

УДК 55; 624.131 (035.3)

Т.И. Аверкина¹, В.Т. Трофимов²

ТИПЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Инженерно-геологические структуры обособляются по сочетанию региональных и зональных геологических факторов. Приведены классификации инженерно-геологических структур Земли и России. Описаны главные инженерно-геологические особенности и закономерности пространственного распределения континентальных субаэральных, континентальных субаквальных, переходных преимущественно субаквальных и океанических преимущественно субаквальных инженерно-геологических мега- и макроструктур, выделенных на территории России.

Ключевые слова: инженерно-геологические структуры, классификация, закономерности, Россия.

Engineering geological structures are divided by a combination of regional and zonal geological factors. Classifications of engineering geological structures of the Earth and Russia are submitted. Main engineering geological features and regularities of spatial distribution of continental subaerial, continental subaquatic, transitional predominant subaquatic, and oceanic predominant subaquatic engineering geological mega- and macrostructures of the Russia have been described.

Key words: engineering geological structure, classification regularities, Russia.

Введение. Содержание понятия «инженерно-геологические структуры» определяется следующим образом: *инженерно-геологические структуры – закономерно организованные объемы литосферы, сформированные под влиянием определенных региональных и зональных геологических факторов и однородные по каким-либо инженерно-геологическим параметрам* [Трофимов, Аверкина, 1996а]. На основе изменения сочетаний региональных и зональных факторов (а следовательно, и соответствующих им инженерно-геологических параметров), перехода от общих к частным факторам, обособлены инженерно-геологические структуры с разным содержанием и иерархическим уровнем. При этом в качестве классификационного признака выступает сложное (двухчленное) основание деления. В нашем случае деление выполнено в 4 этапа, т.е. выделены инженерно-геологические структуры 4-х уровней. В качестве региональной составляющей деления использованы структурно-тектонические признаки, по которым обособляются неотектонические структуры 4-х уровней. Зональными признаками деления являются особенности состояния пород, по ним выделяются геологические климатогенные структуры 4-х уровней. Собственно инженерно-геологические структуры ограничиваются при «наложении» (или «пересечении») неотектонических и геологических климатогенных структур и тоже образуют 4 иерархических уровня (рис. 1).

Структуры 1-го уровня (самые крупные) названы инженерно-геологическими суперструктурами, 2-го уровня – инженерно-геологическими мегаструктурами, 3-го уровня – инженерно-геологическими макроструктурами, 4-го уровня – инженерно-геологическими мезоструктурами [Трофимов, Аверкина, 1996б].

Инженерно-геологическая суперструктура – часть литосферы, однородная по инженерно-геологическим параметрам, которые обусловлены типом глубинного строения земной коры и водно-воздушными условиями поверхностной среды, например, континентальная субаэральная или континентальная субаквальная инженерно-геологические структуры.

Инженерно-геологическая мегаструктура – часть инженерно-геологической суперструктуры, однородная по инженерно-геологическим параметрам, которые обусловлены типом строения современного мегарельефа и особенностями фазового состояния воды в породах, например, платформы с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород или орогены с распространением талых и немерзлых пород.

Инженерно-геологическая макроструктура – часть инженерно-геологической мегаструктуры, однородная по инженерно-геологическим параметрам, которые обусловлены возрастом заложения тектонических структур и характером площадного развития пород разного состояния,

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, доцент, канд. геол.-минерал. н.; *e-mail:* averkina@geol.msu.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, заведующий кафедрой, профессор, докт. геол.-минерал. н.; *e-mail:* trofimov@rector.msu.ru

Геологические климатогенные структуры Неотектонические структуры				1-го порядка		
				2-го порядка		
				3-го порядка		
				4-го порядка		
1-го порядка	2-го порядка	3-го порядка	4-го порядка	инженерно-геологическая мезоструктура		
			инженерно-геологическая макроструктура			
			инженерно-геологическая мегаструктура			
			инженерно-геологическая суперструктура			

Рис. 1. Соотношение таксонов классификации инженерно-геологических структур

например, древний ороген с распространением слабоувлажненных пород или молодая платформа с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород.

Инженерно-геологическая мезоструктура — часть инженерно-геологической макроструктуры, однородная по инженерно-геологическим параметрам, которые обусловлены геологическими особенностями верхней части разреза и наличием (или отсутствием) сезонного промерзания (протаивания) пород этой части разреза, например, плита с сезонным промерзанием пород (грунтов) верхней части разреза или щит без сезонного промерзания пород (грунтов) верхней части разреза.

Классификация инженерно-геологических структур России. В таблице приведена классификация, которая включает логическое и фактическое множество инженерно-геологических структур Земли [Трофимов, Аверкина, 1999]. Логическое множество — все возможные сочетания неотектонических и геологических климатогенных структур, выделенных в классификации. В действительности не все эти сочетания встречаются на земном шаре. Фактически существующие структуры отмечены в таблице знаком «+».

На территории России, несмотря на ее огромные размеры, выделяются далеко не все типы фактически существующих на Земле инженерно-геологических структур. Так, среди континентальных субаэральные отсутствуют структуры без сезонного промерзания пород. При этом платформенные структуры с распространением многолетнемерзлых пород представлены полным возможным набором. Для горно-складчатых сооруже-

жений любого возраста структуры с распространением многолетнемерзлых пород, а иногда и ледников, тоже весьма характерны. Все российские континентальные рифтогены приурочены к районам распространения многолетней мерзлоты (сплошной или прерывистой) и не выходят в пределы распространения талых и немерзлых пород. Более краток и набор субаэральные переходных и океанических структур. В таблице типы инженерно-геологических структур, встречающиеся на территории России, обозначены знаком «++».

Континентальные субаэральные инженерно-геологические структуры: особенности и закономерности пространственного распределения. Инженерно-геологические мегаструктуры. Пространственное распределение континентальных субаэральные и континентальных субаквальных мегаструктур территории России отражено на рис. 2.

