

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИИ)

AN ENGINEERING-GEOLOGICAL MAP OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

СПЕКТОР В.Б.

Главный научный сотрудник лаборатории общей геокриологии Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, д. г.-м. н., г. Якутск, vbspector@mpi.ysn.ru

ШЕСТАКОВА А.А.

Научный сотрудник группы геоинформатики Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН; доцент кафедры мерзлотоведения геологоразведочного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, к. г. н., г. Якутск, aashest@mail.ru

ТОРГОВКИН Я.И.

Руководитель группы геоинформатики Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, к. г. н., г. Якутск, torgovkin@mpi.ysn.ru

СПЕКТОР В.В.

Заведующий лабораторией общей геокриологии Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, к. г. н., г. Якутск, vvspector@mpi.ysn.ru

SPEKTOR V.B.

Chief researcher of the General Geocryology Laboratory of the Melnikov Permafrost Institute of the SB RAS, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Yakutsk, vbspector@mpi.ysn.ru

SHESTAKOVA A.A.

Researcher of the Geoinformatics Group of the Melnikov Permafrost Institute of the SB RAS; associate professor of the Permafrost Department of the Ammosov North-Eastern Federal University, PhD (Candidate of Science in Geography), Yakutsk, aashest@mail.ru

TORGOVKIN YA.I.

Head of the Geoinformatics Group of the Melnikov Permafrost Institute of the SB RAS, PhD (Candidate of Science in Geography), Yakutsk, torgovkin@mpi.ysn.ru

SPEKTOR V.V.

Head of the General Geocryology Laboratory of the Melnikov Permafrost Institute of the SB RAS, PhD (Candidate of Science in Geography), Yakutsk, vvspector@mpi.ysn.ru

Ключевые слова:

инженерно-геологическая карта; мерзлые грунты; инженерно-геокриологические условия; районирование; грунтовые условия; гидрогеологические условия; морфоструктура; сейсмичность; экзогенные процессы; Республика Саха (Якутия).

Key words:

engineering-geological map; frozen soils; engineering-geocryological conditions; zoning; soil conditions; hydrogeological conditions; morphostructure; seismicity; exogenous processes; Republic of Sakha (Yakutia).

Аннотация

Составленная авторами инженерно-геологическая карта территории Республики Саха (Якутия) охватывает площадь около 3 млн кв. км. На ней показаны грунтовые и геокриологические условия, выделены активные разломы, а на врезках — сейсмичность, схемы районирования по различным факторам инженерно-геологических условий и общая схема инженерно-геологического районирования. Особенностью этой карты является отражение почти повсеместного распространения на территории Якутии мерзлых грунтов. Выделены их виды по литологическим признакам и разновидности по температурным характеристикам. В пределах республики распространены преимущественно пресные и ультрапресные надмерзлотные воды. В закартированную территорию входят части двух сейсмических поясов — Арктико-Азиатского и Байкало-Станового, существенно усложняющие инженерно-геологические условия.

Abstract

The engineering-geological map of the Sakha Republic (Yakutia) territory, which was constructed by the authors, covers about 3 million square kilometers. This map shows the soil conditions, geocryological conditions, and active faults. The insets show the seismicity, schemes of zoning by various factors of engineering-geological conditions, and a general scheme of engineering-geological zoning. A special feature of this map is the reflection of the almost ubiquitous distribution of frozen soils in the territory of Yakutia. Types of frozen soils according to lithological signs are shown, and their varieties by temperature characteristics are depicted. Fresh and ultra-fresh suprapermfrost water is predominant within the republic. This territory includes parts of the Arctic-Asian seismic belt, and the Baikal-Stanovoy seismic belt. This substantially complicates the engineering-geological conditions.

Введение

Инженерно-геологическая карта Республики Саха (Якутии) была составлена для обобщения данных по инженерно-геологическим условиям этой территории. Изображение пространственных закономерностей изменений инженерных условий было проведено с детальностью, соответствующей масштабу 1:1 500 000, достаточной для планирования размещения и оценки экологических последствий строительства и эксплуатации крупных промышленных и гражданских объектов в пределах Якутии. Указанная карта составлена в электронном варианте в формате ArcGIS 10.1 (рис. 1, 2).

Актуальность рассматриваемой карты объясняется необходимостью опережающего информационного обеспечения Программы комплексного развития производительных сил Востока России, в том числе Республики Саха — крупнейшей (3,2 млн кв. км) административной единицы РФ, обладающей наиболее значительными природными ресурсами.

Научное значение рассматриваемой карты заключается в систематизации данных по особенностям пространственного распределения различных факторов инженерно-геологических условий и их взаимовлиянию, а также в возможности ее использования для прогноза изменений окружающей среды в результате строительства и эксплуатации различных объектов.

Современное состояние проблемы инженерно-геологического картирования территории Республики Саха (Якутии)

В настоящее время планы развития Востока России не обеспечены в достаточной мере информацией по инженерно-геологическим условиям, в том числе пространственной характеристикой этих условий в виде современной среднемасштабной инженерно-геологической карты.

