Записки Санкт-Петербургского горного института им.Г.В.Плеханова.
Т. 133. СПб, 1992

УДК 624:131.31

Я.В.НЕИЗВЕСТНОВ

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ И ТИПИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

В развитии теории и практики инженерно-геологического районирования выделяют два этапа.

На первом из них (60-80-е годы нашего столетия) инженерно-геологическое районирование рассматривалось как средство оценки инженерно-геологических условий континентов, иногда вместе с их подводным продолжением на шельф. Общие принципы инженерно-геологического районирования совпадали с принципами любого природного районирования. Наиболее полно эти основные принципы сформулированы А.Д.Арманом в следующем виде*:

1. Суммарная площадь выделенных таксономических единиц должна быть равной площади делимой территории.

2. Классификационные признаки должны выбираться так, чтобы каждая точка изученной территории попадала только в одну из выделенных территориальных единиц и ни одна не могла попасть в несколько единиц того же ранга.

3. В пределах одной таксономической единицы все границы единиц следующего, более высокого ранга должны проводиться по признакам одного порядка. Классификационный признак может изменяться от одной ступени районирования к другой.

4. Каждая граница между выделенными таксономическими единицами должна проводиться по одному, вполне определенному классификационному признаку.

Признаки районирования, разработанные в общем виде И.В.Поповым, подразделяются на две группы: региональные и зональные [II]. Применительно к различным областям территории России с учетом вышеперечисленных принципов и рекомендаций И.В.Попова разработаны схемы инженерно-геологического районирования. Практически во всех этих схемах в качестве инженерно-геологических регионов первого порядка приняты крупные геоструктурные территории России: древние и молодые платформы (плиты); орогенные области завершенной складчатости, фиксированные по региональным геологическим признакам. Однако уже

* Цитируются по В.Т.Трофимову [12] с некоторыми сокращениями.

выделение таксономических единиц следующего ранга (регионов второго порядка) в разных схемах осуществлено по-разному.

Так, в качестве регионов первого порядка выступают докембрийские платформы, молодые плиты, орогенные области байкальской, каледонской, герцинской, киммерийской и альпийской складчатости. Дальнейшее их районирование также осуществлено по структурно-тектоническому признаку без учета, как правило, физико-географической зональности. С учетом зональных факторов формирования инженерно-геологических условий осуществлено районирование Западно-Сибирской плиты [I2] и Уральско-Пайхойско-Новоземельского пояса герцинид [2].

В схеме районирования инженерно-геологического региона Западно-Сибирской плиты по В.Т.Трофимову в качестве регионов второго ранга, исходя из преобладающих инженерно-геологических классов пород, слагающих "грунтовую толщу", выделены провинции. Под классами, в соответствии с классификационной схемой Е.М.Сергеева, понимаются породы с жесткими связями (скальные?) или без жестких связей (нескальные). Провинции, в свою очередь, разделены на зоны по состоянию пород грунтовой толщи (мерзлое, немерзлое), зависящем во многом от современной физико-географической зональности. По характеру многолетнемерзлой толщи (сплошной, прерывистой, островной) и степени увлажненности немерзлых пород выделены подзоны, среди которых, в свою очередь, по характеру рельефа различают области.

В рассматриваемой схеме инженерно-геологического районирования не нашла отражения субмаринная часть Западно-Сибирской плиты, слагающая юго-западную часть Карско-морского шельфа. Как показали результаты инженерно-геологических исследований, развернувшихся в конце 70-х и 80-е годы, субмаринная часть плиты могла бы быть охарактеризована как полярно-шельфовая инженерно-геологическая зона, с широким развитием "слабых" донных осадков и наличием многолетнемерзлых донных отложений преимущественно островного типа.

Урало-Пайхойско-Новоземельский горно-складчатый пояс, включающий в себя Пайхойско-Новоземельский и Уральский инженерно-геологический регионы, разделен на инженерно-геологические зоны. Зоны, как у В.Т.Трофимова, выделены, исходя из состояния покровных отложений: зона покровного оледенения многолетнемерзлых пород и шельфа Пайхойско-Новоземельского региона; Северная зона распространения многолетнемерзлых пород, Центральная зона сильноувлажненных покровных отложений и Южная зона развития слабоувлажненных просадочных покровных отложений Уральского региона.

