, так и во вмещающих их породах. Данный метаморфизм сопровождается диапироидное перемещение в энциматических зонах отторженцев меланократового основания на рифтогенных – позднегеосинклинальных этапах развития региональных структур. Источником тепла и избыточного давления являлись симатические массы. Термическая и барическая зональность подчинена контурам массивов; контактам плутонических масс с вмещающими породами свойствен высокий градиент термодинамических параметров. Все это обусловило развитие сопряженного асимметричного зонального регионального метаморфизма различных фаціальных уровней: от эклогитовой и гранулитовой температурных фаций в ядре симатического диапироида до зеленосланцевой фации в породах рамы.

*Сиалический плутонометаморфизм* – один из наиболее детально изученных типов метаморфизма, обладающий четко выраженной симметричной зональностью. Он объединяет метаморфические процессы, связанные с проникновением гнейсовых диапироидов в верхние горизонты земной коры в позднеорогенную стадию развития антиклинорных зон. Сиалический плутонометаморфизм обусловлен значительным поступлением тепловой энергии и вещества в зоны интенсивной тектонической проработки субстрата, конечным результатом чего является формирование магматического расплава; сопровождается гранитообразованием и мигматизацией. В результате формируются гнейсово-мигматитовые комплексы ядра и сланцевого обрамления. Сиалический плутонометаморфизм обусловил развитие сопряженного зональ-

ного регионального метаморфизма с направленным развитием от центра к периферии и градиентом основных параметров. Для гнейсового ядра характерна выдержанность уровня метаморфизма в пределах амфиболитовой фации, нередко с реликтовыми ассоциациями гранулитовой фации. В контактовой зоне воздействия ядра на сланцевое обрамление метаморфизм отличается высокоградиентной зональностью и прогрессивной направленностью. Уровень метаморфизма быстро понижается от амфиболитовой через эпидот-амфиболитовую до зеленосланцевой фации с развитием глаукофансланцевой ассоциации в пограничных разломах ядра и обрамления [14].

*Контактный метаморфизм* обусловлен внедрением интрузивных масс на поздних стадиях развития региональных структур и выражен в их термальном воздействии на вмещающие породы. Интенсивность околоконтактных изменений в целом пропорциональна размерам интрузивных массивов. Ореол изменений нередко имеет зональное строение с развитием высокотемпературных ассоциаций у контакта и низкотемпературных – по мере удаления от интрузива. По данным Н. Л. Добрецова и В. С. Соболева, с учетом материалов В. М. Нечеухина и В. А. Маркса, применительно к Уралу контактовый метаморфизм протекал в условиях пироксен-роговиковой, амфибол-роговиковой (или амфиболитовой), амфибол-эпидот-роговиковой (мусковит-роговиковой или эпидот-амфиболитовой) фаций метаморфизма.

**Флюидно-гидротермальные рудообразующие процессы.** Урал, как опорный край Российской державы, знаменит богатством своих недр. По данным Л. Н. Овчинникова, по состоянию на конец 70-х годов XX века на Урале было отработано более 200 месторождений полезных ископаемых. На начало XXI столетия, по В. А. Прокину, в регионе насчитывалось свыше 100 месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых (рис. 3). Из них часть находилась в стадии активной разработки, часть – в государственном резерве, подготовленных к эксплуатации,

часть на стадиях геологоразведочных работ и часть отработанных в последние 10–20 лет.

Эндегенные месторождения Уральского складчатого пояса принадлежат 62 рудным формациям, относящимся к 29 рудоносным метасоматическим формациям, объединенных в 3 класса и 4 генетических группы: магматогенные (плутоногенные, плутоногенные-вулканогенные, вулканогенные), метаморфогенные (связанные с плутонометаморфизмом и зональным региональным метаморфизмом) и полигенные формации [12].

Наличие месторождений во многом определяет инженерно-геологические условия территорий, во-первых, в связи с их геолого-структурными особенностями, во-вторых, инженерно-геологическими свойствами рудовмещающих и околорудных пород (рудоносных метасоматитов) и полезных ископаемых, в-третьих, изменением инженерно-геологических условий вследствие их разработки на стадии горнопромышленного техногенеза (по Н. И. Плотникову). В этой связи флюидно-гидротермальные рудообразующие процессы, ответственные за формирование эндегенных месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых, выступают на Урале в качестве важного фактора инженерно-геологических условий.

**Вещественные инженерно-геологические комплексы.** Структурно-вещественные комплексы Урала характеризуются определенным составом вещественных инженерно-геологических комплексов, представляющих массивы горных пород коренной основы со своими инженерно-геологическими характеристиками (рис. 4).

Горные породы коренной основы во многом определяют инженерно-геологические условия массивов и, как следствие, инженерно-геологические условия таксонов (геологических структур) различного порядка (районов – областей – регионов). В то же время инженерно-геологические условия строительства на поверхности земли в большей степени зависят от инженерно-геологических характеристик покровных отложений различных генетических типов (элювиальных, элювиаль-

но-делювиальных, делювиальных, пролювиальных, аллювиальных, озерно-аллювиальных, озерно-болотных и др.), а в них – от количественных соотношений связных грунтов (глин, суглинков, супесей) и грубообло-

мочных фракций. Некоторые представления о количественных соотношениях связных грунтов в покровных отложениях инженерно-геологических регионов Урала можно получить из анализа рис. 5.

