DOI: 10.17117/nv.2015.02.059

Поступила (Received): 14.05.2015

<http://ucom.ru/doc/nv.2015.02.059.pdf>

mpi@ysn.ru

**Спектор В.Б., Шестакова А.А.,
Торговкин Я.И., Спектор В.В.
Обобщение данных о криолитозоне на
инженерно-геологической карте Республики
Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000**

**Spector V.B., Shestakova A.A., Torgovkin Y.I., Spector V.V.
Permafrost Information in the Engineering Geological Map of
the Republic of Sakha (Yakutia), Scale 1:1,500,000**

Инженерно-геологическая карта территории Республики Саха (Якутия) охватывает площадь около 3 млн. кв км, составляющую 1/5 часть территории России. На карте отражены грунтовые и геокриологические условия, выделены активные разломы, а на картах врезках (масштаб 1:15 000 000) – гидрогеологические и сейсмические условия, схемы районирования по различным факторам инженерно-геологических условий и общая схема инженерно-геологического районирования территории Республики. Карта предназначена для информационного обеспечения планирования, реализации и эксплуатации крупных инженерных сооружений по территории РС (Я). Особенностью составленной карты является отражение почти повсеместного распространения на закартированной территории класса мерзлых грунтов. Выделены виды этого класса грунтов, а по температурным характеристикам – их разновидности. В пределах территории преимущественным распространением пользуются пресные и ультрапресные надмерзлотные воды. В рамки составленной карты входят части двух планетарных сейсмических поясов: Арктико-Азиатского и Байкало-Станового, которые существенно усложняют инженерно-геологические условия территории

Ключевые слова: мерзлые грунты, экзогенные процессы

Engineering Geological Map of the Republic of Sakha (Yakutia) covers an area of 3 million square kilometers, it is the 1/5 part of the territory of Russia. The map shows groundwater and permafrost conditions, active fractures, the inset maps (scale 1:15 000 000) describe hydrogeological and seismic conditions, zoning schemes according to various factors of engineering-geological conditions and general scheme of engineering geological zoning of the territory of Republic. This map is suitable for informational ensuring of planning, implementation and operation of huge civil engineering constructions on the territory of Sakha Republic (Yakutia). The special feature of this map is an image of widespread distribution of frozen ground class on mapped territory. Kinds of this ground class, their varieties by temperature characteristics are shown in the map. Within the territory there are fresh and ultrafresh suprapermafrost water. The map consists of the two planetary seismic zones: Arctic-Asian and Baikal-Stanovoy, which greatly complicate the engineering-geological conditions of the territory

Key words: frozen ground, exogenous processes

Спектор Владимир Борисович

Доктор геолого-минералогических наук
Главный научный сотрудник
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения Российской академии наук
г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

Шестакова Алена Алексеевна

Кандидат географических наук
Научный сотрудник
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения Российской академии наук
г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

Торговкин Ярослав Ильич

Кандидат географических наук
Руководитель группы
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения Российской академии наук
г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

Спектор Валентин Владимирович

Кандидат географических наук
Заведующий лабораторией
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения Российской академии наук
г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

Spector Vladimir Borisovich

Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences
Principal Research Scientist
Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch
Russian Academy of Sciences
Yakutsk, Merzlotnaya st., 36

Shestakova Aliona Alexeevna

Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences
Research Scientist
Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch
Russian Academy of Sciences
Yakutsk, Merzlotnaya st., 36

Torgovkin Yaroslav Ilich

Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences
Head of Group
Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch
Russian Academy of Sciences
Yakutsk, Merzlotnaya st., 36

Spector Valentin Vladimirovich

Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences
Head of Laboratory
Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch
Russian Academy of Sciences
Yakutsk, Merzlotnaya st., 36

Введение (Introduction)

Инженерно-геологическая карта Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1500000 необходима для планирования, реализации и эксплуатации технических проектов на территории Республики и смежных регионов. Научное значение карты заключается в систематизации данных по особенностям распределения различных природных факторов, их взаимовлиянии и прогноз изменения окружающей среды при возведении и эксплуатации инженерных сооружений.

На карте показаны грунтовые и геокриологические условия (рис. 1) а на картах врезках (1:1500000) – экзогенные и эндогенные процессы, схемы районирования по различным факторам инженерно-геологических условий и общая схема инженерно-геологического районирования территории РС (Я). Каждый из районов охарактеризован с точки зрения главных черт геологического строения, тектонических особенностей, новейшей тектоники, активных экзогенных процессов, агрессивности надмерзлотных вод, преобладающего комплекса видов и разновидностей грунтов. Составлены отдельные мелкомасштабные схемы районирования надмерзлотных вод, строения криолитозоны, сейсмичности.

