

УДК 624.131.8

ФАКТОРЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УРАЛА. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ

Грязнов О. Н.

Рассмотрены физико-географические и техногенные факторы инженерно-геологических условий Урала. Первые включают: орографию, гидрографию, ландшафты, климат, мерзлотные условия. К техногенным относятся факторы промышленного и сельскохозяйственного техногенеза, урбанизации территорий, техногенных и техноприродных геологических процессов, техногенного химического и радиоактивного загрязнения природной среды.

Ключевые слова: физико-географические факторы; техногенные факторы; инженерно-геологические условия; техногенез; процессы; загрязнение; природная среда.

Инженерно-геологические условия Уральского складчатого пояса, помимо региональных геологических факторов, во многом определяются физико-географическими и техногенными факторами.

Природные условия Урала при его протяженности по меридиану свыше 2000 км от степей северо-западного Казахстана до Байдарачьей губы Карского моря Северного Ледовитого океана существенно различаются в зависимости от географического положения конкретных территорий. Расчлененность рельефа, обводненность территории, характер ландшафтов, количество осадков, изменение температур, мерзлотные условия в плейстоцен-современный период определили формирование инженерно-геологических условий региона.

Горнопромышленный техногенез на протяжении длительной эксплуатации многочисленных месторождений разнообразных полезных ископаемых, сопутствующее развитие других отраслей промышленного и сельскохозяйственного производства, урбанизация территорий обусловили формирование на Урале провинциальной геоэкологической поясовой зональности [1]. Последняя связана с минерагенической специализацией и промышленным освоением объектов в пределах региональных структур. Предуралье специализировано на горно-химическое сы-

рье и уголь; синклинорные структуры горно-складчатого Урала – на железо, медь, цинк, хром, никель, марганец, золото, платиноиды, алюминий; антиклинорные структуры – на редкие металлы, редкие земли, молибден, олово, вольфрам, нерудное сырье; наложенные структуры восточного склона – на уголь и железо. Во всех региональных структурах разрабатываются строительные материалы. Промышленное освоение региона и его урбанизация ответственны за техногенные факторы формирования инженерно-геологических условий Урала.

Физико-географические факторы¹

Орография. Система низко-среднегорных хребтов Урала протянулась в меридиональном – субмеридиональном направлении между двумя платформенными равнинами: Восточно-Европейской на западе и Западно-Сибирской на востоке от южной границы России до Северного Ледовитого океана. С запада и востока она ограничена полосами предгорий. Система представляет собой серию параллельно вытянутых хребтов в соответствии с простираем региональных геологических структур. Количество хребтов варьирует от 2–3 на севере до 6–8 на юге. Хребты и увалы разделены понижениями, представленными долинами рек. Как правило, хребты соответствуют антиклинорным структурам, а понижения – синклинорным [2].

¹ Раздел написан по материалам [2, 3].

Уральские горы невысокие, лишь отдельные их вершины превышают 1500 м. Вдоль горных хребтов наблюдаются чередования повышенных и пониженных участков рельефа. Это позволяет выделить в пределах Урала несколько орографических областей, следующих с севера на юг.

Полярный Урал начинается от горы Константинов Камень и заканчивается у верховьев реки Хулги. Хребты имеют здесь юго-западное простирание, средние высоты 600–800 м, но отдельные вершины поднимаются выше 1000 м. Наивысшая точка – гора Пайер (1492 м) (рис. 1).



Рис. 1. Орографическая схема Урала

Приполярный Урал расположен между верховьями реки Хулги и широтным отрезком реки Щугор. Это наиболее высокая часть Урала – горный узел, в пределах которого горная система меняет направление с юго-западного на субмеридиональное. Он представлен крупными разобщенными массивами. Несколько вершин имеют высоты более 1600 м: гора Карпинского (1662 м), Неройка (1646 м), Колокольня (1649 м). Здесь находится высшая точка Урала – гора Народная (1895 м).

Северный Урал начинается горой Тэльпозиз и заканчивается Конжаковским Камнем (1569 м). Высота хребтов меньше, чем в Приполярном Урале, и составляет в среднем до 1000 м, но в северной и южной частях возрастает.

Средний Урал протягивается до горы Юрма. Это наиболее пониженная часть гор. Средние высоты здесь составляют 500–600 м. Лишь гора Ослянка в северной его части достигает 1119 м, все остальные вершины ниже 1000 м. Горы образуют дугу, слегка выгнутую к востоку.

Южный Урал начинается от горы Юрма и протягивается до южных границ России. Это самая широкая и вторая по высоте часть гор. Хребты в северной части наиболее высоки (до 1200–1600 м) и имеют юго-западное простирание, которое к югу сменяется меридиональным. К югу горы снижаются. Высшие точки – горы Ямантау (1638 м) и Ирмель (1582 м) [2].

Общей чертой рельефа Урала является асимметричность его западного и восточного склонов. Западный склон пологий, переходит в Восточно-Европейскую равнину более постепенно, чем восточный, круто опускающийся в сторону Западно-Сибирской равнины. Асимметрия Урала обусловлена тектоникой, историей его геологического развития.

С асимметрией связана другая орографическая особенность Урала – смещение главного водораздельного хребта, отделяющего реки Восточно-Европейской равнины от рек Западной Сибири, на восток, ближе к Западно-Сибирской равнине. Этот хребет в разных частях Урала носит разные названия: Урал-

тау на Южном Урале, Поясовый Камень на Северном Урале. При этом он почти везде не самый высокий; наибольшие вершины, как правило, лежат западнее его. Подобная гидрографическая асимметрия Урала есть результат повышенной «агрессивности» рек западного склона, вызванной более резким и быстрым по сравнению с Зауральем поднятием Предуралья в неогене [3].