На ранее составленных крупномасштабных инженерно-геологических картах отдельных промышленных объектов Якутии представлены особенности состава, распространения и температуры грунтов. В меньшей степени освещены проблемы агрессивности поверхностных вод, экзогенных и эндогенных процессов. Эти карты являются специализированными, по площади они не покрывают в сумме и 1% территории республики и не дают достаточного представления о разнообразии и особенностях ее инженерно-геологических условий.

Общие представления об инженерно-геологических условиях рассматриваемой территории можно получить из обзорной «Инженерно-геологической карты СССР масштаба 1:2 500 000» (составленной в 1968 году и изданной в 1972 году), которая характеризует главным образом грунтовые условия, но при этом не отражает криологические характеристики грунтов, имеющие большое значение для оценки устойчивости возводимых сооружений.

В 2008–2010 гг. во ФГУП «ВСЕГИНГЕО» под редакцией и руководством ведущих специалистов в области инженерной геологии профессора В.Т. Трофимова и профессора В.С. Круподерова была создана электронная «Современная инженерно-геологическая карта территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000» [7]. В ее составлении наряду со многими научными организациями России принимал участие и Институт мерзловедения им. П.И. Мельникова СО РАН, специалисты

которого вошли в авторский коллектив этой карты. Она была составлена с применением ряда новых методических приемов, которые были частично использованы и при создании «Инженерно-геологической карты Республики Саха (Якутии) масштаба 1:1 500 000» (см. рис. 1). Последняя в определенной мере развивает идеи, заложенные в карте России [7], но является несколько более детальной в отношении выделения видов и разновидностей грунтов и количества грунтовых полигонов.

Важными отличительными особенностями предлагаемой карты Якутии являются выделение на ней самостоятельного класса мерзлых грунтов и отражение собственно грунтовых и криогенных свойств для любого из выделенных полигонов (см. рис. 2). С ее помощью есть возможность проанализировать влияние различных природных (грунтовых, геокриологических, гидрогеологических и пр.) факторов на формирование инженерно-геологических условий и выделение отдельных таксонов районирования, выбрать наиболее рациональные пути решения инженерных проблем, провести планирование размещения наиболее важных объектов и предваряющих их инженерных исследований.

Методические подходы к отображению инженерно-геологических условий на предлагаемой карте. Легенда карты

К инженерно-геологическим условиям по В.Т. Трофимову [10] относятся: закономерности геологического строения территории; ее рельеф; состав, строение и свойства грунтов; мерзлотно-геологические условия; гидрогеологические условия; современные эндо- и экзогенные геологические процессы, включая современные тектонические процессы и сейсмичность.

Как показывает опыт освоения территории Якутии, общим фактором, контролирующим планирование и размещение инженерных объектов, является экономический фактор, заключающийся в наличии транспортных путей (преимущественно крупных рек) и удобных площадей для строительства — низких надпойменных террас и равнин. В условиях такого или близкого к нему равнинного рельефа при сплошном развитии многолетней мерзлоты в качестве главных критериев размещения инженерных сооружений выступают грунтовые и мерзлотные (грунтово-мерзлотные), затем гидрогеологические и прочие условия. В соответствии с этим в легенде предлагаемой карты информация была сгруппирована по трем основным блокам инженерно-геологических условий:

- 1) грунтово-криогенным;
- 2) гидрогеологическим;
- 3) динамическим.

При таком разделении авторы старались учесть взаимовлияние разных факторов этих условий, что отражено на рис. 3.

Источником информации для составленной карты были материалы среднемасштабной геологической съемки, а также следующие обобщения, сделанные в разные годы по данным этих работ:

- «Геологическая карта Якутской АССР масштаба 1:1 500 000» [3];
- «Геологическая карта Республики Саха (Якутии) масштаба 1:1 500 000» [1];
- монография «Геология Якутской АССР» [4];
- «Геокриологическая карта СССР масштаба 1:25 000 000» [2];