Предлагаемую карту можно считать продолжением работ по составлению Современной Инженерно-геологической карты России, начатой в 2008 г.

Карта составлена в электронном варианте в формате «ArcGIS 10 version 10.1». На электронном макете карты картографируемая информация, согласно легенде к карте, была сгруппирована по следующим разделам: 1) инженерно-

геологические группы и виды грунтов и геоэкологические факторы; 2) гидро-геологические факторы; 3) активные разрывные нарушения; 4) рельеф и 5) гидрографическая сеть.

Рис. 1. Инженерно-геологическая карта РС (Я). Масштаб 1:1 500 000

Материалы и методы (Materials and Methods)

При составлении карты были использованы материалы среднемасштабной геологической съемки, а также обобщения по изданным в разные годы работам [1, 2, 3, 4]. Рассмотрены в значительной части фондовые работы, хранящиеся в фондах Государственного комитета по геологии и недропользованию РС (Я) и фондах Института мерзлотоведения СО РАН.

Основным содержательным элементом представляемой карты является грунтовый фактор инженерно-геологических условий, который отображается цветом. Наиболее устойчивые разновидности грунтов и их сочетаний, отображаются на карте менее яркими и светлыми оттенками, наименее прочные – более густыми и яркими.

В условиях повсеместного распространения многолетней мерзлоты грунт является составной частью единой криогенной геосистемы. Под криогенной геосистемой [5] понимается геологическое образование (в нашем случае грунтовое тело, совокупность грунтовых тел) вместе с совокупностью ледяных включений (криогенное строение). Рассмотрим собственно грунтовую составляющую. Под термином «грунты» понимаются «любые горные породы, почвы, осадки и антропогенные геологические образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы, исследуемые в связи с планируемыми

мой, осуществляемой или осуществленной инженерной деятельностью человека» [6]. Сложность и многокомпонентность грунта подчеркивается и в более поздних работах В.Т. Трофимова [7, с. 4]. В нашем случае, в области сплошного распространения многолетней мерзлоты, грунтовая составляющая является основной криогенной геосистемы, которая состоит из двух подсистем: литогенной и криогенной. Как пишет А.Н. Хименков [5]: «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 по Спектору В.Б.) составляющей в качестве базового структурного элемента позволяет выделять границы криогенных (мерзлотно-грунтовых по Спектору В.Б.) геосистем различных иерархических уровней» [5, с. 77]. На карте выделены криогенные геосистемы низких иерархических уровней – грунтовые «монопородные» тела или их ассоциации, объединяемые по признаку сходства физических и, прежде всего, прочностных свойств, в том числе и обусловленных разными температурами грунтов.

Тем не менее, в рамках принятого подхода, криогенный фактор, в плане оценки физических свойств грунтов, не имеет самостоятельного значения. Как показано выше [5, 8], этот фактор формирует криогенную подсистему единой криогенной геосистемы. «Криогенная подсистема представлена ледяными включениями или целиком состоит из льда» [5, с. 77]. В определение не включен температурный показатель. Для нашей карты такой показатель имеет большое значение, поскольку от него зависят прочностные свойства грунтов.

Мерзлые льдистые дисперсные грунты, имеющие температуру выше -5°C являются пластично-мерзлыми, а ниже этого порога являются твердомерзлыми.

Для отражения криогенной составляющей (температуры и льдистости), по которой выделяются разновидности мерзлых грунтов, применяются цифровые обозначения. В итоге обозначение разновидности грунта на карте показано в виде дроби, в которой цифра в числителе обозначает вид грунта и соответствует номеру знака в разделе легенды «грунтовые условия», а знаменатель характеризует разновидность грунта и соответствует номеру знака в разделе легенды «геокриологические факторы».

Гидрогеологический фактор отображается на карте крапом. В пределах территории подавляющее распространение имеют надмерзлотные гравитационные воды криолитозоны, которые подразделяются на три подтипа: надмерзлотная верховодка, воды сезонноталого слоя, надмерзлотные грунтовые воды [9]. Современные активные разрывные нарушения показаны на карте в виде красных линий.