На севере и северо-востоке страны господствуют инженерно-геологические мегаструктуры с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород. Они включают *платформы с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород, орогены с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород и рифтогены с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород.*

Платформы с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород занимают северную часть Тимано-Печорской, север Западно-Сибирской, центральную и северную части Сибирской и всю Яно-Колымскую платформы. Они характеризуются спокойным тектоническим режимом, в условиях которого сформировались хорошо отсортированные, однородные, сложенные устойчивыми минералами осадки. Рельеф преимущественно равнинный. Геокриологические условия суровые. Многолетнемерзлые породы занимают до 95% территории, причем развиты как синкриогенные, так и эпикриогенные льдистые и сильнольдистые грунты, содержащие повторно-жильные и мощные пластовые льды разного генезиса [Трофимов, 2002]. Часто встречаются меж- и подмерзлотные агрессивные криопэги. Чрезвычайно широко развиты разнообразные криогенные процессы и соответствующие им криогенные формы рельефа.

В качестве мегаструктур *орогенов с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород* выступают Пай-Хой и Полярный Урал, Таймыр, Байкало-Патомский ороген, значительная часть Забайкалья, Становой хребет, высокогорья

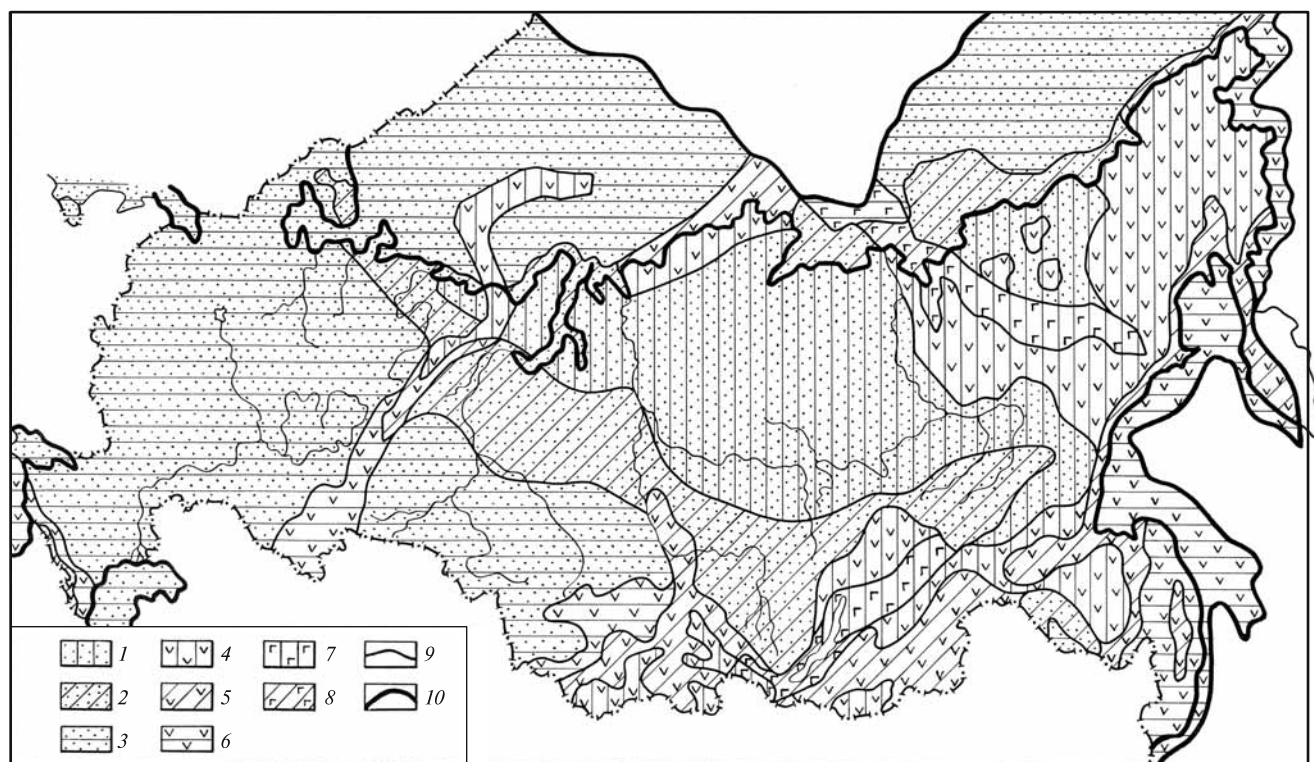


Рис. 2. Карта типов инженерно-геологических мегаструктур России: 1 — платформы с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород, 2 — платформы с совместным распространением многолетнемерзлых и талых пород (и осадков), 3 — платформы с распространением талых и немерзлых пород (и осадков), 4 — орогены с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород, 5 — орогены с совместным распространением многолетнемерзлых и талых пород (и осадков), 6 — орогены с распространением талых и немерзлых пород (и осадков), 7 — рифтогены с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород, 8 — рифтогены с совместным распространением многолетнемерзлых и талых пород (и осадков), 9 — границы инженерно-геологических мегаструктур, 10 — границы инженерно-геологических суперструктур

Алтае-Саянской системы, а также Верхояно-Чукотский, Полоусный, Улахан-Систский и Алазейский орогены. Типичные инженерно-геологические особенности структур этого типа проявляются следующим образом: горный рельеф, в геологическом разрезе преобладают метаморфические и магматические породы с жесткими связями. Мощность многолетнемерзлых (часто морозных) толщ обычно выше, чем на платформах. Водобмен затруднен, широко развиты трещинно-жильные льды. Структуры отличаются повышенной сейсмичностью и активным проявлением гравитационных мерзлотных процессов. На геокриологических условиях орогенов отражается не только широтная зональность, но и высотная поясность — чем южнее расположены горы, тем выше абсолютные отметки, с которых начинается пояс мерзлых пород.

К рифтогенам с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород относится Черско-Момский рифтоген и большая часть Байкальского. Их объединяют следующие типичные черты: прежде всего чрезвычайно высокая современная тектоническая активность, которая связана с растяжением земной коры и сопровождается мощными сбросово-сдвиговыми деформациями. Характерна очень высокая степень сейсмичности (до 10 баллов и выше). В связи с тем, что земная

кора утонена и астеносферный слой расположен близко к поверхности, глубина сейсмических очагов колеблется от 15 до 35–40 км [Хаин, Ломизе, 2010], т.е. преобладают мелкофокусные землетрясения. Геокриологические условия напоминают условия орогенов, но мощность промороженных толщ в них может быть выше из-за большой глубины расчленения рельефа.