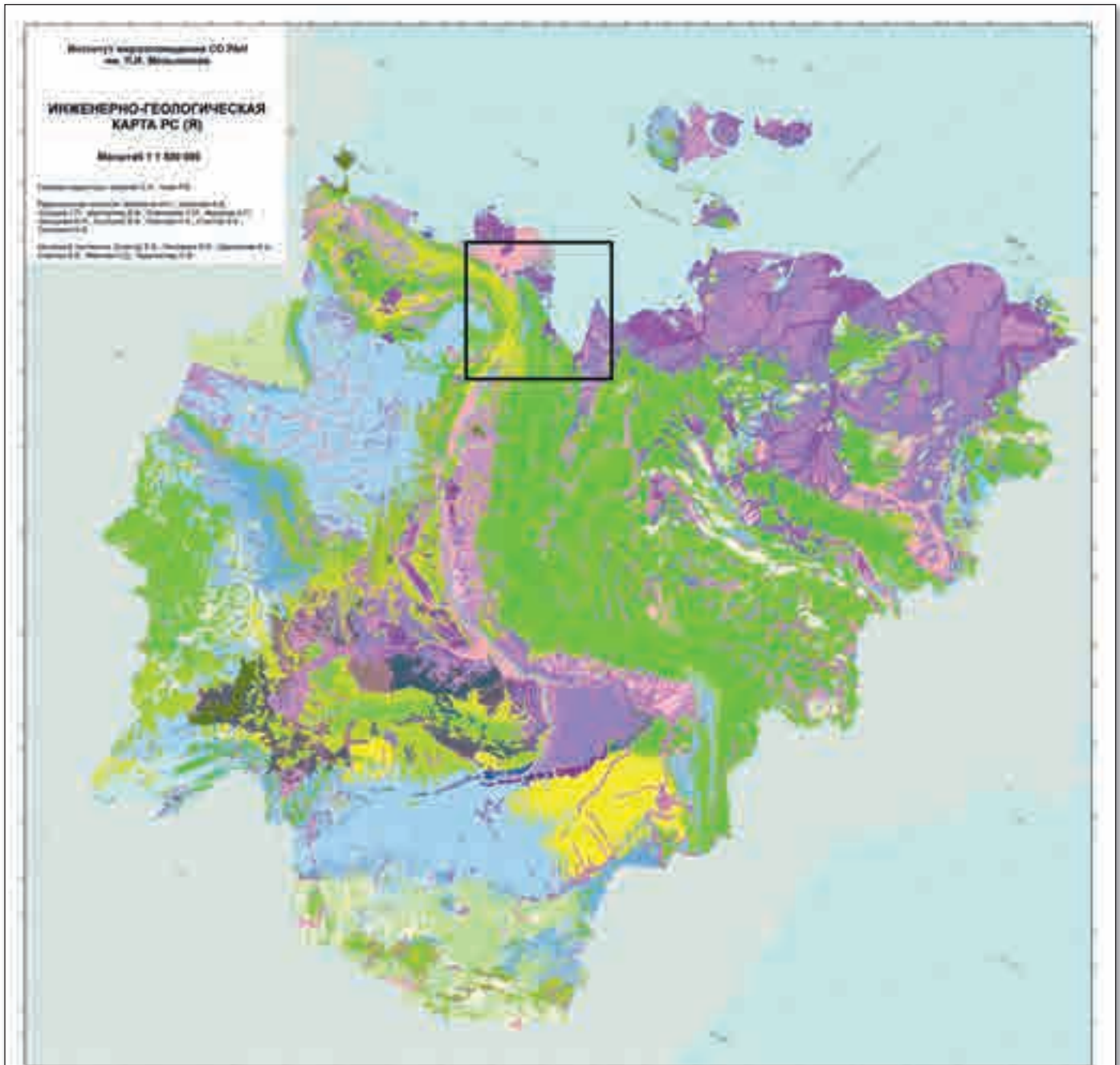


Рис. 1. Инженерно-геологическая карта Республики Саха (Якутии) масштаба 1:1 500 000, составленная в Институте мерзлотоведения СО РАН. Черным квадратом выделен фрагмент, показанный на рис. 2. Используемые на карте цвета расшифрованы в легенде к рис. 2

- блоки «Геологической карты Республики Саха (Якутии) масштаба 1:500 000», изданные в разные годы,
- и другие работы, хранящиеся в фондах Государственного комитета по геологии и недропользованию Республики Саха (Якутии) и в фондах Института мерзлотоведения СО РАН.

При составлении электронного макета карты каждый из типов инженерно-геологических условий был помещен в собственный слой проекта. При создании макета карты на твердом носителе для каждого из типов были использованы собственные изобразительные средства. Грунтово-геокриологические условия на карте отражены с помощью заливок разных цветов и цифровых обозначений в виде дробей: число над чертой относится к литологии грунтов, под чертой — к их криогенным характеристикам (см. рис. 2). Эти обозначения расшифрованы в легенде к рис. 2, а для выделенных разновидно-

стей грунтов по геокриологическим свойствам — также в табл. 1.

Динамические условия отражены на карте при помощи линейных условных знаков, буквенных обозначений, карт-врезок и вспомогательных таблиц. В частности, активные современные разрывные нарушения показаны линейными знаками (в данной статье они не приводятся во избежание перегруженности рисунков и легенд). Особенности рельефа (морфоструктуры) отражены с использованием линейных знаков для границ регионов (на рис. 4). Виды и наименования морфоструктур, а также наиболее опасные виды экзогенных (главным образом криогенных) процессов представлены в табл. 2. Для сейсмической характеристики территории была составлена специальная карта-врезка, которая в данной статье не приводится.

Схема районирования инженерно-геологических условий территории также представлена в виде мелко-



масштабной (1:15 000 000) карты-врезки (см. рис. 4). Каждая из областей охарактеризована с точки зрения главных черт морфоструктур, грунтовых условий, активных экзогенных процессов.

Составленная инженерно-геологическая карта сопровождается базой данных (в данной статье они не приводятся), состоящей из схемы полигонов и поясняющей таблицы. На этой схеме на упрощенной топографической основе нанесены контуры и указаны номера всех полигонов, количество которых на карте составляет около 7 000. В поясняющей таблице приводятся сведения для каждого из пронумерованных полигонов: геологический возраст грунтов, их литологический состав, номера знаков грунтовой и геокриологической составляющих в легенде.