Второй этап развития теории инженерно-геологического районирования (с 80-х годов) знаменуется глобальным подходом к проблеме. Наиболее ярко этот подход отражен в статье С.Б.Ершовой и Е.М.Сергеева [3]. Дальнейшее развитие глобальный подход к районированию получил в международной монографии [I3]. Вслед за И.В.Поповым инженерно-геологическое районирование Земли С.Б.Ершова и Е.М.Сергеев предлагают осуществить по двум группам ведущих факторов: региональных геологических и зональных (зонально-геологических). С учетом разработок Н.И.Николаева по неотектоническому районир

ванию мира (1970, 1979), классификация геоструктурных единиц для типологического инженерно-геологического районирования выделяет в первую очередь надпорядковые (планетарные) геоструктуры (материки, переходные структуры и океаны) и классы регионов (платформы, орогены и рифтогены на материках; островные дуги и глубоководные котловины в переходных структурах; платформы, орогены и рифтогены в океанах).

В качестве классов регионов на материках предложено различать платформы, орогены и рифтогены, среди переходных структур - новейшие геосинклинали и материковые склоны, в океане - платформы, орогены и рифтогены. На материках и в переходных структурах выделены также подклассы (древние и молодые платформы; эпиплатформенные и эпигеосинклинальные орогены; островные дуги и глубоководные котловины) и типы регионов (щиты и плиты платформ; орогены с различным возрастом складчатого основания на материках; геосинклинальные и вулканические островные дуги).

Классификация зонально-геологических единиц для типологического инженерно-геологического районирования Земли выделяет также среды, наземную и подводную; пояса немерзлых и мерзлых пород; зоны слабо-, умеренно-, сильноувлажненных пород, многолетнемерзлых пород и льда; подзоны с сезонным промерзанием или без него, а также подзоны прерывистого и сплошного распространения многолетнемерзлых пород с сезонным оттаиванием и, наконец, ледников.

В принципе схема С.Б.Ершовой и Е.М.Сергеева позволяет раскрыть инженерно-геологическую структуру Земли, подразделив ее на конечное число типов площадей, обладающих едиными региональными и зональными особенностями формирования инженерно-геологических условий, что обеспечивает целенаправленное изучение в этом отношении как Земли в целом, так и отдельных ее областей на основе типизации. Однако, с нашей точки зрения, данная схема нуждается как в дополнении, так и в выявлении инженерно-геологической сущности таксономических единиц районирования. В дополнении прежде всего нуждается районирование Океана, в котором наряду с системой океанских платформ (впадин), образующих собственно океанское ложе, следует выделить системы срединно-океанических хребтов, суммарная площадь которых близка к площади континентов.

Таким образом, надпорядковые инженерно-геологические структуры Земли включают в себя континенты, континентальные склоны и другие переходные структуры от континентов к океанам, океанское ложе и срединно-океанические хребты.

Зональные таксономические единицы, выделенные С.Б.Ершовой и Е.М.Сергеевым, должны быть дополнены зонами покровного оледенения и субмаринными зонами континентов. Зональность же океанов, наряду с широтной и вертикальной, включает и циркумконтинентальную. Вместе с тем для обоснования границ между инженерно-геологическими таксонами следует выяснить их инженерно-геологическую сущность. Существующая тенденция отождествления таксономических единиц инженерно-геологического районирования с геоструктурами или

морфоструктурами различных порядков не способствует ни четкому проведению границ между ними, ни строгой типизации инженерно-геологических условий, что снижает познавательное значение процесса районирования при изучении региональных инженерно-геологических условий.

Прежде всего рассмотрим сущность понятия инженерно-геологические условия, которые могут быть представлены в виде следующей системы [10]:

Подсистема	Элемент
Грунты (горные породы и донные осадки техногеосферы)	Стратификация, условия залегания; положение в рельефе; состав (вещественный, минералогический, агрегатный); состояние (по степени водонасыщения и фазового состояния воды, по напряженности); свойства (необходимые для расчета взаимодействия с сооружениями и механизмами; физические, прочностные, деформационные, реологические, тиксотропные, адгезионные, фильтрационные)
Подземные (поровые, трещинные и др.) воды	Химический, солевой состав; состояние по степени связности; свойства, характеризующие агрессивность и коррозионную активность среды
Геологические процессы и явления (естественные и спровоцированные внешним воздействием)	Землетрясения, извержения вулканов, обвалы, оползни, смывы, просадки, промерзание-оттаивание, карст (известковистый, соляной, термический), солифлюкция, перенос взвесей водными потоками, размыв и т.д.
Инженерные сооружения и механизмы	Удельное давление на основание, характер взаимодействия с грунтом и т.д.