Описанный ряд структур, общей особенностью которых является сплошное распространение многолетнемерзлых пород, в субширотном направлении, а точнее в юго-западном, сменяется вторым рядом структур, для которых характерно совместное распространение многолетнемерзлых и талых пород. На западе это мегаструктуры платформ с совместным распространением многолетнемерзлых и талых пород, которые занимают центральную и приморскую части возвышенности Кейвы, Хибины, крайнюю северную часть Восточно-Европейской и центральную часть Тимано-Печорской платформ. За Уралом к этому же типу мегаструктур относятся центральная часть Западно-Сибирской и южная часть Сибирской платформ, а также часть Зей-Буреинской платформы на Дальнем Востоке. Геологический разрез и рельеф этих структур такие же, как на вышеописанных платформах с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород. Для

Таблица

Земли и территории России

Континентальные											Переходные					Океанические					
орогены								рифтогены			континентальные окраины					платформы	орогены	рифтогены			
											пассивные		активные								
молодые (MZ-KZ ₁)				древние (AR-PZ)				новейшие (KZ ₂)			молодые (MZ-KZ ₁)		новейшие (KZ ₂)			молодые (MZ-KZ)	молодые и новейшие (MZ-KZ)		новейшие (KZ ₂)		
массивы	складчатые системы	вулканические системы	впадины	массивы	складчатые системы	вулканические системы	впадины	складчатые системы	вулканические системы	впадины	материковые склоны	материковые склоны	аваншельфы	островные дуги	глубоководные котловины	глубоководные желоба	плиты	высокоподнятые	слабо- и умеренно-поднятые	поднятия	впадины
+	++	+	++	++	++	+	+	++	+	++	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
++	++	++	++	+	++	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
+	+	++	+	+	++	+	+	++	+	++	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+
+	++	+	++	+	++	++	+	+	+	+	-	-	-	++	-	-	-	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	++	-	-	-	+	+	+	+
-	-	-	+	++	++	+	++	-	-	++	-	-	-	++	-	-	-	-	+	-	+
-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+
+	++	++	++	+	++	+	++	+	+	+	-	-	-	++	-	-	-	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+	++	+	+	+	++	+	+	++	+	++	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
+	+	+	++	+	+	+	++	++	+	++	-	-	-	++	-	-	-	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++	++	+	++	+	++	+	++	++	++

этих структур характерно сложное пространственное сочетание массивов многолетнемерзлых и талых грунтов. Среди многолетнемерзлых преобладают эпигенетически промерзшие толщи, нередко встречаются участки с несливающейся мерзлотой. С севера на юг число многолетнемерзлых массивов уменьшается. Активно протекают криогенные и посткриогенные процессы [Трофимов, 2002].

Склоны Полярного и Приполярного Урала, а также наиболее возвышенная часть Среднего Урала относятся к инженерно-геологической мегаструктуре *орогена с совместным распространением многолетнемерзлых и талых пород*. В Горном Алтае пояс мегаструктур такого же типа выделяется на отметках от 2300 до 2700 м, в Восточных Саянах — от 1800 до 2100 м, в Забайкалье — от 1200 до 2000 м [Основы геокриологии, 1998]. Аналогичные структуры развиты на Дальнем Востоке в узкой полосе, прилегающей к Охотскому морю, на Камчатке, в центральной наиболее возвышенной части Сихотэ-Алиня, а также на Северном Кавказе на отметках выше 2700 м. Рельеф и геологический разрез, типичный для орогенов, описан выше для орогенов с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород. Особенность этих структур — чередование массивов многолетнемерзлых и талых грунтов, с увеличением высоты число и размеры мерзлых массивов увеличиваются. Характерна повышенная сейсмическая активность, преобладают гравитационные процессы: лавины, курумы, осыпи, обвалы, оползни.

Центральная часть Байкальского рифтогена относится к инженерно-геологической мегаструктуре *рифтогена с совместным распространением многолетнемерзлых и талых пород*. Ее отличают высокая тектоническая активность, мощные сбросово-сдвиговые деформации, очень высокая степень сейсмичности (до 10 баллов и выше). Геокриологические условия аналогичны условиям орогенов с совместным распространением многолетнемерзлых и талых пород.

Рассмотренные два ряда инженерно-геологических мегаструктур на севере и северо-востоке России в совокупности представляют собой один из самых обширных регионов криолитозоны земного шара. На остальной территории, за пределами распространения многолетнемерзлых пород, развиты инженерно-геологические мегаструктуры *платформ с распространением талых и немерзлых пород* и *орогенов с распространением талых и немерзлых пород*. Их инженерно-геологические условия в целом более благоприятны для хозяйственной деятельности, чем у предыдущих типов мегаструктур.

На *платформах с распространением талых и немерзлых пород* геологический разрез и рельеф типичны для платформ (описаны выше). Водообмен свободный, подземные воды пластового типа.

Набор экзогенных процессов достаточно разнообразный, особенно широко развита эрозия.

Пояс *орогенов с распространением талых и немерзлых пород* в разных горных сооружениях выделяется на разной высоте, причем чем южнее, тем выше. Рельеф и геологический разрез описаны выше. Основные пути миграции подземных вод связаны с дизъюнктивными нарушениями и зонами выветривания. Сейсмическая активность высокая. Среди экзогенных процессов преобладают гравитационные (осыпи, обвалы, оползни).

Инженерно-геологические макроструктуры.

На северо-востоке России, в пределах криолитозоны на предыдущем уровне были выделены два параллельных ряда или две цепи инженерно-геологических мегаструктур, сменяющихся в субширотном направлении. Первый ряд отличается сплошным распространением многолетнемерзлых пород и на уровне макроструктур среди платформ разделяется главным образом по возрасту заложения структур. В орогенах, помимо возраста, деление связано с наличием ледников в сочетании с многолетнемерзлыми породами. Второй ряд, характеризующийся совместным распространением многолетнемерзлых и талых пород, на уровне макроструктур расчленяется не только по возрасту, но и по особенностям состояния пород и в свою очередь делится на два ряда структур — с массивно-островным и островным распространением многолетнемерзлых пород и с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород. Примечательно, что широтная зональность играет решающую роль не только на платформах, но и в орогенных структурах Северо-Востока, как бы затушевывая высотную поясность.