Грунтовая составляющая на инженерно-геологической карте представлена как часть единой криогенной геосистемы [12], под которой понимается геологическое образование (в нашем случае грунтовое тело или их совокупность) вместе с совокупностью ледяных включений (криогенное строение). Термин «грунты» означает «любые горные породы, почвы, осадки и антропогенные геологические образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы, исследуемые в связи с планируемой, осуществляемой или осуществленной инженерной деятельностью человека» [9].

Сложность и многокомпонентность грунта подчеркивается не только в статье [9], но и в более поздних работах В.Т. Трофимова, где он указывает, что в общем случае грунт — это минеральная или минерально-органическая, органоминеральная многокомпонентная многофазная система, которая включает твердый, жидкий и газообразный компоненты [11]. В нашем случае в области сплошного распространения многолетней мерзлоты грунтовая (более строго — литогенная) составляющая является основой криогенной геосистемы, которая состоит из двух подсистем — литогенной и криогенной. Как пишет А.Н. Хименков [12], «литогенная основа является системообразующим фактором, который через закономерные изменения вещественного состава определяет особенности процессов криогенеза и в конечном счете пространственное распределение и морфологию ледяных элементов. Выбор литогенной (грунтовой). — Авт.)

составляющей в качестве базового структурного элемента позволяет выделять границы криогенных (мерзлотно-грунтовых. — Авт.) геосистем различных иерархических уровней» [12]. С этих системных позиций В.Т. Трофимов рассматривает грунты как синкриогенные и эпикриогенные породы. Если следовать данной логике, то все мерзлые и морозные породы можно рассматривать как самостоятельный класс грунтов.

На составленной карте выделены криогенные геосистемы низких иерархических уровней — грунтовые «монопородные» тела или их ассоциации, объединяемые по признаку сходства физических и прежде всего прочностных свойств. Эти тела не могут быть названы ни геологическими формациями, ни фациями, поскольку нередко объединяют разновозрастные геологические единицы.

Состав грунтов отражает действие большинства из перечисленных факторов инженерно-геологических условий. В силу длительности дочетвертичной геологической истории геологическое строение и связанные с ним эндогенные процессы отражаются в распространении тех или иных видов и разновидностей скальных грунтов. Четвертичная история, сопровождаемая активными экзогенными процессами, отражается в распространении различных видов дисперсных грунтов.

Таким образом, состав и свойства грунтов являются интегральным фактором. Распространение их видов и разновидностей отражает геологическое строение, активность современных экзогенных процессов и длительно протекающие эндогенные процессы.

Грунтовому фактору отведена традиционная главная роль среди объектов, отображаемых на инженерно-геологических картах, и наиболее выразительное средство отображения — цвет.

Практически вся рассматриваемая территория относится к области сплошного распространения многолетней мерзлоты. Тем не менее в рамках принятого подхода криогенный фактор в плане оценки физических свойств грунтов не имеет самостоятельного значения. Как показано выше, этот фактор формирует криогенную подсистему единой геосистемы [5, 12]. «Криогенная подсистема представлена ледяными включениями или целиком состоит из льда» [12]. В это определение не включен температурный показатель. Для рассматриваемой

Таблица 1

Разновидности грунтов по геокриологическим свойствам					
Класс грунтов	Температура грунтов на подошве слоя годовых колебаний температуры, °С	Номера условных знаков на рис. 2 (под чертой) для льдистости грунтов			Разновидности грунтов по физическим и геокриологическим свойствам и особенностям
		сильной (> 50%)	средней (10–50%)	слабой (< 10%)	
Морозные скальные и полускальные	< -5	1	2	3	Морозные, высокой прочности с преобладанием жильных криогенных текстур
	-3 ÷ -5	4	5	6	
	-1 ÷ -3	7	8	9	
	0 ÷ -1	10	11	12	Сочетания морозных и талых грунтов высокой прочности с жильными криогенными текстурами, с распространением островной и прерывистой мерзлоты
Мерзлые дисперсные и сочетания дисперсных с полускальными и скальными	< -5	13	14	15	Твердомерзлые с повторно-жильными, массивными и шпировыми криогенными текстурами
	-3 ÷ -5	16	17	18	
	-1 ÷ -3	19	20	21	Пластичномерзлые
	0 ÷ -1° С	22	23	24	Пластичномерзлые и талые, нередко массивные и шпировые криогенные текстуры, с распространением островной и прерывистой мерзлоты
	-1 ÷ +1	25	-	-	Пластичномерзлые и талые, нередко массивные и шпировые криогенные текстуры, с частым чередованием талых и мерзлых грунтов

карты такой показатель имеет большое значение, поскольку от него зависят прочностные свойства грунтов. Мерзлые льдистые дисперсные грунты, имеющие температуру выше минус 2 °С, являются пластичномерзлыми, а ниже этого порога являются твердомерзлыми.