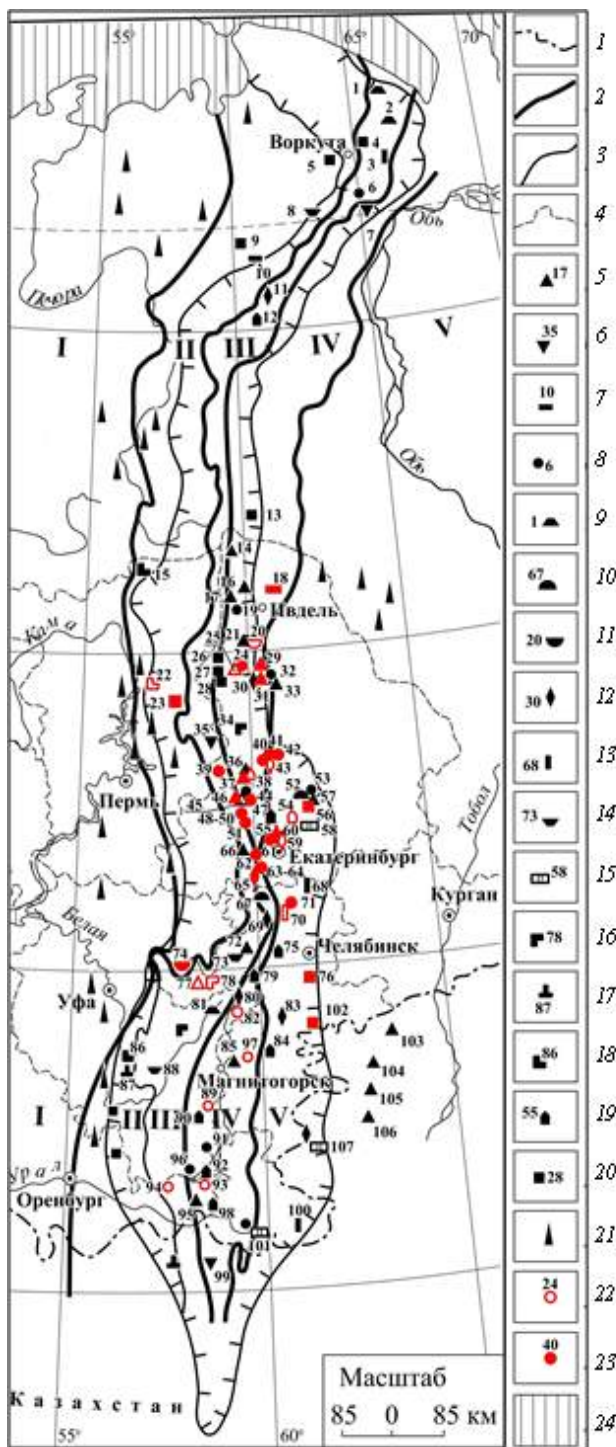


Рис. 3. Схематическая карта размещения месторождений полезных ископаемых на Урале (по Прокину, с добавлениями Елохиной) [15, 16]:

1–4 – границы: 1 – Российской Федерации, 2 – геологических зон: I – Русская платформа, II – Предуральская, III – Центрально-Уральская, IV – Тагило-Магнитогорская, V – Восточно-Уральская; 3 – Уральской равнинно-горной страны, 4 – областей и республик; 5–21 – месторождения и его номер (согласно списку\*): 5 – железорудные, 6 – хромитовые, 7 – марганцевые, 8 – медные и медно-цинковые, 9 – свинцово-цинковые, 10 – никелевые, 11 – алюминийевые (бокситовые), 12 – золоторудные, 13 – редкометалльные, 14 – баритовые, 15 – хризотил-асбестовые, 16 – титано-магнетитовые и магнезитовые, 17 – фосфоритовые, 18 – солей, 19 – цветных камней, 20 – ископаемых углей, 21 – нефти; 22 – месторождения с подземными горными выработками, 23 – месторождения с затопленными (полностью или частично) подземными горными выработками, 24 – поверхность воды

\* Список месторождений:  
1 – Нижнеталотинское, 2 – Саурейское, 3 – Тай-Кей, 4 – Хальмер-ю, 5 – Воркутинская группа, 6 – Верхнеелецкое, 7 – Райизское, 8 – Хойлинское, 9 – Интинское, 10 – Парнокское, 11 – Дальнее, 12 – Кожимское, 13 – Устьманьинское, 14 – Второе Северное, 15 – Верхнепечорское, 16 – Первое Северное, 17 – Третье Северное, 18 – Полуночное, 19 – Ново-Шемурское, 20 – СУБР (Красная Шапочка, Кальнинское, Черемуховское), 21 – Покровское, 22 – Соликамское, 23 – Кизеловская группа, 24 – Турнинская группа, 25 – Песчанское (Северо-Песчанское), 26 – Волчанское, 27 – Богословское, 28 – Веселовское, 29 – Ауэрбаховское, 30 – Воронцовское золоторудное, 31 – Воронцовское железорудное, 32 – Серовское меднорудное, 33 – Серовское железорудное, 34 – Гусевогорское, 35 – Сарановское, 36 – Гороблагодатское, 37 – Валуевское, 38 – Осокино-Александровское, 39 – Кабанское, 40 – Красногвардейское, 41 – Ново-Левинское, 42 – Чернушенское, 43 – Богомоловское, 44 – Волковское, 45 – Высокогорское и Естюнинское, 46 – Лебяженское, 47 – Им. III Интернационала, 48 – Левихинское, 49 – Карпушинское, 50 – Ломовское, 51 – Ежовское (Ново-Ежовское), 52 – Липовское, 53 – Сафьяновское, 54 – Малышевское, 55 – Мурзинская группа, 56 – Буланашское, 57 – Алапавское, 58 – Баженовское, 59 – Березовское, 60 – Шулгинское, 61 – Пышминско-Ключевское, 62 – Дегтярское, 63 – Гумешевское, 64 – Зюзельское, 65 – Крылатовское, 66 – Первоуральское, 67 – Уфалейское, 68 – Юго-Коневское, 69 – Золотая гора, 70 – Вишневогорское, 71 – Карабашское, 72 – Кусинское, 73 – Медведское, 74 – Южно-Уральский бокситовый район (Блиново-Каменское и др.), 75 – Ильменогорское, 76 – Челябинский угольный бассейн, 77 – Бакальское, 78 – Саткинское, 79 – Тунгатаровское, 80 – Муртыкты, 81 – Верхне-Аршинское, 82 – Учалинское, 83 – Кочкарское, 84 – Астафьевское, 85 – Магнитогорское, 86 – Ярбишкадакское, 87 – Селеуское, 88 – Кужинское, 89 – Сибайское, 90 – Файзуллинское, 91 – Подольское, 92 – Калиновское, 93 – Гайское, 94 – Блявинское, 95 – Ново-Киевское, 96 – Бурибайское, 97 – Молодежное, 98 – Орское (гора Полковник), 99 – Донская группа, 100 – Восток, 101 – Киёмбаевское, 102 – Южно-Уральский угольный бассейн, 103 – Алешинское, 104 – Качарское, 105 – Соколовское, 106 – Лисаковское, 107 – Джетыгаринское