Господствующим типом морфоструктур Урала являются возрожденные складчатоглыбовые горы на допалеозойском и палеозойском основании. Есть морфоструктуры, переходные от складчатых к платформенным областям: плоскогорья (Южно-Уральский пенеплен) и цокольные равнины (Зауральский пенеплен). Платформенные структуры представлены пластовыми равнинами Предуральского краевого прогиба и плато (Зауральское плато).

Характерной особенностью рельефа Урала является наличие древних поверхностей выравнивания, поднятых на разную высоту. Поэтому здесь преобладают плосковершинные или куполовидные хребты и массивы, независимо от их высоты.

В наиболее высоких частях гор активны современные гольцовые процессы (морозное выветривание, солифлюкция с образованием курумов). Вершины покрыты россыпями камней (каменные моря), подчас языками, спускающимися вниз по склонам (каменные реки). Плащ обломочного материала достигает 2–5 м мощности. На склонах развиты гольцовые нагорные террасы, которые придают ступенчатость склонам. Высота нагорных террас колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров, ширина – от 20–30 до 200–300 м, а длина – от десятков метров до 1,5–2 км. Часто мелкие террасы осложняют уступы крупных.

Ледниковые (альпийские) формы рельефа на Урале характерны лишь для наиболее приподнятых частей Приполярного и Полярного Урала, где есть современное оледенение, но древнеледниковые кары, цирки и висячие долины встречаются и на Северном Урале вплоть до 61° с. ш.

Для западного склона и Предуралья, а также восточного склона характерны карстовые формы рельефа. Это и многочисленные воронки, и сухие долины, и пещеры. Крупными пещерами являются Дивья, Капова, Салаватская, Аскинская и др.

Климатические особенности и орографические условия способствуют развитию на Полярном и Приполярном Урале, между 68 и 64° с.ш., малых форм современного оледенения. Здесь насчитывается 143 ледника, а их общая площадь составляет чуть более 28 км², что свидетельствует об очень малых размерах ледников. Основными их типами являются каровые (2/3 общего числа) и прислоненные (присклоновые). Есть карово-висячие и карово-долинные. Самыми крупными из них являются ледники ИГАН (площадь 1,25 км², длина 1,8 км) и МГУ (площадь 1,16 км, длина 2,2 км) [2].

Гидрография. Реки Урала принадлежат к бассейнам Печоры, Волги, Урала и Оби, т.е. соответственно Баренцева, Каспийского и Карского морей. Величина речного стока на Урале значительно больше, чем на прилегающих Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнинах. Горный рельеф, увеличение осадков, снижение температуры в горах благоприятствуют увеличению стока, поэтому большинство рек и речек Урала рождаются в горах и стекают по их склонам к западу и востоку на равнины Предуралья и Зауралья. На севере горы являются водоразделом между речными системами Печоры и Оби, южнее – между бассейнами Тобола, принадлежащего также к системе Оби, и Камы – крупнейшего притока Волги. Крайний юг территории относится к бассейну реки Урал, а водораздел смещается на равнины Зауралья [2].

Многие реки заложились еще в период нисходящего развития гор и формирования древней поверхности выравнивания. Они были приурочены к синклинальным прогибам, к полосам более мягких, податливых к разрушению пород, поэтому имели общеуральское, субмеридиональное направление. В период активизации неоген-четвертичных движений, образования разломов и диффе-

ренцированных поднятий преимущественно небольшой амплитуды заложены поперечные отрезки речных долин, приуроченные к разломам или понижениям осей антиклинальных складок. Поэтому многие реки Урала имеют коленчатый рисунок: Урал, Сакмара, Белая, Ай, Косьва, Вишера, Печора, Илыч, Щугор и др. В продольных понижениях они имеют широкие долины, а при пересечении горных хребтов – узкие и крутосклонные.

Реки восточного склона Северная Сосьва, Пелым, Сосьва, Тавда, Тура, Пышма, Исеть, Уй и их притоки (бассейн Оби) короче и сильнее врезаны. Они имеют до трех-четырех террас, тогда как более древние реки западного склона в Предуралье насчитывают до четырех-пяти террас.

Для Урала характерно увеличение стока с юга на север вплоть до Полярного Урала. Наибольший сток наблюдается на западном склоне Приполярного и Полярного Урала (до 40 л/сек/км²), на восточном склоне гор он существенно ниже. В юго-восточном Зауралье резко снижается и составляет всего 1–3 л/сек/км².

В соответствии с распределением стока реки западного склона многоводнее, чем восточного. На их долю приходится 74 % от общего годового стока со всей территории Урала. Наиболее разветвлена и многоводна речная сеть бассейна Камы. Многоводны также стекающие с Урала притоки Печоры.

В питании рек принимают участие снеговые (до 70 % расхода), дождевые (20–30 %) и подземные воды (обычно не более 20 %). Значительно возрастает (до 40 %) участие подземных вод в питании рек в карстовых районах. Важной особенностью большинства рек Урала является сравнительно небольшая изменчивость стока от года к году. Отношение стока наиболее многоводного года к стоку самого маловодного обычно колеблется от 1,5 до 3.

Озера на Урале распространены очень неравномерно. Наибольшее их количество сосредоточено в восточных предгорьях Среднего и Южного Урала, где преобладают тектонические озера; в горах Приполярного и

Полярного Урала многочисленны каровые озера. На Зауральском плато распространены суффузионно-просадочные озера, а в Предуралье встречаются карстовые. Всего на Урале насчитывается более 6000 озер, каждое площадью более 1 га, их общая площадь – свыше 2000 км². Преобладают озера небольшие, крупных озер сравнительно мало. Лишь некоторые озера восточных предгорий имеют площадь, измеряемую десятками квадратных километров: Аргази (101 км²), Увильды (71 км²), Иртяш (70 км²), Тургойак (27 км²) и др. Всего в бассейне реки Исеть сосредоточено более 60 крупных озер общей площадью около 800 км². Все крупные озера имеют тектоническое происхождение. Самым глубоким является озеро Большое Щучье (136 м) на Полярном Урале, тектоническая котловина которого была впоследствии обработана ледником.