Крайний север и северо-восток России занимают макроструктуры *молодых платформ с распространением многолетнемерзлых пород* (северная часть Тимано-Печорской, север Западно-Сибирской и вся Яно-Колымская платформа), *древней платформы с распространением многолетнемерзлых пород* (центральная и северная части Сибирской платформы), *древних орогенов с распространением многолетнемерзлых пород* или *ледников и многолетнемерзлых пород* (Полярный Урал, Таймыр, Алтай выше 2700 м, Саяны выше 2000 м, Байкало-Патомский ороген, Становой хребет и горы Забайкалья), *молодых и древних орогенов с распространением многолетнемерзлых пород* или *ледников и многолетнемерзлых пород* (Пай-Хой, Верхояно-Чукотский, Полоусный, Улахан-Систский, Алазейский). В этот же ряд вписываются Момский рифтоген и большая часть Байкальского *нового рифтогена с распространением многолетнемерзлых пород*.

Макроструктуры молодых платформ с распространением многолетнемерзлых пород обладают равнинным, часто низменным рельефом. Повсемест-

но развит осадочный чехол, который, в отличие от древних платформ, существенно дислоцирован, так как нередко наследует складки фундамента; 90–95% площади занимают криогенные толщи, которые имеют мощность до 500–600 м и среднегодовую температуру от -2 до -15 °С. Породы нередко засолены, особенно в пределах приморских низменностей. Под глубокими непромерзающими озерами и руслами крупных рек встречаются несквозные и сквозные талики. Характерны многочисленные залежи пластовых льдов, мощность которых доходит до 8–10 м, а в исключительных случаях до 40 м и более. Водообмен затруднен. Подмерзлотные воды обычно соленые. Значительные площади поражены термокарстом, широко развито заболачивание, морозное пучение и другие мерзлотные процессы.

У древних платформ с распространением многолетнемерзлых пород рельеф имеет более сложное строение и представляет собой чередование возвышенностей (или даже низких глыбовых гор) и низменностей. На отдельных участках фундамент приподнят или даже выведен на поверхность, на других — погружен. Мощность мерзлых толщ здесь обычно выше, чем на молодых платформах, в исключительных случаях может доходить до 1000 м и более. Кроме того, значительно шире представлены в разрезе скальные грунты, которые нередко находятся в морозном состоянии.

Макроструктуры древних орогенов с распространением многолетнемерзлых пород (или ледников и многолетнемерзлых пород) в рельефе выражены как глыбовые горы, в значительной степени выветрелые и разрушенные. Они пережили несколько циклов орогенеза, поэтому их структура дислоцирована сильнее и сложнее, чем у более молодых горных сооружений. В целом характеризуются суровыми условиями. Мощность мерзлых (и морозных) толщ обычно выше, чем в платформенных условиях, и составляет 1000 м и более. Температура пород тоже более низкая (-10 °С и ниже). Криолитозона прерывается только на участках активных глубинных разломов. Талики под реками и озерами чаще всего несквозные. Среди мерзлотных процессов преобладают курумы и солифлюкция.

Пай-Хой, Верхояно-Чукотский, Полоусный, Улахан-Систский и Алазейский орогены проморожены повсеместно и выступают как молодые или древние орогены с распространением многолетнемерзлых пород (или ледников и многолетнемерзлых пород). Они пережили меньше циклов орогенеза, чем древние орогены, поэтому в рельефе выражены как сводово-глыбовые образования, а слагающие их породы менее разрушены, поэтому мощность выветрелой зоны меньше. В остальном они мало отличаются от древних орогенов.

В макроструктурах Момского и Байкальского рифтогенов с распространением многолетнемерзлых пород мощность мерзлоты несколько выше, чем в

орогенах, — более 1000 м. Это объясняется более резким расчленением рельефа в рифтовых зонах, большим перепадом высот. Другая характерная особенность рифтов — очень высокая сейсмичность, до 8–10 баллов и более.

Макроструктуры с распространением многолетнемерзлых пород в юго-западном направлении сменяются макроструктурами с массивно-островным и островным распространением многолетнемерзлых пород, которые, в свою очередь сменяются макроструктурами с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород. Инженерно-геологические условия этих типов структур отличаются наибольшей сложностью и разнообразием.

Древние платформы с массивно-островным и островным распространением многолетнемерзлых пород на западе представлены двумя фрагментами Восточно-Европейской платформы (центральная часть возвышенности Кейвы и север Мезенской низменности), а на востоке — южной частью Сибирской платформы. Многолетнемерзлые образования занимают здесь от 30 до 95% площади. С севера на юг число многолетнемерзлых массивов и их площадь уменьшаются. Мощность мерзлых толщ также сокращается с севера на юг от 100 м до нескольких десятков метров. Среднегодовая температура пород обычно составляет от 0 до -2 °С. Грунтовые воды талых отложений залегают на небольшой глубине. Активно протекают криогенные, а особенно посткриогенные процессы.

В пределах макроструктур древних платформ с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород (Хибины, приморская часть возвышенности Кейвы, юг Мезенской низменности и южная оконечность Сибирской платформы) на мерзлые толщи приходится меньше 30% площади. Их мощность изменяется от 10–50 м до нескольких метров, температура — от 0 до -1 °С. Талые четвертичные породы обычно сильно увлажнены, обладают повышенной сжимаемостью. Грунтовые воды талых отложений залегают на небольшой глубине. Наряду с криогенными и посткриогенными проявляются эрозионные и оползневые процессы. Территория сильно заболочена и заозерена.

Макроструктуры молодых платформ с массивно-островным и островным распространением многолетнемерзлых пород выделяются на севере Тимано-Печорской, в средней части Западно-Сибирской и на севере Зея-Буреинской платформ. В пределах структур этого типа с севера на юг мощность многолетнемерзлых пород сокращается от 100–150 м (иногда 200–300 м) до 20–50 м. Температура пород варьирует от -3 до 0 °С. Характерная особенность — двухслойное строение мерзлой толщи. Глубина залегания реликтового слоя изменяется от 20–50 до 100–200 м. Талые четвертичные отложения обычно сильно увлажнены, обладают повышенной сжимаемостью. Грунтовые воды талых

пород залегают на небольшой глубине. Активно протекают криогенные и особенно посткриогенные процессы.

На *молодых платформах с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород* (центральная часть Тимано-Печорской, центральная часть Западно-Сибирской и часть Зей-Буреинской платформ) мощность мерзлоты изменяется от 10–50 м до нескольких метров, температура от 0 до -1 °С. Талые четвертичные грунты обычно сильно увлажнены, обладают повышенной сжимаемостью. Грунтовые воды талых участков залегают на небольшой глубине. Наряду с криогенными и посткриогенными проявляются эрозионные и оползневые процессы. Территория сильно заболочена и заозерена.