**Природные геологические процессы и связанные с ними явления.** Природные геологические процессы – важнейший ком-

понент инженерно-геологических условий Уральской инженерно-геологической провинции. Горно-складчатый Урал по своей геологи-

ческой позиции с его сложным геологическим строением, тектоникой, металлогенной, историей геологического развития, длительной

историей промышленного освоения и сопутствующей урбанизацией, характеризуется чрезвычайным разнообразием природных и техно-



Рис. 4. Вещественные инженерно-геологические комплексы Урала

природных геологических процессов (табл. 2).

Описанию эндогенных и экзогенных геологических процессов Урала посвящены многочисленные работы Абатуровой И. В., Абдрахманова Р. Д., Афанасиади Э. И., Белкина В. В., Гаева А. Я., Грязнова О. Н., Гуман О. М., Дубейковского С. Г., Дублянского В. Н., Дублянской Г. Н., Елохиной С. Н., Зотева В. Г., Катаева В. Н., Кашубина С. Н., Корнилкова М. В., Королева В. А., Круподерова В. С., Кутепова В. М., Лушникова В. В., Максимовича Г. А., Осипова В. И., Печеркина А. И., Плотникова Н. И., Попова И. В., Сашурина А. Д., Сигова А. П., Стефановского В. В., Трофимова В. Т., Хоменко В. Н., Шеко А. И., Ярового Ю. И. и многих других.

В настоящем разделе рассмотрены лишь некоторые природные процессы и связанные

с ними явления, поскольку в ограниченном объеме многоплановой статьи невозможно раскрыть все их разнообразие.

*Сейсмические процессы.* Вследствие положения Урала на стыке Европейской и Азиатской литосферных плит, регион периодически испытывает активизацию геодинамических процессов и явлений [17]. Средний Урал представляет сейсмически активный блок с проявлением среднеактивных землетрясений (рис. 6) [18]. Это объясняет повышенную аварийность магистральных газопроводов, теплотрасс, водоводов, канализационных коллекторов. Вызывает серьезные опасения близость таких объектов как Белоярская АЭС и горные работы комбината «Ураласбест», способные по своим масштабам воздействия на земную

поверхностную оболочку инициировать наведенные геодинамические явления, в том числе и в виде техногенных землетрясений.

*Выветривание* – многофакторный процесс, протекающий повсеместно во всех ландшафтно-климатических зонах Урала. Он

**Гранулометрический состав связных грунтов покровных отложений**

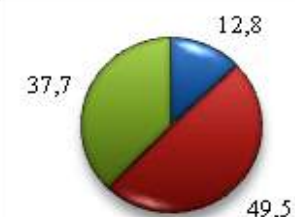
элювиальные Главного Уральского региона



элювиальные Восточно-Уральского региона

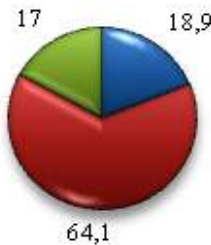


элювиально-делювиальные Восточно-Уральского региона

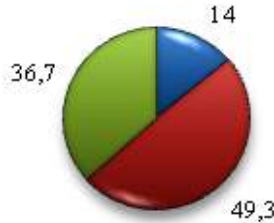


**Гранулометрический состав делювиальных грунтов покровных отложений**

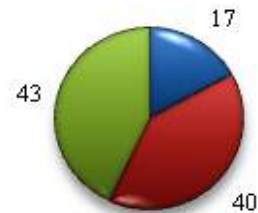
Центрально-Уральский регион



Главный Уральский регион

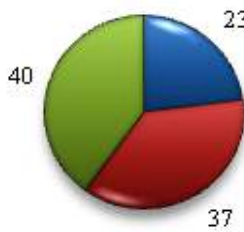


Зауральский регион

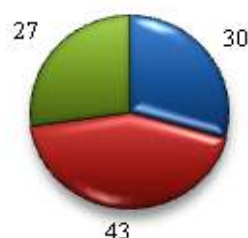


**Гранулометрический состав грунтов покровных отложений Зауральского региона**

аллювиальные грунты



озерно-аллювиальные грунты



озерно-болотные грунты

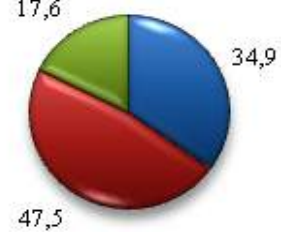
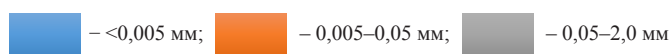


Рис. 5. Гранулометрический состав связных грунтов Урала (по Грязнову О. Н. и Рубан Н. В.):



зависит от климатических, геолого-геоморфологических, структурно-тектонических и вещественных факторов, и осуществляется под воздействием на горные породы воды, кислорода воздуха в условиях вариации температуры и атмосферного давления. В зависимости от сочетания факторов и агентов выветривания в условиях конкретных территорий

оно проявляется в качестве физического и (или) химического выветривания. Процессы дезинтеграции и минеральных замещений являются основой образования рыхлых отложений всех генетических типов. В результате длительного развития химического выветривания формируются коры химического выветривания.