Климат. Удаленность Урала вглубь материка от Атлантического океана определила континентальность его климата. Большая протяженность обусловила климатическую неоднородность Урала. Северные районы (до Полярного круга) принадлежат субарктическому климатическому поясу, остальная территория – умеренному климатическому поясу [3].

Огромная протяженность Урала с севера на юг проявляется в зональной смене типов его климата от тундрового на севере до степного на юге. Контрасты между севером и югом резко всего проявляются летом. Средняя температура воздуха в июле на севере Урала 6–8°, а на юге около 22°. Зимой эти различия сглаживаются, и средняя температура января одинаково низкая как на севере (–20°), так и на юге (–15, –16°).

Урал вытянут поперек направления господствующих западных ветров. В связи с этим его западный склон чаще встречает циклоны и лучше увлажнен, чем восточный; в среднем он получает осадков на 100–150 мм больше восточного. Так, годовая сумма осадков в Кизеле (260 м над уровнем моря) – 688 мм, Уфе (173 м) – 585 мм; на восточном же склоне в Екатеринбурге (281 м) она равна 438 мм, в Челябинске (228 м) – 361 мм. Очень на-

глядно различия в количестве атмосферных осадков между западным и восточным склонами прослеживаются зимой. Если на западном склоне уральская тайга утопает в снежных сугробах, то на восточном склоне снега всю зиму мало. Так, средняя максимальная мощность снежного покрова по линии Усть-Щугор – Саранпауль (севернее 64° с. ш.) такова: в приуральской части Печорской низменности – около 90 см, у западного подножия Урала – 120–130 см, в приводораздельной части западного склона Урала – более 150 см, на восточном склоне – около 60 см. Больше всего осадков – до 1000, а по некоторым данным – до 1400 мм в год – выпадает на западном склоне Приполярного, Полярного и северной части Южного Урала. На крайнем севере и юге Уральских гор их количество уменьшается, что связано с ослаблением циклонической деятельности.

Пересеченный горный рельеф обуславливает исключительное разнообразие местных климатов. Горы неодинаковой высоты, склоны разной экспозиции, межгорные долины и котловины – всем им свойствен свой особый климат. Зимой и в переходные сезоны года холодный воздух скатывается по склонам гор в котловины, где и застаивается, в результате чего возникает весьма распространенное в горах явление температурной инверсии [3].

Мерзлотные условия. Северная треть региона расположена в области развития многолетнемерзлых пород. Развитие мерзлоты определяется климатической зональностью и высотной поясностью. Выделены зоны сплошного и несплошного распространения многолетнемерзлых пород. По западному склону Урала (более мягкий климат) зона несплошного распространения мерзлоты прослеживается до 68° с. ш., на восточном – до Северного полярного круга. В зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород талики прослеживаются под руслами крупных рек и непромерзающими озерами. Вдоль подножия гор температура мерзлых пород снижается к северу от 0 до –5 °С. На восточном склоне Урала температура на 0,5–1,5 °С ниже, чем на западном. Наиболее охлаждены хреб-

ты. Региональное распределение температур осложняют локальные факторы: крутизна склонов, их ориентировка, состав горных пород [4].

Мощность многолетнемерзлых пород различна. В целом она возрастает на 120 м на каждые 100 км продвижения к северу от 64° с. ш., на 40–60 м с увеличением отметок рельефа на 100 м и на 50–250 м с переходом с западного склона хребта на восточный. Максимальная мощность многолетнемерзлых пород достигает на Полярном Урале 600 м, снижаясь до 100 на Северном Урале. Мерзлотный фактор является важным элементом инженерно-геологических условий региона.

Ландшафтные области Урала [3].

Тундровая и лесотундровая область Полярного Урала простирается от северной окраины Уральского пояса до 64° 30' с. ш., образуя дугу, обращенную выпуклой стороной на восток. Осевая часть Полярного Урала проходит под 66° в. д. – на 7° восточнее Северного и Среднего Урала.

Почвенно-растительный покров Полярного Урала однообразен. В его северной части равнинная тундра сливается с горной. В предгорьях расстилается моховая, лишайниковая и кустарниковая тундра, в центральной части горной области – каменистые россыпи, почти лишенные растительности. Первые низкорослые лиственничные редколесья встречаются по долинам рек восточного склона около 68° с. ш. Вблизи Полярного круга к лиственничным лесам присоединяются ельники, у 66° с. ш. начинает попадаться кедр, южнее 65° с. ш. – сосна и пихта. На горе Сабля елово-пихтовые леса сменяются лиственничными редколесьями и лугами, которые на высоте 500–550 м переходят в горные тундры.

Таежная область Северного Урала простирается от 64° 30' до 59° 30' с. ш. Начинается она сразу же к югу от горного массива Сабля и заканчивается вершиной Конжаковский Камень (1569 м). На всем этом участке Урал тянется строго по меридиану 59° в. д. На Северном Урале горы сплошь покрыты густой хвойной тайгой; безлесная тундра встречается только на изолированных хребтах и верши-

нах выше 700–800 м над уровнем моря.

Тайга Северного Урала темнохвойная. Первенство принадлежит сибирской ели; на более плодородных и дренированных почвах преобладает пихта, а на заболоченных и каменистых – кедр. Площадь сосновых лесов на Северном Урале невелика. Ландшафтное значение боры-зеленомошники приобретают лишь на восточном склоне южнее 62° с. ш. Развитию их способствует здесь более сухой континентальный климат и наличие каменистых щебенчатых почв. Лиственница Сукачева встречается редко.