В качестве макроструктур *древних орогенов с массивно-островным и островным распространением многолетнемерзлых пород* выделены склоновые части Полярного и Приполярного Урала, наиболее возвышенная часть Среднего Урала, Горный Алтай на отметках от 2300 до 2700 м, Восточные Саяны на отметках от 1800 до 2100 м и горы Забайкалья на отметках от 1200 до 2000 м. Мощность мерзлых (и морозных) толщ изменяется здесь от нескольких сотен до нескольких десятков метров. Рыхлые отложения сильнольдистые, а в талом состоянии сильноувлажненные. Широко развиты склоновые процессы, в том числе мерзлотные.

Низкогорья Среднего Урала до широты 59° , низкогорья Саян и Забайкалья, а также часть низкогорий Алтая рассматриваются как инженерно-геологические макроструктуры *древних орогенов с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород*. Мощность мерзлых (и морозных) толщ от высоких отметок к низким уменьшается от нескольких десятков метров до нескольких метров, а температура, наоборот, увеличивается. Рыхлые отложения сильнольдистые, а в талом состоянии сильноувлажненные. Наряду с трещинно-жильными льдами развиты трещинно-жильные и трещинные подземные воды. Широко развиты склоновые и эрозионные процессы, в том числе мерзлотные.

В узкой полосе Верхояно-Чукотского орогена, прилегающей к Охотскому морю, выделяется макроструктура *молодого орогена с массивно-островным и островным распространением многолетнемерзлых пород*. От высоких отметок к низким здесь уменьшается мощность мерзлых и морозных толщ (от нескольких сотен до нескольких десятков метров) и увеличивается их среднегодовая температура. Широко развиты склоновые процессы, доля мерзлотных процессов сокращается.

В осевой части Сихотэ-Алиня выделяется макроструктура *молодого орогена с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород*. В ней многолетнемерзлые массивы занимают меньшую площадь (менее 30%), чем в предыдущем типе,

имеют меньшую мощность (от нескольких десятков до нескольких метров) и более высокую температуру пород.

Центральная и Западная Камчатка рассматриваются как структуры *новейшего орогена с массивно-островным (и островным) и редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород*.

Высокогорная часть Северного Кавказа (выше 2700 м) — *новейший ороген с редкоостровным распространением ледников и многолетнемерзлых пород*. В настоящее время здесь насчитывается 1359 ледников.

За пределами криолитозоны в равнинных условиях начинается полоса структур с распространением талых и немерзлых сильноувлажненных пород с массивами увлажненных, которые затем сменяются структурами с распространением слабоувлажненных пород с массивами увлажненных. Сюда входят инженерно-геологические макроструктуры *древней* (северная половина Восточно-Европейской платформы) и *молодых* (юг Тимано-Печорской, центр Западно-Сибирской, юг Зей-Буреинской) платформ с распространением *сильноувлажненных пород с массивами увлажненных* и макроструктуры *древней* (южная половина Восточно-Европейской платформы) и *молодых* (Скифская, юг Западно-Сибирской) платформ с распространением *слабоувлажненных пород с массивами увлажненных*.

Макроструктура *древней платформы с распространением сильноувлажненных пород с массивами увлажненных* как тип характеризуется следующими инженерно-геологическими чертами. Рельеф и геологический разрез, типичные для всех древних платформ, описаны выше. Подземные воды преимущественно пластового типа. Территория отличается избыточным атмосферным увлажнением, из чего вытекает специфическая особенность грунтов — их сильное увлажнение, консистенция глинистых разностей пластичная, часто скрыто-текучая. Грунтовые воды залегают на небольшой глубине. Чрезвычайно широко развиты озера, крупные площади заболочены. Характерны эрозионные процессы и оползневые на склонах долин и оврагов, при определенных условиях развивается карст.

Макроструктура *древней платформы с распространением слабоувлажненных пород с массивами увлажненных* от предыдущего типа принципиально отличается недостаточной степенью атмосферного увлажнения. Глинистые и лёссовые породы в верхней части разреза имеют здесь преимущественно твердую и полутвердую консистенцию. Несущая способность этих грунтов гораздо выше, чем у грунтов сильноувлажненных. Породы местами сильно засолены, содержат значительное количество карбонатов. Грунтовые воды залегают достаточно глубоко. Широко развиты эоловые процессы и просадки в лёссах.

Макроструктуры *молодых платформ с распространением сильноувлажненных пород с массивами увлажненных* характеризуются рельефом и геологическим разрезом, как у всех молодых платформ. Подземные воды преимущественно пластового типа. Грунтовые воды залегают на небольшой глубине. Широко развиты озера, обширные площади заболочены. Характерны эрозионные процессы и оползневые на склонах долин и оврагов.

На *молодых платформах с распространением слабоувлажненных пород с массивами увлажненных* в верхней части разреза преобладают слабоувлажненные грунты. Породы местами сильно засолены, содержат значительное количество карбонатов. Грунтовые воды залегают достаточно глубоко. Широко развиты эоловые процессы и просадки в лёссах.

В орогенах любого возраста на отметках ниже границы многолетней мерзлоты выделяются инженерно-геологические макроструктуры с преимущественным распространением слабоувлажненных пород, но в отдельных случаях и с распространением сильноувлажненных пород.

Низкогорья Среднего Урала рассматриваются как макроструктура *древнего орогена с распространением сильноувлажненных пород с массивами увлажненных*. Это выровненные глыбовые горы, на которых в условиях избыточного атмосферного увлажнения в верхней части разреза грунты также сильно увлажнены. Из экзогенных процессов наиболее распространены эрозионные и оползневые.

Южный Урал, западная часть низкогорного Алтая относятся к макроструктурам *древних орогенов с распространением слабоувлажненных пород с массивами увлажненных*. Эти горные сооружения тоже сильно разрушены и имеют выровненный рельеф, но расположены совсем в других условиях атмосферного увлажнения. Однако, несмотря на слабоувлажненное состояние грунтов в верхней части разреза, здесь проявляются эрозионные и оползневые процессы (в основном в периоды ливневых дождей), а также осыпные и реже обвальные.