На горно-складчатом Урале коры химического выветривания, согласно А. П. Сигову и Л. А. Гузовскому [7], формировались в три

тектонико-климатических этапа: ранний нижнемезозойский ( $T - J_1$ ), средний верхнемезозойский-палеогеновый (средняя юра – нижний

Таблица 2

**Опасные природные и техноприродные геологические процессы и явления Урала [19]**

Процессы	Явления	
	Природные	Техноприродные
Сейсмические	Землетрясения: разрывы, перемещения, провалы, обвалы, оползни, сход ледников, лавины	Разрушение инженерных сооружений, жилых зданий. Наведенная сейсмичность
Выветривание	Физическое и химическое выветривание горных пород. Коры выветривания	Техногенная активизация выветривания. Техногенное выветривание
Эрозионные, абразионные, флювиальные, водно-балансовые	Овражная эрозия Речная (береговая) эрозия, сели  Абразия (озерная)  Отмели, косы, острова	Техногенная активизация овражной эрозии. Техногенная активизация береговой эрозии, селей. Техногенная активизация абразии, техногенная абразия (переработка берегов водохранилищ) Изменение руслового ландшафта, ликвидация проток
Гравитационные (склоновые)	Осыпи, обвалы, оползни, лавины, солифлюкция	Техногенная активизация оползней, обвалов, лавин, солифлюкции (в т.ч. в открытых горных выработках)
Карстовые и суффозионные	Карст  Суффозия	Техногенная активизация карста, техногенный карст Техногенная активизация суффозии, техногенная суффозия
Дефляционные	Пыльные бури, смерчи	Разрушение инженерных сооружений, уничтожение почвенного слоя
Субтерральные	Переформирование напряженно-деформационного состояния массивов горных пород	Деформационные: горные удары, стрельание, осыпание, вывалы, обрушения горных пород, сдвигения, провальные зоны обрушения. Прорывы поверхностных, подземных вод и пльвунов; выброс газа, суффозии, подземные пожары
Гидролитогенные	Нарушение гидрогеологических условий	Локальные, региональные воронки депрессии, осушение массивов горных пород, мульды оседания поверхности, истощение подземных вод. Повышение уровня подземных вод, подтопление, заболачивание. Нарушение фильтрационно-гидродинамического, геотермического, гидрохимического режима
Криогенные	Бугры пучения (торфяные, минеральные)  Термокарст	Пучение с деформацией инженерных сооружений Перелетки Деградации многолетней мерзлоты с деформацией инженерных сооружений, жилых зданий. Подтопление, заболачивание. Техногенная активизация термокарста
Загрязнение окружающей среды	Природное химическое, радиоактивное загрязнение почв, грунтов, подземных и поверхностных вод химическими элементами горных пород, руд	Техногенное аэрогенное и гидрогенное загрязнение почв, грунтов, поверхностных и подземных вод «тяжелыми металлами», радионуклидами, нефтепродуктами, фенолами, минеральными и органическими соединениями; тепловое загрязнение

олигоцен, ( $J_2 - P_3^1$ ) и поздний верхнепалеогеновый (средний-верхний олигоцен,  $P_3^{2-3}$ ). В начальный этап формировались маломощные

каолиновые коры выветривания. Средний этап характеризуется развитием мощных кор выветривания каолинового и отчасти латерит-

ного профиля. Позднему этапу свойственны маломощные коры выветривания каолиново-гидрослюдистого состава. Плиоцен – четвертичный (N<sub>2</sub>-Q) тектоно-климатический этап

геологического развития Урала отличается повсеместным проявлением физического выветривания. Естественно, при эрозионном вскрытии кор химического выветривания