В связи с пониманием мерзлых пород как единой геосистемы авторы пришли к выводу о необходимости выделения этой геосистемы в рамках условных знаков. Для отражения криогенной составляющей (температуры и льдистости) применяются цифровые и буквенные обозначения. Первые имеют вид дроби, в которой число над чертой обозначает номер знака в разделе легенды по грунтовым условиям, а число под чертой — это номер знака в разделе легенды по криогенной составляющей (см. рис. 2).

В соответствии с принятым отображением грунтовых условий с помощью цветовой заливки наиболее устойчивые разновидности мерзлых грунтов и их сочетаний отображаются на карте менее яркими и более светлыми тонами, а наименее прочные — более яркими и более густыми.

Гидрогеологический фактор отображается на карте в виде крапа. На представленных в статье рисунках это не отражено для обеспечения их лучшей читаемости. В пределах рассматриваемой территории в основном распространены надмерзлотные гравитационные воды криолитозоны, которые подразделяются на следующие три подтипа: надмерзлотная верховодка; воды сезонно-талого слоя; надмерзлотные грунтовые воды [13]. Буквой «ж» на рис. 4 обозначены площади распространения охлажденных грунтов, происхождение которых связано с развитием низкотемпературных рассолов, относящихся к надмерзлотным и межмерзлотным грунтовым водам. Гидрогеологическая характеристика будет в сокра-

щенном виде приведена при описании инженерно-геологических регионов в конце статьи.

Геоморфологический (морфоструктурный) фактор определяет главным образом интенсивность и направленность геологических процессов. Вследствие этого он косвенно влияет на формирование грунтовой составляющей инженерно-геологических условий. Наиболее активно экзогенные геологические процессы (денудация, эрозия, аккумуляция в межгорных впадинах) развиваются в пределах горных областей и высоких плато. Из-за значительного выноса продуктов разрушения горных пород в инженерно-геологическом слое горных областей преобладают скальные и полускальные грунты. Дисперсные грунты, главным образом грубообломочные, развиты в виде склоновых образований и подгорных шлейфов пролювиальных и коллювиальных отложений. На равнинах, где активные геологические процессы денудации и эрозии замедленны и преобладают процессы транзита и аккумуляции осадков, геоморфологический фактор непосредственно контролирует пространственное распределение различных по составу и свойствам грунтов — ледниковых, флювиогляциальных, аллювиальных, озерных и т.д. На ровных поверхностях плато и высоких равнин в условиях континентального сухого климата и замедленной денудации широко развиты процессы криогенного выветривания, приводящие к формированию мощного слоя криогенного элювия. Таким образом, грунтовая составляющая инженерно-геологических условий в значительной степени отражает и геоморфологический фактор, который наряду с климатическим фактором обуславливает развитие экзогенных геологических процессов.

Экзогенные процессы отражены на схеме инженерно-геокриологического районирования и в прилагаемой к

Характеристика наиболее опасных видов и интенсивности экзогенных процессов по элементам инженерно-геологического районирования территории Якутии

№	Инженерно-геологический регион	Тип ландшафта	Область инженерно-геокриологического районирования	Преобладающие инженерно-геокриологические разновидности грунтов*	Комплексы экзогенных (преимущественно криогенных) процессов**	Интенсивность экзогенных процессов, баллы
I	Равнин и плато Средней Сибири	Субарктический	I.1	з	Тг,	2
			I.2	з	Тг, КК	3
			I.3	з, г	Сл, Сп	3
			I.4	з	Тг	2
			I.5	б, в	Т, Сл	4
			I.6	е, ж	Тг, КК	3
			I.7	з	Тг, Сл	2
			I.8	г	Сл	2
			I.9	з, в	Сл, Т	3
II	Верхояно-Колымский	Арктический и субарктический	II.1	з, б	Тг, Сп	4
			II.2	з, в	Сп, Т	4
			II.3	з	Тг	4
			II.4	з	Тд, КК	4
III	Приморских равнин, низменностей и мелководного шельфа	Арктический	III.1	в	Т, Та	5
			III.2	в, з	Та, Т	5
			III.3	в, з	Т, Б	5
IV	Охотско-Чукотский	Субарктический	IV.1	з	Тг	4
			IV.2	з, б	Тг, Т	2
			IV.3	з	Тг, Сл	2
V	Байкало-Становой	Бореальный	V	з	Тг, Сл	2

* Расшифровка буквенных обозначений — см. табл. 3.

** Тг — термогравитационные процессы: морозобойное растрескивание, обвалы, курумы, осыпи, сплывы (оползни), снежные лавины, термоэрозия; Сп — сплывы (оползни); К — курумы; КК — карбонатный карст; Сл — солифлюкция; Т — термокарст; Та — термоабразия; Б — заболачивание.