Легенда карты состоит из трех разделов, каждый из которых посвящен важнейшим факторам инженерно-геологических условий: грунтовой и геокриологической составляющим и гидрогеологическому фактору. Самостоятельными знаками выделяются площади распространения видов и разновидностей грунтов, мощности которых составляют 10 и более метров

Грунтовая (литогенная) составляющая (рис. 1) занимает первый раздел легенды. Мерзлые грунты в инженерной геологии подразделяются на те, же таксономические единицы, что и талые грунты. По сравнению с традиционно выделяемыми группами собственно скальных и полускальных, дисперсных грунтов, в легенде выделяется группа ассоциации скальных и полускальных грунтов, сочетания полускальных и дисперсных грунтов. В самостоятельную группу выделены «двухслойные» разрезы, в которых верхняя часть представлена дисперсными грунтами мощностью от 3 до 10 м, а нижняя другими классами и группами грунтов. Всего в легенде выделено 124 вида и разновидности грунтов, влияющих на инженерно-геологические свойства территории.

Криогенная составляющая отражена во втором разделе легенды.

Параметры выделения этой составляющей представлены в таблице 1.

Номера знаков, проставленные в легенде, представляют собой знаменатель цифрового обозначения знака на карте. Числитель этой дроби, как было показано выше, может отвечать любому из 124 знаков цифрового обозначения грунтовой составляющей.

Для оценки инженерно-геологических условий наибольшее значение имеет глубина залегания и агрессивность надмерзлотных вод. Агрессивность надмерзлотных вод разделена на виды: сульфатная, общекислотная, воды разной агрессивности и неагрессивные.

Таблица 1. Геокриологический фактор инженерно-геологических условий

Класс и группа	Среднегодовая температура грунтов	Льдистость (номер знака в легенде)			Физические свойства
		Сильная	Средняя	Слабая	
Скальные и полускальные грунты	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов ниже -5 °С	1	2	3	
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов -3÷-5 °С	4	5	6	
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов -1÷-3 °С (прерывистая мерзлота)	7	8	9	
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов 0÷-1 °С (островная и прерывистая мерзлота)	10	11	12	
Дисперсные грунты и сочетание дисперсных и полускальных грунтов	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов ниже -5 °С	13	14	15	Твердомерзлые грунты
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов -3÷-5 °С	16	17	18	Пластичномерзлые грунты
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов -1÷-3 °С (прерывистая мерзлота)	19	20	21	
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов 0÷-1 °С (островная и прерывистая мерзлота)	22	23	24	
	Частое чередование талых и многолетнемерзлых грунтов	25			

На большей части территории распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания менее 3 м. Около 1,5 млн. кв. км территории Якутии является сейсмоопасной, что соответствует 30 % всей сейсмоактивной территории России. Территорию Якутии пересекают два сейсмических пояса: Арктико-Азиатский (ААСП) и Байкало-Становой (БССП).

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion)

Построенная по изложенным выше принципам Инженерно-геологическая карта территории РС (Я) позволила отразить основные особенности инженерно-геологических условий весьма разнородной по своему геологическому строению и природным условиям территории. Районирование территории РС (Я) по особенностям инженерно-геологических условий проведено с учетом региональных факторов по принципам, изложенным В.Т. Трофимовым [10]. Наиболее крупные региональные единицы, выделяемые на карте, – области принадлежат к одной из крупных тектонических структур (платформа, горно-складчатая область, молодая платформа и др.), в которых преобладает однотипный рельеф (горный, равнинный, равнинно-низменный или др.). В качестве единиц подчиненного ранга выделены районы, основным признаком которых является преимущественное распространение грунтов одного класса или группы или их устойчивых сочетаний.

В пределах территории РС (Я) выделяются следующие инженерно-геологические области: I. Равнин и плато Средней Сибири; II. Горная Верхояно-Колымская; III. Приморских низменностей и шельфа; IV. Охотско-Чукотская; V. Алдано-Становая.

Инженерно-геологическая область Средней Сибири выделена по принципу принадлежности к одной крупной тектонической структуре – Сибирской платформе. Территория области характеризуется активными положительными движениями в новейшее время. Байкало-Становой горный пояс ограничивает область с юга, а Верхояно-Чукотский – с востока. Благодаря унаследованности тектонических движений на протяжении мезозойской и кайнозойской истории сформировалась одна из основных особенностей геологического строения платформы – наиболее древние (докембрийские) породы приурочены к положительным морфоструктурам, молодые к отрицательным. Кратко охарактеризуем особенности выделенных в пределах данной области районов.