Хвойно-таежная растительность Северного Урала определяет особенности его почвенного покрова. Это область распространения горно-подзолистых почв. На севере в предгорьях распространены глеево-подзолистые почвы, на юге, в полосе типичной тайги, – подзолистые. Наряду с типичными подзолами часто встречаются слабоподзолистые (скрытоподзолистые) почвы. Причиной их появления служат присутствие в поглощающем почвенном комплексе алюминия и слабая энергия микробиологических процессов. На юге области в осевой части Урала, на высоте от 400 до 800 м, развиты горно-лесные кислые неоподзоленные почвы, формирующиеся на элювии и делювии зеленокаменных пород, амфиболитов и гранитов. В разных местах на известняках девона описаны «северные карбонатные почвы», вскипающие на глубине 20–30 см.

Область южной тайги и смешанных лесов Среднего Урала ограничена широтами Конжаковского Камня на севере (59° 30' с. ш.) и горы Юрма (55° 25' с. ш.) на юге. Средний Урал хорошо обособлен орографически: Уральские горы здесь понижаются, а строго меридиональное простираение горного пояса сменяется юго-юго-восточным. Вместе с Южным Уралом Средний Урал образует гигантскую дугу, обращенную выпуклой стороной на восток и огибающую Уфимское плато – восточный выступ Восточно-Европейской платформы.

Средний Урал – это область лесного ландшафта. Леса здесь сплошь покрывают горы. Основной фон составляют еловые, елово-

пихтовые южно-таежные леса, прерывающиеся на восточном склоне хребта сосновыми борами. На юго-западе области встречаются смешанные хвойно-широколиственные леса, в составе которых много липы. По всему Среднему Уралу, особенно в его южной половине, широко распространены березняки, многие из которых возникли на месте вырубленной елово-пихтовой тайги.

Отчетливо выраженные предгорья позволяют выделить в области южной тайги и смешанных лесов Среднего Урала три ландшафтных района.

Район Среднего Предуралья занимает возвышенную (до 500–600 м) равнину – плато, густо изрезанное долинами рек. Ядром района служит Уфимское плато. Его ландшафтная особенность заключается в широком развитии карста (провальные воронки, озера, пещеры), связанного с растворением верхнепалеозойских известняков и гипса. Несмотря на повышенное увлажнение, болот мало, что объясняется хорошим дренажем. В растительном покрове преобладают южно-таежные елово-пихтовые и смешанные (темнохвойно-широколиственные) леса, местами нарушаемые островами северной лесостепи.

Центральный район Среднего Урала соответствует осевой, наиболее возвышенной части Уральских гор, характеризующейся здесь сравнительно небольшой высотой и почти сплошной облесенностью (темнохвойные и мелколиственные леса).

Район Среднего Зауралья представляет собой возвышенную равнину – пенеплен, полого опускающуюся на восток, в сторону Западно-Сибирской равнины. Поверхность его нарушается останцовыми холмами и грядами, сложенными гранитами и гнейсами, а также многочисленными озерными котловинами. В отличие от Предуралья здесь господствуют сосновые и сосново-лиственные леса, а на севере значительные площади покрыты болотами. В связи с общим усилением сухости и континентальности климата здесь дальше на север, чем в Предуралье, продвигается лесостепь, имеющая сибирский облик (с березовыми колками).

Лесостепная и степная область Южного Урала с широким развитием лесных высоких поясов занимает территорию от горы Юрма на севере до широтного участка реки Урала на юге. От Среднего Урала он отличается значительными высотами, достигающими 1582 м (гора Ирмель) и 1640 м (гора Ямантау). Как и в других местах Урала, водораздельный хребет Уралтау, сложенный кристаллическими сланцами, сдвинут к востоку и не является самым высоким на Южном Урале. Преобладающий тип рельефа среднегорный. Некоторые гольцовые вершины поднимаются выше верхней границы леса. Они плоские, но с крутыми каменистыми склонами, осложненными нагорными террасами. В последнее время на хребте Зигальга, на Ирмеле и некоторых других высоких вершинах Южного Урала обнаружены следы древнего оледенения (троговые долины, остатки каров и морены).

Южнее широтного отрезка реки Белой наблюдается общее падение высот. Здесь ясно выражен Южноуральский пенеппен – высоко приподнятая равнина со складчатым основанием, рассеченная глубокими каньонообразными долинами рек Сакмары, Губерли и других притоков Урала. На востоке осевая часть Южного Урала переходит в Зауральский пенеппен – более низкую и более сглаженную по сравнению с Южноуральским пенеппеном равнину.

Почвы и растительность на Южном Урале обнаруживают отчетливо выраженную высотную поясность. Низкие предгорья на крайнем юге и юго-востоке области одеты злаковыми степями на обыкновенных и южных черноземах. В Зауральских степях по выходам гранитов встречаются сосновые боры с березой и даже лиственницей.

Помимо степей широко распространена на Южном Урале зона лесостепи. Она занимает весь Южно-Уральский пенеппен, мелкосопочник Зауралья, а на севере области спускается и к низким предгорьям. Лесостепь неодинакова на западном и восточном склонах хребта. Для запада характерны широколиственные леса с участием липы, дуба,

остролистного клена, вяза гладкого (*Ulmus laevis*) и ильма. На востоке и в центре хребта преобладают светлые березовые рощи, сосновые боры и насаждения из лиственницы; основными борами и мелколиственным лесом занят Прибельский район.

Елово-пихтовая тайга на горно-подзолистых почвах образует третью почвенно-растительную зону. Она распространена только в северной, наиболее приподнятой части Южного Урала, встречаясь на высоте от 600 до 1000–1100 м. На самых высоких вершинах располагается зона горных лугов и горных тундр. Вершины гор Ирмель и Ямантау покрыты пятнистой тундрой. Высоко в горы, отрываясь от верхней границы тайги, идут рощи низкорослых ельников и березового криволесья.