Сихотэ-Алинь ниже границы многолетней мерзлоты относится к категории *молодой ороген с распространением слабоувлажненных пород с массивами увлажненных*, а прибрежная низменная часть Западной Камчатки — к категории *новейший ороген с распространением сильноувлажненных пород с массивами увлажненных*. В пределах Северного Кавказа ниже 2700 м выделяется макроструктура *новейшего орогена с распространением слабоувлажненных пород с массивами увлажненных*. Это глубокорасчлененные сводово-складчатые горы. Слагающие их преимущественно магматические и метаморфические породы сильнодислоцированные, но относительно слабобыветрелые. Тектоническая активность этих структур до сих

пор остается высокой, поэтому они отличаются повышенной сейсмичностью. Среди экзогенных процессов наибольшую опасность представляют осыпи, обвалы, лавины и сели.

Континентальные субаквальные инженерно-геологические структуры: особенности и закономерности их пространственного распределения. Континентальные субаквальные инженерно-геологические структуры приурочены к подводным продолжениям материков. Их ширина изменяется от нескольких сотен метров до нескольких сотен и даже тысяч километров. Отдельные участки приподняты и выходят на поверхность в виде островов, которые рассматриваются в качестве континентальных субаэральных включений.

Северный шельф России простирается в сторону Северного Ледовитого океана на расстояние более 1000 км, охватывая акватории Баренцева, Белого, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Дальневосточные шельфы, Балтийское, Азовское и Черноморское подводные продолжения континента значительно более узкие, чем шельф Северного Ледовитого океана.

Инженерно-геологические мегаструктуры. Их пространственное распределение на Балтийском и Азово-Черноморском шельфах России повторяет характер распространения соответствующих субаэральных структур, т.е. структур, подводным продолжением которых они являются. В Балтийском и Азовском морях это инженерно-геологические мегаструктуры *платформ с распространением талых и немерзлых пород и осадков*, в Черном — мегаструктура *орогена с распространением талых и немерзлых пород и осадков* (рис. 2). Акватория Каспийского моря у берегов России относится к мегаструктуре *платформы с распространением талых и немерзлых пород и осадков*.

На северном шельфе наблюдается несколько иная ситуация. Крайний северо-восток шельфа сложен древней Гиперборейской платформой, которая полностью погружена под воду и не имеет границы с сушей. Аналогичная ситуация на северо-западе, где молодая Печоро-Баренцевская платформа сменяется древней полностью подводной Северо-Баренцевской (Северно-Баренцево-Карской) платформой.

Субаквальные инженерно-геологические мегаструктуры, примыкающие к европейской части России, — в основном *платформы и орогены с распространением талых и немерзлых пород и осадков*. Благодаря теплым морским течениям какое-либо промерзание пород и осадков исключено. Лишь в прибрежной части Печорского моря зафиксированы острова многолетнемерзлых пород. За Уралом на границе со структурами суши выделяются инженерно-геологические *мегаструктуры платформ и орогенов с совместным распространением многолетнемерзлых пород и осадков*, которые при удалении от берега сменяются *инженерно-*

геологическими мегаструктурами платформ с распространением талых и немерзлых пород и осадков. В первых острова мерзлоты (реликтовой) распределены по площади неравномерно — чем дальше от берега, тем их меньше. Непосредственно у берега развиты современные многолетнемерзлые породы. Они образуют узкую, часто непрерывную полосу (козырьки продолжающейся с суши мерзлоты), которая в этом масштабе в качестве отдельной структуры со сплошным распространением многолетнемерзлых пород не выделяется.

Довольно сложное строение имеет шельф в пределах моря Лаптевых. Вблизи береговой линии обособляется инженерно-геологическая мегаструктура рифтогена с совместным распространением многолетнемерзлых и талых пород и осадков, а затем инженерно-геологическая мегаструктура рифтогена с распространением талых и немерзлых пород и осадков.

У берегов Таймыра и Чукотки выделяются подводные инженерно-геологические мегаструктуры орогенов с совместным распространением многолетнемерзлых и талых пород и осадков.

Шельфы дальневосточных морей относятся к инженерно-геологическим мегаструктурам орогенов с распространением талых и немерзлых пород и осадков.

Инженерно-геологические макроструктуры. Шельф Балтийского моря относится к инженерно-геологической макроструктуре древней платформы с распространением сильноувлажненных пород и осадков. В Азовском море подводное продолжение континента слагают макроструктуры древней и молодой платформ с распространением сильноувлажненных пород и осадков, а в российском секторе Черного моря — новейший ороген с распространением сильноувлажненных пород и осадков. Российская часть Каспийского шельфа объединяет инженерно-геологические макроструктуры древней платформы и молодой платформы с распространением сильноувлажненных пород и осадков.

На огромной площади Арктического шельфа России выделяются инженерно-геологические макроструктуры древних и молодых платформ с островным распространением многолетнемерзлых пород и осадков, древних и молодых орогенов с островным распространением многолетнемерзлых пород и осадков, новейших рифтогенов с островным распространением многолетнемерзлых пород и осадков, древних и молодых платформ с распространением сильноувлажненных пород и осадков, новейших рифтогенов с распространением сильноувлажненных пород и осадков.

Макроструктуры с островным распространением многолетнемерзлых пород и осадков приурочены к прибрежной полосе морей Печорского, Карского, Лаптевых, Чукотского и Восточно-Сибирского. В северном направлении они сменяются макроструктурами с распространением

сильноувлажненных пород и осадков, чем дальше от берега, тем меньше вероятность развития островов многолетней мерзлоты.

Крайний северо-восток Арктического шельфа слагает макроструктура древней Гиперборейской платформы с распространением сильноувлажненных пород и осадков. Она, как отмечено выше, полностью погружена под воду и не имеет границы с территорией суши.

Острова Колгуев, Гуляевские Кошки, западные острова Северной Земли, практически все Новосибирские о-ва и о. Врангеля — включения субэкринных структур, надводные макроструктуры молодой платформы с распространением ледников и многолетнемерзлых пород или только многолетнемерзлых пород. Прилегающие к ним подводные участки можно рассматривать как макроструктуры молодой платформы с островным распространением многолетнемерзлых пород и осадков.

Новая Земля и о. Вайгач — выход на поверхность совершенно иной структуры — молодого орогена с распространением ледников (о. Новая Земля) и многолетнемерзлых пород. Их окаймляют узкие подводные макроструктуры древних орогенов с островным распространением многолетнемерзлых пород и осадков. Такая же подводная макроструктура выделяется у берегов Таймыра. В пределах восточных островов Северной Земли ороген выходит на поверхность, здесь выделяются надводные макроструктуры древних орогенов с распространением ледников и многолетнемерзлых пород.