Таблица 3

Инженерно-геокриологические разновидности грунтов

Температура на подошве слоя годовых колебаний температуры, °С	Дисперсные грунты				Скальные и полускальные грунты			
	Разновидность грунтов	Льдистость			Разновидность грунтов	Льдистость		
		слабая	средняя	сильная		слабая	средняя	сильная
< -2	Твердомерзлые	а	б	в	Морозные	з	и	к
0 ÷ -2,	Пластичномерзлые	г	д	е	Охлажденные	ж	-	-
> 0	Талые	л	-	-	-	-	-	-

ней таблице (см. табл. 2). В последней колонке табл. 2 приведены оценки степени опасности криогенных процессов для наземного строительства в баллах. В соответствии с классификацией, разработанной на кафедре геокриологии геологического факультета МГУ [6], криогенные процессы разделяются по степени опасности на следующие классы:

- 1) незначительно опасные;
- 2) малоопасные;
- 3) умеренно опасные;
- 4) опасные;
- 5) чрезвычайно опасные.

На схеме инженерно-геокриологического районирования выделены таксоны районирования разного ранга — регионы, области. Карта построена по принципу иерархической классификации, когда каждому из классификационных признаков присваивается определенный таксон классификации. Наивысшие классификационные таксоны — в ранге региона — были присвоены наиболее крупным элементам рельефа, которые обуславливают развитие тесно с ними связанных экзогенных (и криогенных) процессов. Второй, более низкий таксономический уровень — в ранге областей — был закреплен за грунтовой составляющей геокриологических условий.