Рассмотренные физико-географические факторы, характеризующие природные условия Урала, существенно повлияли на формирование инженерно-геологических условий региона в плейстоцен-современный период.

Техногенные факторы

Техногенные факторы, ответственные за инженерно-геологические условия Уральской провинции, чрезвычайно разнообразны. В нашем представлении их можно объединить в 5 групп: 1) промышленного техногенеза, 2) сельскохозяйственного техногенеза, 3) урбанизации территорий, 4) техногенных и техноприродных геологических процессов, 5) техногенного химического и радиоактивного загрязнения природной среды.

1. Промышленный техногенез

Промышленный техногенез охватывает совокупность процессов, происходящих в окружающей среде в связи с производственной инженерной деятельностью человека и приводящих к трансформации ее состояния и свойств. Разнообразие видов промышленной деятельности обусловило чрезвычайно широкий спектр техногенных и техноприродных геологических процессов. Обозначим лишь некоторые, наиболее важные в экологическом отношении виды промышленного техногенеза и связанные с ними процессы.

Горнопромышленный техногенез, в свя-

зи с более чем 300-летней историей промышленного освоения Урала, имеет очень большое значение. В его развитии можно выделить две стадии: активную (или прогрессивную, по Э. Ф. Емлину [5]) и пассивную, по С. Н. Елохиной [6]. Первая охватывает техногенные процессы, связанные с периодом разработки МПИ горными способами, вторая – техноприродные процессы, происходящие в

отработанном пространстве массивов горных пород после прекращения добычных работ и, как правило, затопления рудников при их мокрой консервации.

Типы техногенных процессов и связанных с ними явлений активной стадии горнопромышленного техногенеза, по Н. И. Плотникову [7], а на горнорудных объектах Урала, по С. Н. Елохиной [6], приведены в таблице.

**Техногенные процессы
и связанные с ними явления активной стадии горнопромышленного техногенеза
(по Н. И. Плотникову, с добавлениями С. Н. Елохиной*) [7, 6]**

Техногенные процессы	Связанные с ними явления	Примеры горнорудных объектов Урала*
Осушение водоносных пород надрудной и водовмещающей толщ	Истощение естественных запасов подземных вод Коренное нарушение взаимосвязи поверхностных и подземных вод Дренажирование родников, колодцев, водозаборных скважин в зоне гидродинамического влияния Нарушение структуры общего водного баланса Загрязнение поверхностных вод в результате сброса дренажных вод Существенное ухудшение общих ландшафтных условий	Практически все горнорудные объекты: СУБР, Дегтярский, Левихинский, Березовский, Пышминско-Ключевской, Гумешевский, Сибайский и др. рудники
Вторичная консолидация рыхлых пород	Деформация поверхности и, как следствие, деформация подземных коммуникаций и нередко поверхностных сооружений	Возможны на бурогольных шахтах Челябинского бассейна
Депрессионное уплотнение песчано-глинистых пород при снижении пластового давления	Деформация поверхности и, как следствие деформация шахтных стволов и околосахтных горных выработок	Данные отсутствуют
Сдвигание в массиве горных пород в зоне влияния горных выработок	Значительная деформация поверхности, подземных коммуникаций и нередко поверхностных сооружений, дорог Образование зоны техногенной трещиноватости	Практически все горнорудные объекты подземной и комбинированной систем отработки: шахты Магнетитовая и Северо-Песчанская, Дегтярский, Левихинский, Березовский, Гумешевский, Крылатовский и др.
Суффозионные и суффозионно-карстовые процессы, формирующиеся при осушении водоносных карбонатных пород	Образование на поверхности провальных воронок. Деформация поверхностных и подземных сооружений в зоне влияния провальных воронок	СУБР, Высокогорское, Алапаевское и Зырянское железорудные месторождения
Внезапный прорыв рудничных вод, формирующийся под влиянием остаточного гидростатического напора	Деформация и затопление горных выработок, нарушение общего ритма добычных работ	Практически все горнорудные объекты с подземной отработкой
Оползневые процессы при открытой разработке месторождений, формирующиеся при слабо осушенных песчано-глинистых породах	Деформация уступов и бортов карьера. Нарушение общего ритма горных работ	Режевской никелевый рудник, ГОК «Ванадий» (Гусевгорское МПИ), Меднорудянский отработанный карьер в г. Нижний Тагил

Техногенные процессы	Связанные с ними явления	Примеры горнорудных объектов Урала*
Окисление рудной минерализации и органических веществ в осушенных породах техногенной зоны аэрации	Ухудшение качества рудничных вод, их химическое загрязнение, возможно формирование агрессивных кислых вод Вторичное минералообразование (семиводные минералы типа мелантерита) и их накопление в трещинах техногенной зоны аэрации*	Все медноколчеданные месторождения Урала [5]
Техногенные процессы	Связанные с ними явления	Примеры горнорудных объектов Урала*
Взаимодействие осушительных устройств и водозаборных сооружений предприятия	Снижение общей производительности водозабора, требующее нередко строительства нового каптажного сооружения Ухудшение качества воды на водозаборе при остановке рудника и затоплении выработок*	Пышминско-Ключевской и Березовский рудник, Липовский никелевый рудник
Пучение глинистых пород в подземных горных выработках	Деформация горных выработок, требующая специального крепления	Данные отсутствуют
Горные удары и техногенные землетрясения при освоении месторождений в сложных геолого-структурных условиях	Деформация и обрушение горных выработок	СУБР
Подземные пожары*	Повышенное газообразование. Изменение температуры горных пород*	Дегтярский, Ленеvский и др. медноколчеданные рудники

Прокомментируем субтерральные процессы.