У северного побережья Чукотки выделяется узкая подводная инженерно-геологическая мегаструктура молодого орогена с островным распространением многолетнемерзлых пород и осадков. На шельфе Берингова и Японского морей полосой протягиваются макроструктуры молодых орогенов с распространением сильноувлажненных пород и осадков. Прибрежная часть Охотского моря делится на три макроструктуры — новейшего орогена с распространением сильноувлажненных пород и осадков (Западно-Камчатский шельф), древнего орогена с распространением сильноувлажненных пород и осадков (Шантарский шельф) и молодого орогена с распространением сильноувлажненных пород и осадков (основная часть Охотско-Японского шельфа).

Остров Сахалин — континентальное субэкринное включение на фоне подводных структур. Он относится к макроструктуре молодого орогена с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород.

Переходные, преимущественно субаквальные инженерно-геологические структуры: особенности и закономерности пространственного распределения. Переходные преимущественно субаквальные инженерно-геологические структуры занимают пространство между континентами и океанами. Ширина этой зоны изменяется от нескольких километров до нескольких тысяч километров, а

морская глубина в направлении океанов нарастает от 100–200 до 1500–4000 м и на отдельных участках опускается еще ниже. Несмотря на столь внушительную глубину, структуры, слагающие переходные зоны, иногда выходят на поверхность в виде островов. В этом случае на уровне инженерно-геологических макроструктур и мезоструктур они рассматриваются в качестве *переходных субаэральных включений*.

Инженерно-геологические мегаструктуры. На этом иерархическом уровне переходные структуры разделяются всего на два типа инженерно-геологических мегаструктур: 1) пассивные континентальные окраины с распространением талых и немерзлых пород и осадков, 2) активные континентальные окраины преимущественно с распространением талых и немерзлых пород и осадков. Различие между ними заключается прежде всего в тектонической активности. По состоянию пород и осадков верхней части разреза они однотипны, это объясняется тем, что континентальные окраины, как правило, перекрыты мощной толщей воды, которая нивелирует действие зональных климатических факторов. Исключение составляют острова — выходы островных дуг на поверхность, но они рассматриваются как субаэральные включения только на следующих иерархических уровнях.

Пассивная континентальная окраина с распространением талых и немерзлых пород и осадков выделяется в Северном Ледовитом океане. Ее начало совпадает с началом перегиба океанического рельефа и нарастания морской глубины от 200 м (граница шельфа) до 2–3 км. Окраина характеризуется достаточно простым строением и имеет отчетливо выраженный уклон в сторону океана. На современном этапе развития отличается спокойным тектоническим режимом.

У восточной границы России выделяется *активная континентальная окраина преимущественно с распространением талых и немерзлых пород и осадков*. Это северо-западный фрагмент самой обширной и сложнопостроенной Тихоокеанской окраины (рис. 3). Ее рельеф сильно расчленен, резко изменяется на небольшом расстоянии, соответственно, в ее пределах резко изменяется глубина акваторий. Вместе с тем на отдельных участках структура выходит на поверхность в виде островов, но на этом иерархическом уровне они не учитываются.

В тектоническом плане активные континентальные окраины полностью оправдывают свое название — это самые подвижные области Земли. Именно они в рамках старой геологической парадигмы рассматривались как действующие

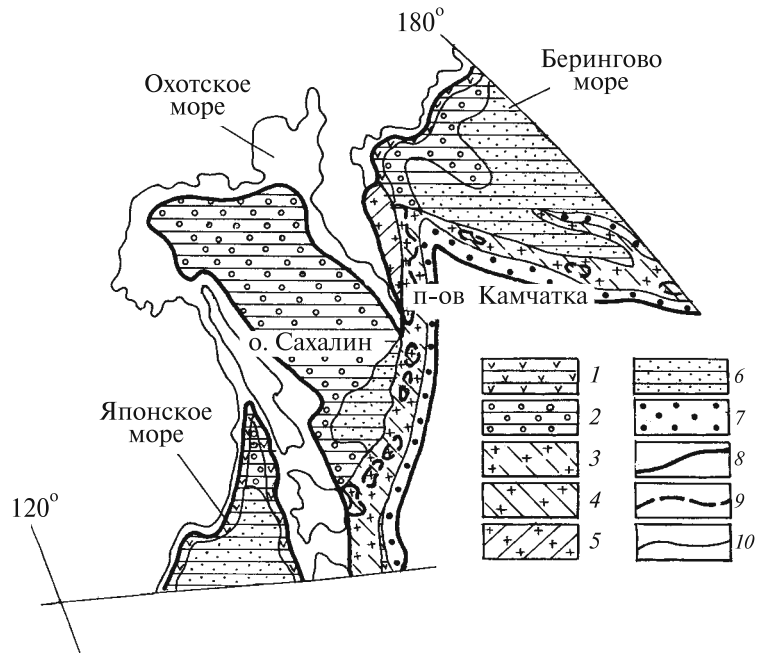


Рис. 3. Схема типов инженерно-геологических мезоструктур Западно-Тихоокеанской активной континентальной окраины (у берегов России): 1 — материковые склоны без сезонного промерзания пород и осадков, 2 — аваншельфы без сезонного промерзания пород и осадков, 3 — островные дуги с сезонным промерзанием пород и осадков на мелководьях, 4 — островные дуги с сезонным промерзанием пород, 5 — островные дуги с сезонным промерзанием и протаиванием пород, 6 — глубоководные котловины без сезонного промерзания пород и осадков, 7 — глубоководные желоба без сезонного промерзания пород и осадков, 8 — границы инженерно-геологических мегаструктур, 9 — границы инженерно-геологических макроструктур, 10 — границы инженерно-геологических мезоструктур

геосинклинали. В соответствии с современными представлениями активные окраины — зоны конвергенции литосферных плит, зоны субдукции. Мощный процесс субдукции сопровождается высочайшей сейсмичностью, интенсивной вулканической деятельностью, складчато-надвиговыми деформациями и метаморфизмом.