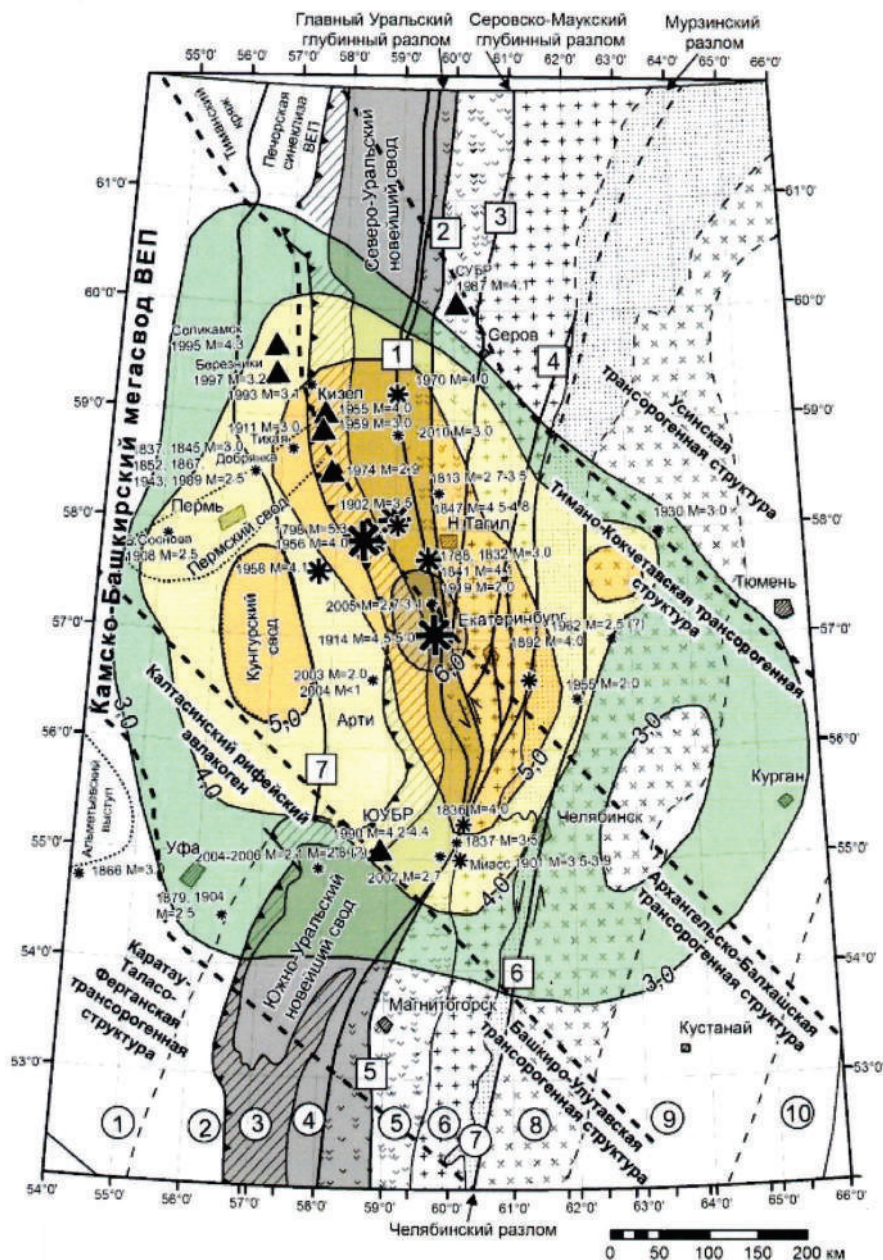


Рис. 6. Схема изолиний (изосейст) наибольших зафиксированных сейсмических сотрясений в баллах шкалы MSK-64 в центральной части Уральского региона за 1788–2010 гг., совмещенная с фрагментом тектонической карты Урала (под ред. И. Д. Соболева). Составил А. Н. Гуляев. Институт геофизики УрО РАН, 2012. Компьютерная графика А. Ю. Осиповой [18]

различного возраста происходило наложение более поздних экзогенных процессов. В этой связи изученные коры химического выветривания на современном эрозионном срезе, по сути, представляют собой полигенетические образования.

На Урале при изучении инженерно-геологических условий строительства в процессе инженерно-геологических изысканий в разрезе коры выветривания выделяются три зоны: трещинная, обломочная и дисперсная. Каждая зона, в свою очередь, подразделяется

на горизонты или подзоны.

Мощности кор выветривания зависят не только от климатических, геолого-геоморфологических и структурно-тектонических факторов, но и от состава и генезиса исходных горных пород коренной основы. Исследования многих специалистов Урала свидетельствуют, что наиболее мощные коры с полным профилем зональности формируются по вулканогенным и вулканогенно-осадочным комплексам палеозойских пород. Более устойчивы к химическому выветриванию интрузивные горные породы.

*Гравитационные (склоновые) процессы* и связанные с ними явления (оползни, обвалы, осыпи, солифлюкция), протекающие на крутых склонах в бортах речных долин, в бортах карьеров, на отвалах горных пород, дорожных насыпях, представляют серьезную опасность.

Они могут быть обусловлены различными факторами: водонасыщением пород и изменением их свойств, абразией, эрозией, суффозией, сейсмическими факторами (землетрясениями природными и наведенными, взрывами, ударными нагрузками), подрезкой склонов, их нагружением и пр. Проявлены на большинстве карьеров при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом (Гайском, Учалинском, Высокогорском, Коркинском, Асбестовском, Мочаловском и др.), на Волковском водохранилище на р. Исеть (г. Каменск-Уральский) и других районах.

Особое значение среди природных опасностей и катастроф занимают *карстовые и суффозионные процессы* [6, 19–21]. В Уральском складчатом поясе они выявлены и исследованы в районах развития карбонатных, сульфатных и соленосных горных пород. Карбонатный карст свойствен известнякам и доломитам восточного склона. В ангидритах, гипсах и известняках западного склона развивается сульфатный и карбонатный карст. Галоидный (соляной) карст характерен для районов распространения соленосных толщ Предуральского краевого прогиба. Многочисленные районы развития карбонатного и сульфатного карста с определенным допу-

щением можно объединить в четыре карстовые области: Северо-Уральскую и Восточно-Уральскую на восточном склоне Урала, Западно-Уральскую и Южно-Уральскую – на западном склоне.

*Северо-Уральская карстовая область* занимает площадь около 15 тыс. км<sup>2</sup>, пересекает долины рек Ивдель, Сосьва, Вагран, Тура, Кавка и Лобва. Наиболее закарстована верхняя часть массивов известняков до глубины 60 м, реже до 150 м. Поверхностные формы карста представлены понорами, воронками, суходолами, пещерами, бессточными котловинами. Воронки достигают в диаметре 20–30 м, реже до 100 м, глубина до 20 м. На СУБРе при осушении месторождений сформировалась техногенная зона аэрации глубиной более 500 м. Ее объем 22 км<sup>3</sup>, из нее извлечено 210 млн м<sup>3</sup> воды. Водоприток в подземные выработки достигает 23 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Откачка подземных вод привела к резкому оживлению карстово-суффозионных процессов. За сорокалетний период разработки Североуральских месторождений средний коэффициент закарстованности на площади 186 км<sup>2</sup> увеличился с 28 до 32 карстовых форм на 1 км<sup>2</sup>. В январе 2003 г. В Краснотурьинске в карстовую полость провалилось бетонное русло р. Турьи, что привело к частичному затоплению отработанного карьера и ограничению водоснабжения Богословского алюминиевого завода. Для ликвидации последствий этой чрезвычайной ситуации потребовалось 300 млн руб. [19].