Субтерральные процессы, связанные с подземными горными работами, отличаются повышенной опасностью и рисками. Подземное строительство относится к категории наиболее сложных, трудоемких и дорогостоящих видов строительной деятельности. Наиболее опасные явления субтерральных процессов: горные удары, стрельания, осыпание, вывалы, обрушения горных пород, сдвиги, провальные зоны обрушения, прорывы подземных вод и плывунов, выбросы газов, суффозии, подземные пожары [8].

Трехсотлетняя история разработки месторождений Урала привела к формированию зон подработки над старыми подземными выработками, положение которых часто не отражено в документах и маркшейдерских планах. В городах Нижний Тагил, Краснотурьинск, Березовский, Дегтярск, Каменск-Уральский периодически наблюдаются формирование мульд сдвига и деформации построенных сооружений. Примерами катастрофических прорывов подземных вод могут служить со-

бытия на шахтах Верхнекамского месторождения калийных солей. В 1986 г. был затоплен рудник Третьего Березниковского калийного рудоуправления. 19 октября 2006 г. началось затопление рудника БКРУ-1. Затопление рудников привело к тяжелым техногенно-экономическим и геологическим последствиям. Одним из них явилось образование на месте затопления провалов земной поверхности, размеры которых к 2009 г. достигли в плане 210 × 140 м и 446 × 335 м [1, 9].

Обширные по масштабам изменения окружающей среды связаны с дренажными работами по осушению горных выработок. Негативным последствием осушения является формирование огромных объемов дренажных вод, имеющих обычно аномальный химический состав, что ограничивает их использование в хозяйственных и технических целях. В результате сброса дренажных вод в поверхностные водные системы происходит их загрязнение. Снижение уровня подземных вод приводит к нарушению водного баланса на значительных площадях: истощению подземных вод на промышленных и частных

источниках водоснабжения, осушению болот, ухудшению питания растительности и т. д.

Природно-техногенные процессы пассивной стадии детально охарактеризованы С. Н. Елохиной [6]. Они охватывают: подъем уровня подземных вод в границах депрессионной воронки, самозатопление шахтных полей; излив шахтных вод на поверхность земли, подтопление, заболачивание территорий; снижение прочностных свойств горных пород; карстовые и суффозионные процессы; прорыв рудничных вод в работающие выработки; нарушение прочностных свойств и устойчивости подработанных массивов горных пород; техногенные землетрясения; загрязнение подземных вод водозаборных сооружений затопленных шахтных полей и др.

Промышленный техногенез металлургической (черной и цветной), машиностроительной, топливно-энергетической, химической и других отраслей оказывает негативное экологическое воздействие на все ингредиенты окружающей среды через выбросы в атмосферу, промышленные и сопутствующие стоки, твердые отходы в виде шлако- и золотвалов, хвосто- и шламохранилищ, подотвальных вод и пр.

Особое положение в промышленном техногенезе Урала занимают транспортная и нефтегазовая отрасли. Железнодорожный и автомобильный внешний транспорт нарушают окружающую среду вибрационным воздействием, выбросами в атмосферу, аварийными ситуациями. Добыча жидких и газообразных углеводородов на складчатом Урале не производится, но их транспортировка через горы и вдоль них по трубопроводам создает негативные экологические ситуации при строительстве линейных сооружений и сопровождающей инфраструктуры и аварийных ситуациях.

2. *Сельскохозяйственный техногенез* активно воздействует на почвы, поверхностные и подземные воды химическими, органическими удобрениями, пестицидами.

3. *Урбанизация территорий* – важнейший фактор интенсивного техногенного воздействия на природную среду Урала. Строи-

тельство городов, поселков, сопровождавшие промышленное освоение региона, существенно трансформировало естественные условия. На горноскладчатом Урале на территории Свердловской, Челябинской, Курганской, Оренбургской областей, Республики Башкортостан, отчасти Пермского края, Ханты-Мансийского, Ямало-Ненецкого национальных округов и Республики Коми проживает более 10 млн человек, причем свыше 85 % приходится на городское население.

Проблема промышленно-городских агломераций приобрела сегодня чрезвычайную актуальность, поскольку определяет состояние среды проживания человека. Техногенно измененные природные ландшафты, антропогенный литогенез, атмосферное и гидрогенное загрязнение окружающей среды городов, размещение, количество и состав твердых бытовых и промышленных отходов, подтопление территорий, температурное, звуковое, вибрационное воздействие на человека, размещение селитебных, промышленных, рекреационных зон, внутреннего и внешнего транспорта, охрана атмосферы, поверхностных и подземных вод и пр. – круг вопросов, определяющих выработку оптимальных экологических условий городов, возникших при горнодобывающих, металлургических и машиностроительных предприятиях Урала и ответственных за трансформацию инженерно-геологических условий [10, 11].

4. *Техногенные и техноприродные геологические процессы*

В настоящем разделе обозначим процессы, не связанные с горнопромышленным техногенезом при разработке МПИ.

К числу *техногенных процессов* относятся: гидrolитогенные процессы, наведенные сейсмические процессы, субгетеральные процессы при подземном строительстве и антропогенный литогенез.

Гидролитогенные процессы связаны с понижением уровня подземных вод и образованием воронок депрессии при дренажных работах, сопровождающих строительство метро, на водозаборах и, наоборот, с повышением уровня подземных вод. В первом слу-

чае при водопонижении вдоль трассы метро в г. Екатеринбурге, а также на относительно крупных водозаборах длительного действия (города Североуральск, Карпинск, Каменск-Уральский, Красноуфимск, Шувакишский водозабор в г. Екатеринбурге) активизировались процессы суффозии, опускание поверхности, деформации инженерных сооружений.