Логический анализ показывает, что главным компонентом инженерно-геологических условий являются горные породы и осадки, взаимодействующие с инженерными сооружениями, слагающие те или иные площади и определяющие характер подземных вод, геологических процессов и явлений. Поэтому логично в основу типологического инженерно-геологического районирования положить характер грунтов, слагающих те или иные площади. Характер грунтов определяется инженерно-геологическими классификациями. За основу подразделения горных пород в целях инженерно-геологического районирования удобнее всего принять классификацию Саваренского - Ломтадзе и Я.В.Неизвестнова [9]. В последней из них среди горных пород и донных осадков континента и океана по своим инженерно-геологическим свойствам выделены три класса грунтов: устойчивых, относительно устойчивых и неустойчивых - с подразделением на группы грунтов твердых скальных, относительно твердых полускальных, рыхлых, мягких, слабых, растворимых и неустойчивого фазового состояния.

Инженерно-геологическая сущность надпорядковых структур районирования определяется свойствами слагающих их горных пород и осадков. Континенты представляют собой системы регионов, сложенных преимущественно относительно устойчивыми нескальными и устойчивыми скальными грунтами, переходные от континента к океану структуры - системы регионов с существенным развитием неустойчивых горных пород, сцементированных кристаллогидратам природных газов; ложе океана - системы регионов, сложенных преимуществе но слабыми грунтами (донными осадками), срединно-океанические хребты - системы регионов, сложенные преимущественно устойчивыми скальными горн породами.

Регионы первого и второго порядков в схеме типологического районирования континентов, переходных зон и океанов должны выделяться также с учетом принципов А.Д.Арманда.

В качестве признаков районирования на этих уровнях мы предлагаем принять инженерно-геологические классы и группы дочетвертичных пород, слагающих крупные геоструктурные области континента и океана непосредственно под чехлом рыхлых четвертичных (неоген-четвертичных) отложений. По этому признаку на континенте выделяются два основных типа регионов. Первый из них характеризуется широким развитием скальных и полускальных дочетвертичных пород, нередко выходящих на поверхность; второй - широким развитием нескальных дочетвертичных горных пород, перекрытых чехлом выдержанной мощности.

К первому типу регионов относят щиты платформ и орогены, сложенные складчатым комплексом горных пород различного возраста; ко второму типу - плиты древних и молодых платформ и орогенные впадины, сложенные слабодислоцированными и слаболитифицированными дочетвертичными и четвертичными отложениями. Каждый из перечисленных основных типов инженерно-геологических регионов в зависимости от относительного содержания в складчатых структурах нескальных (полускальных, рыхлых, мягких) пород может быть подразделен на ряд подтипов. Учитывая зависимость степени литификации горных пород от возраста складчатости, выделяют следующие подтипы субрегионов, сложенных преимущественно скальными породами добайкальской, байкальско-палеозойской, мезозойской и альпийской консолидации; а также мезозойские и кайнозойские вулканические пояса и современные геосинклинали.

По мере омоложения складчатости увеличивается объем полускальных пород в складчатых структурах за счет уменьшения скальных. В то же время увеличивается интенсивность современных геологических процессов.

Регионы второго типа подразделяют на подтипы: плиты древних и молодых платформ (впадин). Плиты молодых платформ характеризуются более широким развитием мягких и рыхлых пород повышенной мощности, сверхгидростатическими пластовыми давлениями и относительно активными геологическими процессами.

На океанском ложе в качестве инженерно-геологических регионов первого порядка выделяются обширные котловины, сложенные существенно нескальными донными отложениями мощностью до нескольких сотен метров, разделенные хребтами чаще всего вулканического происхождения, представленными скальными магматическими породами, принятые также в качестве регионов первого порядка, но уже другого типа.

На срединно-океанических хребтах принцип выделения регионов первого порядка остается прежним. Но регионы первого порядка, сложенные преимущественно нескальными породами, в морфологическом отношении представляют собой пологие участки склонов, в пределах которых магматические породы перекрыты сплошным чехлом рыхлых осадков мощностью в несколько десятков и сотен метров. Регионы, сложенные магматическими скальными породами, приурочены к приосевой части хребтов, включая рифтовые долины.

На этих же принципах можно осуществить районирование зон перехода континентов к океану.

Дальнейшее районирование Земли в целях глобального изучения инженерно-геологических условий целесообразно проводить по зонально-геологическим признакам, как уже отмечалось выше. Под этими признаками подразумеваются в первую очередь зональные изменения состояния и физико-механических свойств главным образом четвертичных отложений под влиянием физико-географических факторов.