*Восточно-Уральская область* приурочена к Восточно-Уральскому поясу поднятий и сопряженных прогибов в пределах Алапаевско-Теченского и Копейско-Брединского мегасинклинориев общей протяженностью свыше 600 км и отчасти к Зауральскому поясу прогибов и остаточных поднятий (Э. И. Афанасиади, О. Н. Грязнов и др., 2003). Здесь в Махневском, Коптеловском, Алапаевском, Буланашском, Сухоложско-Каменском, Усть-Багарякском, Аргаяшском, Копейско-Коркинском, Долгодеревенском и других районах выделены участки развития как подземных, так и поверхностных форм карста. Закарстованность определяет условия разработки



железородных, угольных месторождений, известняков, условий эксплуатации Транссибирской магистрали на перегоне ст. Баженково – Богданович – Камышлов, трассы Южно-Уральской железной дороги Екатеринбург – Каменск-Уральский – Челябинск, трассы Екатеринбург – Каменск-Уральский – Курган.

*Западно-Уральская область* объединяет карстовые районы Западно-Уральского пояса линейной складчатости и Предуральского краевого прогиба в границах Свердловской области (бассейны рек Чусовой и Уфы) и Пермского края (бассейны рек Чусовой и Сылвы). Интенсивная закарстованность известняков Билимбаевского района на правом берегу р. Чусовой представляет серьезную опасность движения по северной ветви (Екатеринбург – Пермь) Транссибирской железнодорожной магистрали, особенно вблизи Галкинского карьера флюсовых известняков с водопритоками до 5–6 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Активное развитие карста в карбонатных массивах долины р. Уфы Красноуфимского района определяет повышенную опасность движения по южной ветви Транссибирской магистрали (Екатеринбург – Казань). Бассейн р. Сылвы с высокой закарстованностью сульфатно-карбонатного разреза опасен для железнодорожного транспорта на продолжении северной трассы. Карбонатный карст долины р. Чусовой Пермской части Западно-Уральского региона и сульфатно-карбонатный карст долины р. Сылвы прилегающих разрезов Предуральского прогиба осложняют движение по Горнозаводской (Нижний Тагил – Пермь) железной дороге.

*Южно-Уральская карстовая область* в нашем представлении объединяет 15 карстовых районов Башкирской части Южного Урала, принадлежащих Западно-Уральскому, Центрально-Уральскому и Главному Уральскому регионам. Карст карбонатный покрытый, а в пределах Прибельского и Белорецкого районов и перекрытый. В представлении Абдрахманова Р. Ф. и др. карстовые районы принадлежат 5 карстовым областям и 3 карстовым провинциям (Западно-Уральской, Центрально-Уральской и Тагило-Магнито-

горской). Карст развивается в известняках и доломитах девона–нижнего карбона горной части Урала, а также в линзах известняков среди эффузивов силура и девона Тагило-Магнитогорского прогиба. Закарстованность неравномерная. Количество воронок составляет в среднем от 10 на 1 км<sup>2</sup> на междуречьях до 30–40 на эрозионных склонах и в долинах. Карстовые формы разнообразны – воронки, пещеры, суходолы, шахты, провалы. Примечательной особенностью закарстованности Южного Урала является наличие огромных и глубоких пещер. В их числе крупнейшие – Капова пещера, пропасть Сумгат и др. Встречаются карстовые полости, к которым приурочены месторождения огнеупорных глин и мезозойских бокситов [22].

*Криогенные процессы* развиты в северной части территории в зоне развития многолетней мерзлоты. С криогенными процессами связано образование макро- и микроформ рельефа: солифлюкционные (нагорные) террасы, полигональные грунты и бугры пучения. К этой зоне приурочены снежники, небольшие каровые ледники (более 100 ледников общей площадью свыше 30 км<sup>2</sup>). Отмечены лавиноопасные участки. С морозным выветриванием связано образование крупнообломочного материала (каменные поля, курумы).

Освоение минерально-сырьевых ресурсов Полярного и Приполярного Урала инициирует проблему техногенной деградации многолетнемерзлых пород и ее роли в трансформации инженерно-геологических условий при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Вскрытие ММП провоцирует развитие гравитационных явлений в бортах карьеров (месторождение хромитов Центральное, золота – Новогоднее Монто и Петропавловское) [19].

**Гидрогеологические условия региона.** Согласно схеме гидрогеологического районирования на Урале и сопредельных территориях выделяются четыре крупных бассейна подземных вод первого порядка: Восточно-Русский и Предуральский артезианские, Большеуральский сложный бассейн трещинно-пластово-блоковых вод, Западно-Сибирский артези-

анский бассейн [24]. Вследствие различий условия формирования ресурсов и запасов природных обстановок, в каждом из бассейнов подземных вод, вскрытия и отработки месторождений твердых полезных ископаемых.