1.1. Анабарский район расположен в северо-западной части области, в пределах крупной структуры Сибирской платформы – Анабарского массива [3, 11]. Здесь преимущественно распространены скальные морозные грунты, относящиеся к архею: гнейсы, плагиогнейсы, кристаллические сланцы, кварциты, реже кальцифиры, мраморы. Одной из основных особенностей района является самая значительная мощность криолитозоны на территории Сибири (около 1500 м). Район относится к Анабарскому плоскогорью. Вершинная поверхность располагается на высотах 400-500 м, максимальные отметки достигают 700 м. Здесь распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания до 3 м. Активные экзогенные процессы формируют осыпи, обвалы, оползни, курумы, морозобойное растрескивание, солифлюкция, глубинная эрозия.

1.2. В тектоническом отношении Оленекский район принадлежит к Анабарской антеклизе [11] и характеризуется преимущественным развитием скальных морозных карбонатных грунтов, относящихся к кембрию. Меньше распространены морозные скальные терригенно-карбонатные грунты рифея и венда, редкие изолированные поля в пределах района сложены эффузивно-терригенными и терригенными полускальными морозными грунтами перми, триаса и очень редко карбона. Район занимает крайнюю восточную часть Среднесибирского плоскогорья. Высота вершинной поверхности плавно повышается в северном направлении и составляет 200-400 м. Активные экзогенные процессы представлены (в порядке убывания) осыпобразованием, курумообразованием, солифлюкцией, карстообразованием в карбонатных грунтах, морозобойным растрескиванием, заболачиванием. Преобладают неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания до 3 м.

1.3. Лено-Виллюйский район приурочен к внешней части Виллюйской синеклизы, а также Ангара-Виллюйскому прогибу [3, 11]. В пределах района преимущественным распространением пользуются твердомерзлые грунты, представленные ассоциацией терригенных дисперсных полускальных грунтов ниже- и среднеюрского возраста (в порядке убывания): песчаниками, песками, конгломератами, галечниками, глинами, алевролитами, аргиллитами, углями. К юго-западу от Сунтарской излучины в бассейне р. Кэмпэндээй (Кемпендяйские дислокации) известны выходы мерзлых растворимых грунтов: каменных солей, гипсов (кыгылтусская и намдырская свиты девонского возраста). Рельеф района относится к переходной области между Центрально-Якутской равниной и Среднесибирским плоскогорьем. Вершинная поверхность занимает высотные уровни 200-400 м. Экзогенные процессы носят умеренно активный характер и представлены осыпобразованием, оползнеобразованием, солифлюкцией, курумообразованием, морозобойным растрескиванием, термоэрозией боковой и донной. В пределах района распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания до 3 м. В районе Кемпендяйских дислокаций, а также в бассейнах среднего течения р.р. Б. и М. Ботуобия распространены воды сульфатно-агрессивные с глубиной залегания до 3 м.

1.4. Тунгусский район располагается в пределах Тунгусской синеклизы. Здесь преимущественным распространением пользуются твердо-мерзлые полускальные и скальные вулканогенно-терригенные грунты пермо-триасового возраста, а также морозные скальные магматогенные грунты (базальты и диабазы). В долинах рек распространены скальные мерзлые грунты карбонатного и терригенно-карбонатного состава нижнепалеозойского возраста. Территория относится к Среднесибирскому плоскогорью. Вершинная поверхность располагается на отметках 300-500 м. Территория характеризуется высокой степенью расчлененности и большими относительными перепадами высот. Преобладающими экзогенными процессами являются осыпобразование, курумообразование, обвалы, морозобойное растрескивание, донная эрозия. Распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания до 3 м.

1.5. Центрально-Якутский район в тектоническом отношении соответствует центральной части Вилуйской синеклизы. Здесь широкое распространение имеют пластично- и твердомерзлые дисперсные сильно льдистые грунты (суглинки и супеси), относящиеся к ледовому комплексу четвертичного возраста, дисперсные сыпучемерзлые песчаные грунты слагающие тукуланы, твердо- и пластичномерзлые льдистые песчаные грунты, выполняющие широкие долины рек, а в предгорьях Верхоянского хребта – грубообломочные твердомерзлые грунты, имеющие ледниковый генезис. По периферии Вилуйской синеклизы и в отдельных окнах среди дисперсных грунтов имеются поля развития пластичномерзлых грунтов смешанной группы – дисперсных и полускальных: песков, алевролитов, глин, песчаников, алевролитов, каменных углей мелового возраста. Распространены двуслойные разрезы грунтового комплекса, в которых верхняя (до 10 м) часть сложена пластичномерзлыми дисперсными льдистыми грунтами, а нижняя пластично- или твердомерзлыми ассоциациями дисперсных и полускальных грунтов. Вся рассматриваемая территория относится к Центрально-Якутской равнине и характеризуется гибким положением вершинной поверхности (100-200 м). Наиболее активными экзогенными процессами являются термокарст, заболачивание, ветровой перенос песков (тукуланы), солифлюкция, боковая термоэрозия, термосуффозия на тукулах. В пределах района распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания до 3 м.