Повышение уровня подземных вод обусловлено строительством плотин, дамб, созданием водохранилищ, прудов и других гидротехнических сооружений, утечками из водонесущих коммуникаций. Обводнение бортов долин провоцирует оползневые явления, усиление карстового, суффозионного процессов. Фильтрация вод из шламохранилищ металлургических заводов, золо-шлакохранилищ ГРЭС, хранилищ жидких отходов очистных сооружений вызывает подтопление территорий, загрязнение почв, грунтов, поверхностных вод. Если учесть наличие в Уральском Федеральном округе 904 гидротехнических сооружений и водохранилищ, 209 накопителей сточных вод, причем их большая часть находится в пределах горноскладчатого Урала на территории Свердловской и Челябинской областей, масштабы негативных последствий и причиняемого ущерба весьма значительны [10, 12].

Утечки водонесущих коммуникаций в городах могут достигать больших объемов. По данным Р. Ф. Абдрахманова, в г. Уфа доля техногенного подземного стока в отдельные годы достигала 30 %, а в ряде районов до 50 %. Повышение уровня подземных вод вызывает процессы суффозии, подтопление подвальных помещений, а в ряде случаев заболачивание, деформации инженерных сооружений вследствие изменения свойств обводненных грунтов оснований фундаментов.

Наведенные землетрясения, периодически фиксируемые в Уральском горнопромышленном регионе, могут возбуждаться взрывными работами при проходке тоннелей, подземных и открытых горных выработок специального назначения, строительстве плотин, железных и автомобильных дорог и других инженерных сооружений в скальных

массивах, изменением напряженно-деформированного состояния массивов при высотном строительстве и другими причинами.

Субтерральные процессы при подземном строительстве нередко проявляются осыпанием, вывалами, обрушением горных пород, стрелянием, горными ударами, прорывами поверхностных, подземных вод и пльвунов. Эти явления случались при строительстве шахт, перегонных тоннелей и станций первой очереди метро в г. Екатеринбурге, Челябинске, подземных горных выработок специального назначения. Прорыв ложного пльвуна произошел при вскрытии разлома шахтой станции Дзержинская (ныне Динамо) в г. Екатеринбурге.

Антропогенный литогенез – широко распространенный процесс в ходе освоения городских территорий. Насыпные грунты – постоянный компонент городского строительства при нивелировании рельефа, формировании дорожного полотна, тротуаров, прокладке трамвайных путей, санкционированном и не санкционированном складировании отходов и т. д. Создание рекреационных зон может сопровождаться использованием намывных грунтов.

Техноприродные процессы представляют обширную группу техногенно активизированных экзогенных геологических процессов: выветривания, эрозионных процессов, карста, суффозии, гравитационных (склоновых) процессов.

Выветривание – постоянно действующий процесс урбанизированных территорий, сопровождающий все виды строительных работ, связанных с нарушением сплошности и перемещением горных пород.

Овражная, береговая речная эрозия усиливается при сбросе сточных вод, особенно с повышенной агрессивностью, складировании твердых отходов, нарушении гидрологического режима и других мероприятиях.

Негативную роль в сохранности инженерных сооружений урбанизированных территорий играет техногенная активизация карста и суффозии, часто наблюдаемая вдоль железных дорог (города Каменск-Уральский,

Богданович, Сухой Лог, Кунгурский район), магистральных трубопроводов при близповерхностном залегании карбонатных и сульфатных пород, наличии в перекрывающих отложениях сульфидно неустойчивых грунтов, а также в пределах городских ландшафтов, на участках разработки полезных ископаемых и водозаборов карстовых вод. Хозяйственная деятельность нередко приводит к активизации карстового процесса, придавая ему необратимый природно-техногенный характер. Карстовые провалы, особенно больших размеров, представляют серьезную опасность для инженерных сооружений. Разрушение моста через реку Белую (г. Уфа, 1980), Березниковский провал и затопление рудника (Пермская область, 1986), деформации магистрального газопровода Уренгой – Помары – Ужгород (Ординский район Пермской области, 1994), провалы на железных дорогах с длительными остановками (Свердловская дорога, 1989, 1997, 2000, 2002) и крушениями (Горьковская дорога, 1994, 1995) – вот далеко не полный перечень примеров, свидетельствующих о серьезной опасности карста для инженерных сооружений и экологическом риске эксплуатации сооружений в карстовых районах без надлежащей противокарстовой защиты. Многие стратегические гражданские и промышленные объекты, 70 % железных дорог, взрывоопасные и химические производства расположены на закарстованных территориях, где существует реальная угроза поражения их карстовым провалом и возникновения чрезвычайной ситуации. Особую проблему представляют перевозки радиоактивных и ядовитых веществ, утечки которых при железнодорожных авариях неизбежно приведут к экологической катастрофе. Анализ конкретных случаев поражения сооружений карстовым провалом показывает, что одной из главных причин являются ошибки при инженерных изысканиях, проектировании и эксплуатации сооружений [8, 12].

Гравитационные (склоновые) процессы (оползни, обвалы, осыпи) нередко активизируются вследствие техногенного нарушения естественных природных условий – подрезки скло-

нов при строительных работах, обводнении грунтов при сбросе сточных вод, абразивных явлениях на водохранилищах и других причин.

5. Техногенное химическое и радиоактивное загрязнение природной среды

Химическое загрязнение окружающей среды от различных источников при всех видах промышленного и сельскохозяйственного техногенеза, урбанизации территорий формирует локальное загрязнение, а в совокупности может создавать региональное загрязнение природной среды. Примерами могут служить промышленное загрязнение Горнозаводского Урала, пестицидное загрязнение почв и поверхностных вод сельскохозяйственных районов Зауральяского пенеппена в пределах Свердловской и Челябинской областей, загрязнение почв органическими удобрениями животноводческих районов и др.