Таблица 3

**Главные типы рудоносных метасоматических формаций и их металлогеническая специализация [23]**

Формации	Металлогеническая специализация
<b>1. МАГМАТОГЕННЫЕ ФОРМАЦИИ</b>	
<i>1.1. Плутоногенные</i>	
<i>1.1.1. Послеинтрузивные контактовые</i>	
Магнезиальных скарнов	Fe, B, флогопит, Mo, W, Sn, Be, Pb, Zn, Cu, Au
Известковых скарнов	Fe, Cu, Co, As, Au, W, Mo, Pb, U, драгоценные и цветные камни
Фенитовая	TR, Nb, Ta, Zr, U, Th
<i>1.1.2. Послемагматические</i>	
Полевошпатовых метасоматитов	Ta, Nb, Be, Li, Cs, драгоценные и цветные камни
Альбититовая (апогранитная)	Ta, Nb, TR, Zr, Be, Sn, W
Грейзеновая	Mo, W, Sn, Be, Li, Cs, драгоценные камни
Кварц-турмалин-хлоритовых метасоматитов	Sn, Mo, Cu, Au
Серпентинитовая	Хризотил-асбест
Щелочных полевошпатовых метасоматитов	Nb, Ta, TR, Zr
Альбититовая (апомиаскитовая)	Nb, Ta, (TR)
Уралитовая	Fe, Ti, V, Pt, Pd, Cu, Ni
<i>1.2. Плутоногенно-вулканогенные послемагматические</i>	
Пропилитовая	Fe, Cu, Mo, Zn
Оксеталитовая	Cu, Mo, Au, Sn, Pb, Zn, Ag
Лиственит-березитовая	Au, U, Mo, Pb, Zn, Ba, Sb, Hg, горный хрусталь, драгоценные и цветные камни
Гумбеитовая	W, Au, U
Эйситовая	Au, U, Pb, Zn, Ba, Pb, Zr
Гидрослюдистых метасоматитов	U, Pb, Zn, Ag
Аргиллизитовая	Au, Ag, U, Mo, W, Be, Hg, Sb, драгоценные и цветные камни
Карбонатитовая	Nb, Ta, Zr, TR, P, Th, U, флогопит (вермикулит), Cu, Mo, Zn
<i>1.3. Вулканогенные послемагматические</i>	
Аргиллизитовая сольфатарно-фумарольная	S, бентонит, каолинит
Вторичных кварцитов	Cu, Mo, S, Al, Au, Sb, Hg
Кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов	Cu, Zn, Pb, S (колчеданы)
<b>2. МЕТАМОРФОГЕННЫЕ ФОРМАЦИИ</b>	
<i>2.1. Формации, связанные с сиалическим плутонометаморфизмом и сопряженным зональным региональным метаморфизмом подвижных поясов</i>	
Мусковит-полевошпатовых метасоматитов	Полевые шпаты, мусковит
Гематит-магнетит-кварцевая	Fe
Кианит-(силлиманит)-мусковит-кварцевая	Al, мусковит
Антофиллитовая	Антофиллит-асбест
Рутил-кварцевая	Ti
Родонитовая	
Тальк-магнезитовая	
Кварцевожильная хрусталеносная	
Углеродистых метасоматитов	Au, Cu, Pb, Zn, Mn, P
Кварц-слюдистых метасоматитов	Au
<b>3. ПОЛИГЕННЫЕ ФОРМАЦИИ</b>	
Железо-магнезиальных карбонатных метасоматитов	Fe, Mg, Cu

Для Восточно-Русского и Предуральского артезианских бассейнов характерны платформенные условия формирования подземных вод в мощной (до 2 км) осадочной толще палеозоя, этажное расположение водоносных горизонтов и комплексов, четкая вертикальная гидродинамическая и гидрохимическая зональность. Наряду с пресными гидрокарбонатными водами значительно распространены воды с повышенным содержанием сульфатов и повышенной общей жесткостью.

В Уральской системе бассейнов распространены трещинные, трещинно-жильные и трещинно-карстовые безнапорные водоносные горизонты и комплексы, воды которых, как правило, формируются в границах поверхностных водосборов, образуя небольшие бассейны стока. Водоносность связана с двумя видами трещиноватости. Первый представляет собой региональную зону трещиноватости пород в коре выветривания. Мощность ее варьирует от 30–50 м в интрузивных и метаморфических комплексах до 80–100 м, редко более – в карбонатных породах. По этой зоне в естественных условиях осуществляется подземный сток к зонам разгрузки, совпадающим с долинами рек и эрозионными врезами. Второй вид трещиноватости представляют линейные зоны тектонических нарушений, контактов разнородных пород, жильных полей. Мощность таких зон достигает 150–200 м, по простиранию они нередко прерывисты, выражены в рельефе, сопровождаются развитием линейных кор выветривания. Эти зоны обычно являются объектами поисков, разведки, строительства водозаборов. Интенсивный водообмен определяет развитие пресных и ультрапресных вод. В западной части бассейна состав подземных вод нарушается за счет подтока соленых и солоноватых вод Предуральского артезианского бассейна.

Западная окраина Западно-Сибирского артезианского бассейна по гидрогеологическим условиям представляет двухэтажную структуру. Верхний этаж, перекрывающий северные структуры Восточно-Уральского и Зауральского регионов, сложен морскими

и континентальными отложениями мела и палеогена – голоцена. Для него характерны платформенные условия формирования горизонтов и комплексов подземных вод в осадках олигоцен-четвертичного возраста, палеогена и верхнего мела. Нижний этаж, образующий фундамент бассейна, сложен дислоцированными палеозойскими и нижнемезозойскими породами, представляя восточную, погребенную часть Уральского складчатого пояса. Для бассейна в целом свойственна неравномерная водообильность пород основных водоносных комплексов, сложные условия гидравлической взаимосвязи их между собой в единой водоносной системе артезианского бассейна, сложные гидрохимические условия.

**Природное загрязнение территорий (природной среды).** В опубликованной литературе и официальных документах экологического содержания при характеристике химического и радиоактивного загрязнения окружающей среды рассматриваются техногенные источники – выбросы в атмосферу, стоки и твердые отходы и т. п. При этом не учитывается вероятность природного загрязнения ингредиентов природной среды. В то же время природные источники оказывают существенное влияние на экологическое состояние среды. К ним с периодическим или постоянным воздействием относятся: вулканические извержения, пыльные бури и смерчи, газы нефтяных, газовых, угольных и рудных месторождений, химические элементы руд и окорудных метасоматических пород месторождений твердых полезных ископаемых, поверхностные и подземные воды аномального состава, космические источники и др. [25]. Не касаясь всего перечня природных источников, рассмотрим роль химических элементов руд и окорудных пород на примере месторождений Урала.

Эндогенные месторождения Урала относятся к 62 типам рудных формаций, принадлежащим 29 рудоносным метасоматическим формациям [12]. Рудные тела эндогенных месторождений сопровождаются эндогенными геохимическими ореолами элементов-индикаторов, входящих в состав рудных тел.