Для континентов различают зоны, характеризующиеся развитием новейших отложений различного состава, состояния и свойств: зоны покровных льдов, многолетнемерзлых пород, немерзлых сильноувлажненных отложений, немерзлых слабоувлажненных засоленных (лессовых) пород, насыщенных солеными водами слабых донных осадков и отложений на шельфе. Зоны в свою очередь подразделяются на подзоны.

В океане – это широтные, вертикальные и циркумконтинентальные зоны развития терригенных, биогенных и гальмиролитических осадков различного состава.

Границы между зонами и подзонами континентов проходят или по четко выраженным физико-географическим рубежам, таким как нижняя кромка покровных льдов и берег моря, или по контактам между четвертичными отложениями различного состава, состояния и свойств. Положение границ подчиняется (исключая границу море – суша) широтной и вертикальной климатической зональности. Границы чаще всего ориентированы в близширотном направлении. Однако для высокогорных систем они нередко приобретают концентрический характер.

Зависимость положения зональных инженерно-геологических границ от широтной и вертикальной климатической зональности четче всего можно проследить по положению покровных ледников в различных климатических регионах Земли. Хионосфера – область формирования ледников – ограничена снеговой линией, гипсометрически выше которой аккумуляция льда осадочного происхождения преобладает над абляцией. Абсолютная отметка положения снеговой линии изменяется от 0–100 м на Земле Франца-Иосифа до 2700–3700 м на Кавказе

Если типизацию инженерно-геологических условий континентов проводить по наиболее крупным таксономическим подразделениям (два типа регионов, пять зон), то окажется десять типов инженерно-геологических условий.

Более дробная типизация по субрегионам и подзонам (см. таблицу) определяет возможность существования 77 типов инженерно-геологических условий, из которых 60 изучено с большей или меньшей детальностью.

Типизация инженерно-геологических условий континентов по предложенной схеме и изучение по двум представителям каждого подтипа позволяет судить об общих инженерно-геологических условиях всех континентов.

На территории бывшего СССР распространены все выделенные регионы и субрегионы, характеризующиеся инженерно-геологическими условиями, соответствующими 40–45-му типам (см. таблицу):

Тип	Субрегион
I	Балтийский, Анабарский, Алданский щиты и Украинский кристаллический массив
II	Урало-Новоземельская, Таймыро-Североземельская, Монголо-Охотская (без Буреинского массива) складчатые области, Казахстанская, Тянь-Шаньская, Алтае-Саянская и Забайкальская горные страны, Норильско-Туруханская и Енисейская складчатые зоны
III	Верхояно-Колымская, Алазейская, Новосибирско-Чукотская, Чукотская, Охотско-Корякская и Сихотэ-Алинская складчатые системы и Буреинский массив
IУ	Карпатская, Кавказская, Копетдагская, Памирская, Сахалинская, Западно-Камчатская складчатые области и системы
У	Охотско-Чукотское и Восточно-Сихотэ-Алинское звенья Восточно-Азиатского вулканогенного пояса и надводная часть Курило-Камчатского вулканогенного пояса и Олюторской геосинклинальной складчатой системы,* не завершившей своего развития с наложенными современными Срединным и Восточным вулканогенными поясами
УI	Восточно-Европейская (Русская и Сибирская плиты)
УII	Западно-Сибирская, включающая юго-западную часть шельфа Карского моря; Баренцевская, включающая Печорскую синеклизу; Скифская; Туранская; Лаптевская; Восточно-Сибирско-морская-Чукотская, включающая Колымскую впадину; Лено-Енисейские мезозойские прогибы и кайнозойские впадины складчатых областей Дальнего Востока, включая впадины Берингова, Охотского и Японского морей

Зона покровных льдов, представленная двумя подзонами, характерна для субаэральных участков молодых плит и складчатых областей на островах Арктики (Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и Северная Земля), а также для высокогорных складчатых систем юга бывшего СССР.

Зона многолетнемерзлых пород с двумя подзонами характерна более чем для для половины территории бывшего СССР: для северо-восточной части Русской плиты, Северного и Полярного Урала и большей части территории Сибири и Дальнего Востока.

Зона немерзлых сильноувлажненных и водонасыщенных отложений, представленная подзоной с сезонным промерзанием, широко развита на Русской плите, однако на востоке России ширина ее сокращается и в ряде мест к югу от зоны многолетнемерзлых пород располагается зона немерзлых слабоувлажненных засоленных (лессовых) пород с сезонным промерзанием. Эта зона характерна почти для всей территории юга бывшего СССР.