Радиоактивное загрязнение окружающей среды в локальном исполнении осуществляется в процессе следующих видов инженерной деятельности человека: разработки месторождений радиоактивных элементов (в первую очередь урана), работы АЭС и предприятий ядерно-сырьевого комплекса, местных испытаний ядерных устройств, захоронении жидких и твердых радиоактивных отходов, использовании радиоактивных изотопов для различных целей.

Региональное радиоактивное загрязнение природной среды происходит в связи с испытаниями ядерных устройств в атмосфере и на поверхности земли, аварийными ситуациями. На Урале оно связано с двумя событиями: 1) взрывом жидких радиоактивных отходов на ПО «Маяк» в Челябинской области в сентябре 1957 г. с образованием Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа), накрывшего территорию полосой северо-восточного направления от района г. Кыштыма до г. Камышлова на юго-востоке Свердловской области; 2) Чернобыльской аварией – аэрогенное загрязнение слабой интенсивности пересекло Урал в пределах Свердловской области на широте г. Екатеринбург и г. Ивделя. Радиоактивные беды Урала описаны в монографии с таким названием, изданной под ре-

дакцией члена-корреспондента РАН В. И. Уткина в 2000 г. [13].

Химическое и радиоактивное загрязнение почв, грунтов зоны аэрации, поверхностных и подземных вод влияет на активизацию карстового процесса, химического выветривания горных пород, трансформацию инженерно-экологических условий территорий.

Оценка экологического состояния промышленных районов Свердловской области по химическому и радиоактивному загрязнению ингредиентов природной среды (атмосферы, почв, поверхностных вод) выполнена коллективом Уральского регионального аэрокосмоэкологического центра под руководством А. Г. Жученко. По результатам работ



Рис. 2. Районирование территории промышленных районов Свердловской области по остроте экологической ситуации [14]

составлены карта экологической ситуации промышленных районов Свердловской области М 1:500000, изданная в 1993 г., и схема районирования по остроте экологической ситуации М 1:2500000 (рис. 2). На схеме выделены районы катастрофической, кризисной, напряженной и условно удовлетворительной экологической ситуации. С оценкой катастрофического экологического состояния обозначены Ревдинско-Красноуральский район промышленного техногенеза Горнозаводского Урала и Каменско-Камышловский район в зоне ВУРСа [14].

За более чем 20-летний период экологическое состояние Свердловской области существенно изменилось: уменьшилась доля химического загрязнения от промышленных

источников, усилилось автотранспортное воздействие на окружающую среду, возросла степень урбанизации территории, уменьшилось радиоактивное загрязнение и т. д. Однако картографического отражения эти изменения в масштабе области не нашли.

Приведенный краткий обзор техногенных факторов свидетельствует о существенной роли техногенеза в трансформации природных условий и, как следствие, формировании инженерно-геологических условий освоенных территорий Урала.

Выводы.

1. Многолетние исследования инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии Урала позволили выделить физико-географические и техногенные факторы, ответствен-

ные за формирование инженерно-геологических условий региона.

2. Физико-географические факторы включают плейстоцен-современные природные условия: орографию, гидрографию, климат, мерзлотные условия, ландшафты.

3. Техногенные факторы включают: горнопромышленный техногенез; промышленный техногенез; сельскохозяйственный техногенез; урбанизацию терри-

тории; техногенные и техноприродные геологические процессы; техногенное химическое и радиоактивное загрязнение природной среды.

4. Пространственное проявление физико-географических и техногенных факторов, совместно с региональными геологическими факторами, обуславливает инженерно-геологическую зональность геологических структур различных порядков Урала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абатурова И. В. Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии при разведке и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых на Урале / И. В. Абатурова [и др.] // Известия УГИ. Вып. 2. 1993. С. 189–199.
2. Урал и Приуралье / Природные условия и естественные ресурсы СССР. Серия «Советский Союз». М.: АН СССР. 1968.
3. Милков Ф. Н., Гвоздецкий Н. А. Урал / Физическая география СССР. М.: Мысль, 1976.
4. Грязнов О. Н., Дубейковский С. Г. Закономерности формирования инженерно-геологических условий месторождений Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГГА. 1995. 32 с.
5. Емлин Э. Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во УрГУ. 1991. 255 с.
6. Елохина С. Н. Гидрогеоэкологические исследования горного техногенеза на Урале / Науч. ред. О. Н. Грязнов. Екатеринбург: ООО «УИПЦ». 2013. 187 с.
7. Плотников Н. И. Техногенные изменения гидрогеологических условий. М.: Недра, 1989. 268 с.
8. Грязнов О. Н. Природные и техноприродные опасности и риски Урала // Изв. вузов. Горный журнал. № 1. 2012. С. 47–50.
9. Белкин В. В. Техногенная трансформация геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна: автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2010. 46 с.
10. Грязнов О. Н. Актуальные гидрогеологические, инженерно-геологические и геоэкологические проблемы Урала // Известия УГГУ. Вып. 24. 2010. С. 28–33.
11. Грязнов О. Н., Рубан Н. В. Экологические проблемы безопасности Урала и Западной Сибири // Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: Тр. Междунар. науч.-практич. конф. Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2014. С. 25–28.
12. Природные, природно-техногенные опасности и риски Уральского федерального округа, пути их предотвращения и минимизации последствий / Грязнов О. Н. [и др.] // Сергеевские чтения. Вып. 6. М.: ГЕОС. 2004. С. 125–129.
13. Радиоактивные беды Урала / под ред. В. И. Уткина. Екатеринбург: УрО РАН. 2000. 93 с.
14. Карта экологической ситуации промышленных районов Свердловской области / Кол. авторов под ред. А. Г. Жученко. Свердловск: Уральская картографическая фабрика Роскартографии. 1993.

Поступила в редакцию 26 октября 2014 г.

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