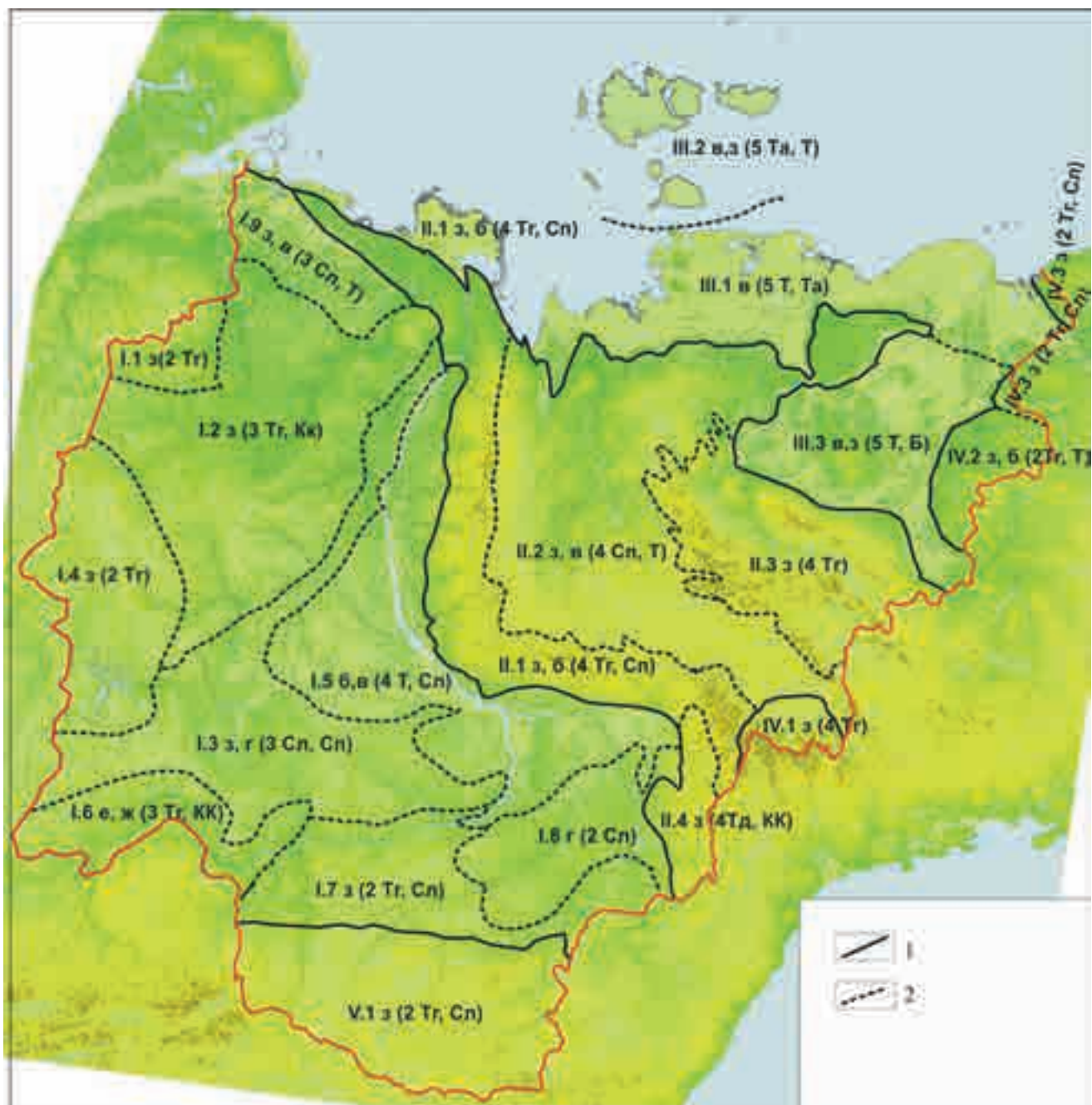


Рис. 4. Схема инженерно-геологического районирования территории Республики Саха (Якутии). Регионы: I — равнин и плато Средней Сибири, II — Верхояно-Колымский, III — приморских равнин, низменностей и мелководного шельфа, IV — Охотско-Чукотский; V — Байкало-Становой. Инженерно-геокриологические разновидности грунтов: а-е — дисперсные: а-в — твердомерзлые; г-е — пластичномерзлые; в, е — сильнольдистые; б, д — среднелльдистые; в, г — слабольдистые; з-л — скальные и полускальные; з-к — морозные; ж — охлажденные; л — талые; з — слабольдистые; и — среднелльдистые; к — сильнольдистые. В скобках: цифры — интенсивность экзогенных процессов, баллы; буквы — экзогенные (преимущественно криогенные) процессы и их проявления: Тг — термогравитационные (морозобойное растрескивание, обвалы, курумы, осыпи, сплывы (оползни), снежные лавины, термоэрозия); Сп — сплывы (оползни), К — курумы, КК — карбонатный карст, Сл — солифлюкция, Т — термокарст, Та — термоабразия, Б — заболачивание. Линейные условные знаки: 1 — границы инженерно-геологических регионов; 2 — границы инженерно-геологических областей

Сейсмичность территории отражена на схеме, прилагаемой к основной карте (в данной работе эта схема не приводится). В настоящей статье она будет сокращенно рассмотрена при характеристике регионов.

Современные активные разрывные нарушения отражены на указанной схеме сейсмичности в виде красных линий.

В пределах Якутии по морфоструктурным признакам выделено пять регионов (см. рис. 4). Рассмотрим их подробнее.

I. Регион равнин и плато Средней Сибири характеризуется разнообразием грунтовых условий: на плато это скальные грунты, на равнинах — дисперсные и полускальные. Для данного региона свойственна средняя

интенсивность экзогенных (криогенных) процессов (2–3 балла). В карбонатных породах развит карст. Для значительной части этой территории температура грунтов на подошве годовых теплооборотов составляет от минус 7 до минус 12 °С. Практически во всем регионе распространена многолетняя мерзлота и связанные с ней надмерзлотные воды сезонно-талого слоя и таликов. Для надмерзлотных вод в целом характерно однообразие химического состава. Наибольшим распространением на рассматриваемой территории пользуются ультрапресные и пресные (0,02–0,20 г/л) гидрокарбонатные кальциевые или реже магниевые воды. Регион характеризуется относительно невысокой сейсмической активностью — до 2 баллов.

II. Верхояно-Колымский регион характеризуется горным рельефом. Здесь в основном распространены полускальные грунты, температура которых не поднимается выше минус 5 °С. Преимущественное развитие здесь имеют криогенно-гравитационные процессы, обеспеченные снижением прочности пород за счет морозобойного растрескивания — обвалы, оползни (сплывы), курумы и др. В пределах региона распространены воды сезонно-талого слоя, которые приурочены к аллювиальным, делювиальным, пролювиальным и ледниковым отложениям. Мощность деятельного слоя колеблется от 0,2 до 1,5 м и зависит от экспозиции и состава грунтов. Воды этого слоя однообразны по составу и минерализации — это ультрапресные и пресные (0,02–0,20 г/л) гидрокарбонатные кальциевые и магниевые воды. На склонах хребтов Черского и Момского широко распространены наледи нередко большой (до 10 м) мощности. Надмерзлотные воды неагрессивны или слабоагрессивны. Территория региона характеризуется высокой сейсмичностью — 7–9 баллов.

III. Регион приморских равнин, низменностей и мелководного шельфа представляет собой четко выраженную в современном рельефе наиболее низкую морфологическую ступень (отрицательную морфоструктуру) [8]. Грунты представлены преимущественно лессовидными суглинками и супесями с повторно-жильными льдами. Их мощность нередко превышает 30–40 м. Температура грунтов уровня нулевых годовых колебаний на береговой суше нередко бывает ниже минус 10 °С. Наиболее опасными в пределах региона являются термокарстовые и береговые абразионные процессы. На мелководном шельфе, вероятно, распространена маломощная прерывистая мерзлота. Мощность слоя сезонного оттаивания изменяется в зависимости от состава грунтов и экспозиции поверхности и в среднем составляет, например, для торфа 25 см. Воды деятельного слоя характеризуются пресным гидрокарбонатно-кальциевым составом и не обладают агрессивными свойствами. На отдельных участках территории (по всему побережью моря Лаптевых) отмечается высокая сейсмичность (6–9 баллов).

IV. Охотско-Чукотский регион представлен небольшими участками, относящимися к обширному водоразделу, разделяющему бассейны Ледовитого и Тихого океанов. В отличие от Верхояно-Колымского региона здесь наблюдается большое разнообразие скальных и полускальных грунтов, среди которых значительную роль играют вулканогенные грунты мезозойского и редко кайнозойского возраста. Температура грунтов на уровне слоя нулевых годовых колебаний составляет

от минус 7 до минус 10 °С. Среди экзогенных процессов преобладают криогенно-гравитационные. Мощность деятельного слоя, так же как и в Верхояно-Колымском регионе, колеблется от 0,2 до 1,5 м, а воды этого слоя однообразны по составу и минерализации, являясь ультрапресными и пресными (0,02–0,20 г/л) гидрокарбонатными кальциевыми и магниевыми с низкой агрессивностью. Сейсмичность в области IV.2 и на юге области IV.3 низкая (до 5 баллов по шкале MSK-64), а на севере области IV.3 она повышается до 6 баллов. В этой же области известны вулканы четвертичного возраста.