Инженерно-геологические макроструктуры. На уровне инженерно-геологических макроструктур, которые выделяются по возрасту заложения и особенностям состояния пород, все пассивные континентальные окраины с распространением талых и немерзлых пород на части не разделяются. Окраина Северного Ледовитого океана в тех же границах рассматривается в качестве макроструктуры *молодой с распространением сильноувлажненных пород и осадков в верхней части разреза*. Эта структура образовалась в процессе распада суперконтинента Пангея, начавшегося около 200 млн лет назад, приурочена к молодому океану, по возрасту заложения, как все пассивные окраины, датируется как молодое, мезозойско-раннекайнозойское образование. Будучи повсеместно погруженной под воду, пассивная окраина не разделяется и по состоянию пород и осадков верхней части разреза, так как оно всюду одинаковое.

Активные континентальные окраины с распространением талых и немерзлых пород, как и пассивные окраины, по возрасту заложения не расчленяются, но возраст у них более молодой — позднекайнозойский. Что касается состояния пород, то в этом отношении активные окраины принципиально отличаются от пассивных. На отдельных участках они выходят на поверхность в виде островов, которые с этого иерархического уровня учитываются и рассматриваются как включения *переходных субаэральных инженерно-геологических макроструктур*. Пример таких включений — Курильские о-ва и Восточная Камчатка. Примечательно, что в пределах этих надводных структур могут быть распространены массивы многолетнемерзлых пород, в целом не характерные для континентальных окраин. Таким образом, острова относятся либо к макроструктурам *наиболее с распространением слабоувлажненных пород в верхней части разреза*, либо к макроструктурам *наиболее с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород*, а Восточная Камчатка — к *наиболее с редкоостровным распространением ледников и многолетнемерзлых пород*. Подводные части активной окраины рассматриваются как инженерно-геологические макроструктуры *наиболее с распространением сильноувлажненных пород и осадков в верхней части разреза*.

Океанические, преимущественно субаквальные инженерно-геологические структуры: особенности и закономерности пространственного распределения. В состав России входит часть только одного океана — Северного Ледовитого (или Арктического). Это самый небольшой и мелководный и наименее изученный океан нашей планеты. Почти половина его площади в географических границах приходится на шельфы — подводные продолжения материков. Кроме того, и за пределами шельфа, уже внутри собственно океана выделяются несколько крупных поднятий, представляющих собой фрагменты континентальных структур. Дно океана лежит на глубине до 3–4 км, реже до 5 км.

Инженерно-геологические мегаструктуры. В примыкающей к России части Северного Ледовитого океана однозначно можно выделить три типа океанических инженерно-геологических мегаструктур: платформы с распространением талых и немерзлых пород и осадков, орогены с распространением талых и немерзлых пород и осадков, рифтоген с распространением талых и немерзлых пород и осадков. По проявлению зональных геологических факторов эти структуры не отличаются. Они все подводные, на дне породы и осадки находятся в охлажденном состоянии [Основы геокриологии, 1998]. (Возможно, где-то есть острова, на которых развита многолетняя мерзлота, но пока таких сведений нет.)

Инженерно-геологическая мегаструктура *рифтогена с распространением талых и немерзлых по-*

род и осадков соответствует спрединговому хребту Гаккеля, который в зарубежной литературе часто называется хр. Гаккеля–Нансена. Хребет расположен в Восточном полушарии, пересекает Северный Ледовитый океан с запада на восток. На западе он является продолжением Срединно-Атлантического хребта, а на востоке смыкается с континентальной рифтовой системой шельфа моря Лаптевых. Как во всех океанических рифтогенах, в пределах хребта Гаккеля происходит раздвиг литосферных плит (спрединг). Типичная особенность — наличие многочисленных поперечных разломов [Хаин, Ломизе, 2010].

Океанические *орогены с распространением талых и немерзлых пород и осадков* представлены в рассматриваемом секторе Арктики одной небольшой структурой — плато Ермак. Оно расположено в западной части океана. Значительно крупнее и выше хребты Ломоносова, Менделеева и Чукотское поднятие, но их считают не океаническими, а континентальными структурами, которые откололись от материка, рассматриваются они как включения континентальных *платформ с распространением талых и немерзлых пород и осадков*.

Все пространство океана за пределами поднятий и хребтов принадлежит мегаструктурам океанических *платформ с распространением талых и немерзлых пород и осадков*.

Инженерно-геологические макроструктуры. Все инженерно-геологические мегаструктуры Северного Ледовитого океана на следующем иерархическом уровне на части не разделяются, а в тех же границах выступают как инженерно-геологические макроструктуры. Это связано с тем, что они не дифференцируются по возрасту и не отличаются по состоянию пород.

Фундамент макроструктур *молодых платформ с распространением сильноувлажненных пород и осадков в верхней части разреза* сложен мезозойскими базальтами. Образование Северного Ледовитого океана началось не ранее поздней юры и происходило в пределах территории, представлявшей перед этим преимущественно платформенную сушу.

Плато Ермак относится к категории *орогенов молодых и новейших нерасчлененных с распространением сильноувлажненных пород и осадков в верхней части разреза*. Срединный хр. Гаккеля представляет собой макроструктуру *рифтогена новейшего с распространением сильноувлажненных пород и осадков в верхней части разреза*. Он начал формироваться в самом конце палеоцена — начале эоцена в ходе спрединга, который развивался с разной скоростью.

Хребты Ломоносова, Менделеева и Чукотское плато, будучи фрагментами континента, относятся к инженерно-геологическим макроструктурам континентальных *древних платформ с распространением сильноувлажненных пород и осадков в верхней*

части разреза, соответственно, их типичные черты ближе к таковым у материковых шельфовых структур, чем у молодых океанических платформ.

Заключение. Приведена только самая общая инженерно-геологическая характеристика разных типов инженерно-геологических структур, вы-

деленных на территории России. Каждый тип представлен несколькими региональными единицами, имеющими, кроме этих общих черт, свои специфические особенности, которые делают их индивидуальными. Однако рассмотреть их в рамках статьи не представляется возможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основы геокриологии. Ч. 3. Региональная и историческая геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998.

Трофимов В.Т. Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002.

Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. К введению понятия «инженерно-геологические структуры» // Геозкология. 1996а. № 5. С. 100–105.

Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Инженерно-геологические структуры: иерархия, типы, парагенетические ряды // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1996б. № 4. С. 15–26.

Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Многообразие инженерно-геологических структур Земли // Геозкология. 1999. № 2. С. 157–163.

Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: Изд-во КДУ, 2010.

Поступила в редакцию
23.03.2016