1.6. Верхне-Ленский район относится к Предбайкальскому краевому прогибу. Грунты представлены карбонатными, терригенно-карбонатными с пластами растворимых грунтов (гипсы) мерзлыми и талыми скальными малольдистыми видами и разновидностями. Этот район характеризуется развитием массивно-островной мерзлоты и наличием участков частого чередования талых и мерзлых пород. Вся территория в геоморфологическом отношении входит в Приленское плато. Вершинная поверхность здесь располагается на высотах 400-600 м. Рельеф характеризуется высокой степенью расчлененности. Среди активных экзогенных процессов преобладают осыпеобразование, курумообразование, оползни, карбонатный карст, эрозия и термоэрозия. Преимущественно распространены воды сульфатной агрессивности с глубиной до 3 м и иногда до 10 м.

1.7. Лено-Алданский район относится к Алданской антеклизе. Здесь исключительным распространением пользуются морозные карбонатные и терригенно-карбонатные скальные грунты, относящиеся к толщам нижнего кембрия. Относительно крупные участки территории относятся к зоне прерывистой мерзлоты, где небольшие массивы карбонатных пород находятся в талом состоянии. В южной части территории известны поля развития скальных грунтов магматического происхождения – щелочные граниты, сиениты. В геоморфологическом отношении район относится к центральной части Приленского плато. Вершинная поверхность плавно поднимается в южном направлении от высот около 500 м до высот 700-800 м. Активные экзогенные процессы представлены осыпе- и курумообразованием, оползнями, карстообразованием, солифлюкцией, морозобойным растрескиванием. На большей части района развиты неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной менее 3 м. На отдельных участках, в южной части района, распространены воды с сульфатной агрессивностью.

1.8. Амгинский район принадлежит восточной части Алданской антеклизы. В его пределах преимущественно распространено сочетание малоледистых дисперсных пластичномерзлых и морозных полускальных грунтов. Район относится к восточной части Приленского плато. Высотные отметки вершинной поверхности изменяются в пределах 300-470 м. Экзогенные процессы представлены осыпями, оползнями, солифлюкционными явлениями, щелевидными долинами, карбонатными карстовыми нишами и суходолами. Надмерзлотные воды неагрессивны, глубина залегания менее 3 м.

1.9. Анабаро-Оленекский район приурочен к северо-западной части Сибирской платформы и соответствует в тектоническом отношении Лено-Анабарскому мезозойскому прогибу. Здесь распространены дисперсные ледистые твердомерзлые суглинки четвертичного возраста и сочетания твердомерзлых дисперсных и морозных полускальных грунтов мезозойского возраста. Территория района относится к восточной части обширной Северо-Сибирской низменности. Отметки вершинной поверхности опускаются до 30-40 м. Широко распространены оползни, солифлюкционные террасы, осыпи, термокарст, термоэрозия. Воды района – надмерзлотные неагрессивные с глубиной залегания менее 3 м.

Верхояно-Колымская область охватывает значительную часть Верхояно-Колымской складчатой системы: антиклинории и синклинории, расположенные между Сибирской платформой и Колымским массивом [11]. В области выделяется 3 инженерно-геологических района: Верхоянский на западе области, Черско-Момский – на востоке и разделяющий их Янский – в центральной части области. На юго-западе области выделяется Сетте-Дабанский район, который резко отличается карбонатным составом грунтов от смежного с ним Верхоянского, продолжением которого он является.

II.1. Верхоянский район соответствует поясу антиклинориев, расположенному на границе Сибирской платформы и Верхояно-Колымской области мезозойской складчатости. В районе распространены дислоцированные морозные полускальные терригенные грунты (песчаники, алевролиты и аргиллиты) Верхоянского комплекса верхнепалеозойского и мезозойского возраста. Редко встречаются скальные карбонатные и терригенно-карбонатные морозные грунты (породы докембрия), скальные магматические грунты (граниты мезозойского возраста). Район охватывает низкогорные сооружения кряжей Прончищева и Чекановского и среднегорный Верхоянский хребет с абсолютными отметками до 2300 м. Широко распространены активизированные разрывные нарушения и явления, как обвалы, осыпи, курумы, оползни, термоэрозия, морозобойное растрескивание. Надмерзлотные воды характеризуются общекислотной агрессивностью и глубиной залегания менее 3 м.