V. Байкало-Становой регион характеризуется высокими отметками сильно расчлененного рельефа, большой современной тектонической активностью, что обуславливает широкое распространение здесь обвалов (в том числе сейсмогенных), осыпей, оползней, курумов (интенсивность развития этих процессов составляет 4–5 баллов). Грунты данной территории — преимущественно скальные (архейские и протерозойские кристаллические породы с подчиненными им площадями рифейских и палеозойских карбонатных пород). В межгорных впадинах распространены мезозойские полускальные породы. Этот регион относится к зоне прерывистой мерзлоты.

Гидрогеологическая составляющая региона определяется зонально-климатическим фактором — принадлежностью к геокриологическим областям с разной теплообеспеченностью (сплошной или прерывистой мерзлоты). Эта особенность является причиной разнообразного состава, различной минерализации и разной степени агрессивности грунтовых и надмерзлотных вод.

На большей части рассматриваемой территории преимущественно распространены воды сезонно-талого слоя. Минерализация этих вод невысока и изменяется от 0,02 до 0,25 г/л. По составу они являются гидрокарбонатными кальциевыми, реже кальциево-магниевыми, по величине pH (6,6–7,1) — слабокислыми или нейтральными. В пределах островной мерзлой зоны на крайнем юге региона отмечены грунтовые воды с сульфатной агрессивностью (с концентрацией ионов SO_4^{2-} более 250 мг/л) и глубиной залегания более 10 м. В зоне распространения прерывистой мерзлоты отмечены грунтовые воды с общекислотной агрессивностью (pH < 6,5) и глубиной залегания 3–10 м. На этих участках отмечаются поля развития охлажденных грунтов (см. обозначение «ж» в табл. 3).

Территория региона характеризуется высокой сейсмичностью, составляющей 6–9 баллов.

Заключение

Рассмотрение составленной инженерно-геологической карты территории Республики Саха (Якутии) позволяет сделать несколько основных выводов.

1. Территория республики характеризуется разнообразием инженерно-геологических условий, которые обусловлены различными рельефом, грунтами, активностью эндогенных и экзогенных процессов. Общими особенностями для Якутии являются повсеместное распространение многолетней мерзлоты, преимущественно высокая льдистость грунтов, наличие засоленных грунтовых вод (криопэгов). Все это осложняет инженерные изыскания и затрудняет выбор принципов строительства.

2. Рассматриваемая территория не в полной мере изучена в инженерно-геологическом отношении. Совершенно недостаточно данных о физико-механических свойствах мерзлых грунтов. Все это затрудняет инженерную оценку территории.

3. На фоне происходящих климатических изменений большой опасности подвергаются зоны распространения высокольдистых тонкодисперсных грунтов (ледового комплекса), в которых ускоренными темпа-

ми развиваются термокарстовые процессы, а в связи с ними и эмиссия парниковых газов. Особой опасности подвергаются области, в которых процесс термокарста протекает на фоне тектонического погружения. К ним относятся некоторые участки Колымской низменности. ❄️

Работа выполнена при поддержке Правительства и Академии наук Республики Саха (Якутии).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая карта Республики Саха (Якутии) масштаба 1:1 500 000. СПб., 2002.
2. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000. М.: Картпредприятие, 1997.
3. Геологическая карта Якутской АССР масштаба 1:1 500 000. Якутск: ГУГК, 1978.
4. Геология Якутской АССР. М.: Недра, 1981. 300 с.
5. Мельников В.П., Хименков А.Н., Брушков А.В., Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б., Самсонова В.В. Криогенные геосистемы: проблемы исследования и моделирования. Новосибирск: Гео, 2010. 390 с.
6. Основы геокриологии. Часть 5: Инженерная геокриология / под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 1999. 526 с.
7. Современная инженерно-геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:2 500 000. М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 2011. URL: <http://900igr.net/prezentacija/geografija/sovremennaja-inzhenerno-geologicheskaja-karta-territorii-rossijskoj-federatsii-masshtaba-12-500-000-105189.html>.
8. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутии). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.
9. Трофимов В.Т. Термин «грунт»: ретроспектива и современное содержание // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2000. № 1. С. 58–61.
10. Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: ГЕОС, 2007. 464 с.
11. Трофимов В.Т., Вознесенский Е.А., Королев В.А. Инженерная геология России. М.: КДУ, 2011. Т. 1. 672 с.
12. Хименков А.Н. Геосистемный подход в геокриологии // Криосфера Земли. 2013. Т. 17. № 2. С. 74–82.
13. Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск: Гео, 2011. 169 с.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

«ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ», «ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ»,
«ГЕОТЕХНИКА» И «ГЕОРИСК»



www.geomark.ru