Размеры эндогенных ореолов в n-по раз превышают размеры рудных тел. Запасы химических элементов в ореолах, как правило, сопоставимы с их запасами в рудных телах [26]. При вскрытии месторождений эрозионными процессами химические элементы рудных тел и эндогенных ореолов формируют вторичные остаточные (в коре выветривания) и наложенные (в перекрывающих покровных отложениях) ореолы рассеяния в твердой, жидкой, газовой и биогенной фазах (литогидро-, атмо- и биогеохимические) ореолы и потоки рассеяния. Их масштабы во много раз превышают размеры рудных тел, образуя химическое и радиоактивное загрязнение ингридиентов окружающей среды. Состав основных химических элементов – загрязнителей эндогенных месторождений Урала можно видеть из табл. 3, а с их полным составом ознакомиться в работах [25, 27].

Итак, многолетние исследования геоло-

гии, металлогении, инженерной геологии, гидрогеологии Урала позволили выявить региональные геологические факторы, ответственные за формирование инженерно-геологических условий региона.

Региональные геологические факторы, определяющие инженерно-геологические особенности Уральского складчатого пояса, включают: геологическое строение, тектонику, историю геологического развития; региональный метаморфизм; флюидно-гидротермальные рудообразующие процессы; вещественные инженерно-геологические комплексы; природные геологические процессы и связанные с ними явления; гидрогеологические условия; природное загрязнение территории (природной среды).

Совокупное проявление региональных геологических факторов в пределах Уральской инженерно-геологической провинции обуславливает инженерно-геологическую зональность регионов – областей – подобластей – районов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов И. В. Инженерная геология СССР. Т. 1. Общие основы региональной инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1961. 178 с.
2. Ломтадзе В. Д. Словарь по инженерной геологии. СПб: СПбГИ, 1999. 360 с.
3. Трофимов В. Т. Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 348 с.
4. Ожегов С. И. Словарь русского языка. 2-е изд., испр. и доп. М.: Гос. изд-во ин. и нац. словарей. 1952. 848 с.
5. Геологическое строение и металлогения Урала / К. К. Золоев [и др.]. М.: Недра, 1961. 256 с.
6. Грязнов О. Н., Дубейковский С. Г. Закономерности формирования инженерно-геологических условий месторождений Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1995. 32 с.
7. Комплексное геолого-геоморфологическое картирование Урала с целью поисков гипергенных полезных ископаемых / А. П. Сигов [и др.]. Свердловск: Изд-во Саратовского ун-та, 1968.
8. Грязнов О. Н. Рудоносные метасоматические формации зон тектоно-магматической активизации Урала // Геология метаморфических комплексов. Екатеринбург: УГИ, 1991. С. 57–66.
9. Геология СССР. Т. XII. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. 1. Геологическое описание. Кн. 1 / под ред. А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1969. 723 с.
10. Золоев К. К. Рудные формации в геологической истории Урала / К. К. Золоев [и др.] // Геодинамика и металлогения Урала. Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 1991. С. 51–57.
11. Стефановский В. В. Плиоцен и квартер Урала и Зауралья. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. 223 с.
12. Грязнов О. Н., Золоев К. К., Ляхович Э. М. Картирование рудоносных метасоматитов. М.: Недра, 1994. 271 с.
13. Геологические типы метаморфизма в региональных структурах Урала (объяснительная записка к Карте типов и фаций метаморфизма Урала, М 1:1 000 000). Г. А. Кейльман [и др.]. Екатеринбург: УГСЭ, 1991. 60 с.
14. Кейльман Г. А. Мигматитовые комплексы подвижных поясов. М.: Недра, 1994. 271 с.
15. Прокин В. А. Полезные ископаемые Урала // Природа Урала. Вып. 10. Екатеринбург, 2002. 253 с.
16. Елохина С. Н. Гидрогеоэкологические исследования горного техногенеза на Урале / науч. ред. О. Н. Грязнов. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. 187 с.
17. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона / под ред. В. И. Уткина. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 124 с.
18. Гуляев А. Н., Осипова А. Ю. Сейсмичность Среднего Урала и строительство в регионе // Изв. вузов. Архитектон. № 43. 2013. С. 1–23.
19. Грязнов О. Н. Природные и техноприродные опасности и риски Урала // Изв. вузов. Горный журнал. № 1. 2012. С. 47–50.
20. Грязнов О. Н. Актуальные гидрогеологические, инженерно-геологические и геоэкологические проблемы Урала // Изв. УГГУ. Вып. 24. 2010. С. 28–33.
21. Природные, природно-техногенные опасности и риски Уральского федерального округа, пути их предо-

твращения и минимизации последствий / О. Н. Грязнов [и др.] // Сергеевские чтения. Вып. 6. М.: ГЕОС, 2004. С. 125–129.

22. Карст Башкортостана / Р. Ф. Абдрахманов [и др.]. Уфа: Информреклама, 2002. 383 с.

23. Грязнов О. Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992. 256 с.

24. Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии при разведке и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых на Урале / И. В. Абатурова [и др.] // Изв. УГИ. Вып. 2. 1993. С. 189–193.

25. Грязнов О. Н. Природные источники загрязнения природной и окружающей среды // Изв. УГГУ. Вып. 2 (34). 2014. С. 11–17.

26. Вершинин А. С., Грязнов О. Н., Чесноков В. И. Теоретические основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2000. 201 с.

27. Грязнов О. Н. Гидротермально-метасоматические и рудные формации Урала как источник природного загрязнения окружающей среды // Экологическая безопасность горно-промышленных регионов: Тр. II междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. С. 82–88.

Поступила в редакцию 25 августа 2014 г.

**Грязнов Олег Николаевич** – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30. E-mail: Gryaznov.O@ursmu.ru