Зона со слабыми осадками, насыщенными соленными водами, окаймляет с севера и востока территорию России, располагаясь на дне шельфовых морей Северного Ледовитого и Тихого океанов, занимает также дно Балтийского моря и относительно небольшие площади, окаймляющие глубоководные Каспийскую и Черноморскую впадины. Эту зону слагают молодые плиты и частично все остальные типы регионов.

Характеристика инженерно-геологических условий названных типов содержится в ряде монографий [I,4-8,I2].

* Глубоководные котловины и желоба, составляющие подводную часть этой геосинклинальной системы, относятся к зоне перехода от континентальных к океанским тектоническим структурам.

Типы инженерно-геологический условий континентов
(обозначены арабскими цифрами)

Зона	Подзона	Регионы, сложенные преимущественно дочетвертичными породами						
		скальными				нескальными		
		Субрегионы						
		консолидации				Мезозойские и кайнозойские вулканические пояса и современные геосинклинали (У)	Плиты древних платформ (УI)	Плиты молодых платформ, чехлы мезозойских и кайнозойских прогибов и впадин (УII)
		архейской (I)	байкальской (II)	мезозойской (III)	альпийской (IУ)			
Покровных льдов	Сплошных (ледниковых куполов и щитов)	1	2	3	4	5	6	7
	Прерывистых (выводных, долинных ледников, сетчатого оледенения)	8	9	10	11	12	13	14
Многолетнемерзлых пород	Сплошного распространения	15	16	17	18	19	20	21
	Прерывистого и островного распространения	22	23	24	25	26	27	28
Немерзлых сильноувлажненных и водонасыщенных отложений	С сезонным промерзанием	29	30	31	32	33	34	35
	Без сезонного промерзания	36	37	38	39	40	41	42
Немерзлых слабоувлажненных засоленных (лессовых) пород	С сезонным промерзанием	43	44	45	46	47	48	49
	Без сезонного промерзания	50	51	52	53	54	55	56
Насыщенных солеными водами слабых донных осадков и отложений на шельфе	Обломочно-глинистых частично мерзлых	57	58	59	60	61	62	63
	Преимущественно обломочно-глинистых немерзлых	64	65	66	67	68	69	70
	Преимущественно карбонатных немерзлых	71	72	73	74	75	76	77

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геокриология СССР. М.: Недра, 1989. Кн. 1. 356 с. Кн. 2. 454 с. Кн. 3. 414 с. Кн. 4. 515 с. Кн. 5. 359 с.

2. З а х а р о в М.С., Н е и з в е с т н о в Я.В. Инженерная геология горно-складчатого обрамления Восточно-Европейской платформы. Урало-Пайхойско-Новоземельский пояс / Ленинградский горный ин-т. Л., 1987. 64 с.

3. Е р ш о в а С.Б., С е р г е е в Е.М. Особенности инженерно-геологического типологического районирования Земли // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. М.: Изд-во Московского ун-та. 1983. Вып. 5. С. 284-304.

4. Инженерная геология СССР. М.: Изд-во Московского ун-та, 1978-1979. Т. 1. 528 с. Т. 2. 495 с. Т. 3. 670 с. Т.4. 502 с. Т. 5. 220 с. Т.6. 296 с. Т. 7. 351 с. Т. 8. 365 с.

5. Инженерная геология СССР. Алтае-Саянский и Забайкальский регионы. М.: Недра, 1990. 375 с.

6. Инженерная геология СССР. Западно-Сибирская и Туранская плиты. М.: Недра, 1990. 664 с.

7. Инженерная геология СССР. Урал, Таймыр и Казахская складчатая страна. М.: Недра, 1990. 408 с.

8. Инженерная геология СССР. Шельфы СССР. М.: Недра, 1990. 240 с.

9. Н е и з в е с т н о в Я.В. Общая инженерно-геологическая классификация донных грунтов океана // Методы изучения физико-механических свойств донных отложений Мирового океана: Сборник статей / ПГО "Севморгеология". Л., 1989. С. 47-58.

10. Н е и з в е с т н о в Я.В., Б р о н и н В.Н. Теоретические основы инженерной геологии глубоководных областей океана // Там же. С. 7-18.

11. П о п о в И.В. Инженерная геология СССР. М.: Изд-во Московского ун-та, 1961. Ч. 1. 178 с.

12. Т р о ф и м о в В.Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. М.: Изд-во Московского ун-та, 1977. 276 с.

13. Engineering Geology of the Earth Nauka Publishers. M., 1989. 247 p.