II.2. Янский район охватывает область между поднятиями хребтов Верхоянского и Черского. Преимущественно распространены терригенные морозные полускальные грунты (песчаники, алевролиты, аргиллиты) триасового и юрского возраста, реже, в горст-антиклинориях, карбонатные и терригенно-карбонатные морозные грунты ниже-среднепалеозойского возраста и скальные магматические морозные грунты (гранитоиды) мезозойского возраста. Широко

распространены впадины, выполненные дисперсными мерзлыми грунтами (песками, суглинками, галечниками) кайнозойского возраста. Наиболее крупные положительные элементы рельефа: Куларский хребет (максимальные отметки до 1300 м), Янское плоскогорье (до 1770 м), Эльгинское плоскогорье (до 1700 м), Оймяконское плоскогорье (до 2000 м). Особенности рельефа и фации кайнозойских осадков указывают на интенсивные тектонические положительные движения, амплитуда которых возрастает с севера на юг. Активно протекают осыпи, оползни, курумы, реже обвалы, термоэрозия, морозобойное растрескивание. Во впадинах, в зонах развития ледового комплекса, распространен термокарст. Надмерзлотные воды имеют общекислотную агрессивность и приповерхностное залегание (до 3 м).

II.3. Черско-Момский район охватывает область антиклинориев и представляет собой наиболее сложную и активную, вплоть до настоящего времени, часть Верхояно-Колымской горно-складчатой системы. В пределах хр. Черского с запада на восток выделяются следующие мезозойские тектонические структуры: Иньяли-Дебинский синклиний, Тас-Хаяхтахский горст антиклинорий, Момский горст-антиклинорий, Уяндино-Ясачненский вулканогенный пояс. Распространены преимущественно скальные грунты мезозойского и палеозойского возраста: терригенные, карбонатные, магматические и вулканогенные. Территория современной Момской впадины и Момского хребта относятся к мезозойскому Момо-Зырянскому прогибу [11]. В пределах Момо-Зырянской впадины (включая и Момский хребет) распространены морозные полускальные терригенные грунты позднеюрского и мелового возраста: песчаники, алевролиты, аргиллиты, гравелиты, конгломераты, редко каменные угли. В четвертичной Момской впадине распространены мерзлые грубообломочные грунты ледникового и склонового генезиса, в меньшей степени мерзлые аллювиальные пески и галечники. Рассматриваемая территория относится к зоне очень активных современных дифференцированных вертикальных и горизонтальных движений и высокой сейсмичности. В пределах хр. Черского известны наиболее высокие отметки на Северо-Востоке России (3147 м). Экзогенные процессы (обвалы, осыпи, курумы, наледи, карст, термоэрозия), среди которых преобладают склоновые, характеризуются высокой степенью активности. Надмерзлотные воды относятся к типу общекислотно-агрессивных малоглубинных.

II.4. Сетте-Дабанский район относится к одноименному антиклинорию.

В его пределах распространены мерзлые карбонатные и терригенно-карбонатные грунты, рифея, венда, кембрия, ордовика и силура. Наиболее высокие горные массивы располагаются на севере района и достигают 2400 м. Территория характеризуется активными современными движениями – преимущественно положительными. Экзогенные процессы типичны для горных районов данной области – осыпи, обвалы, курумы, карст, эрозия. Надмерзлотные воды общекислотно-агрессивного малоглубинного типа.

Большая часть области Приморских низменностей в тектоническом отношении представляет собой молодой (четвертичный) прогиб, располагающийся на современной пассивной континентальной окраине. Мезозойский тектонический фундамент этой территории скрыт под покровом кайнозойских осадков и

выходит на отдельных возвышенностях Приморской низменности и островах Новосибирского архипелага. По строению и пространственному положению в области выделяются 3 инженерно-геологических района.

III.1. Яно-Колымский район охватывает всю Приморскую низменность, дельту р. Лены и низменность в районе п-ова Мамонтов Клык. Мезозойский фундамент этой территории относится к двум складчатым системам Верхояно-Колымской (западная часть) и Новосибирско-Чукотской (восточная часть). Граница между системами проходит вдоль Святоносско-Олойского вулканогенного пояса. Последний протягивается от нижнего течения р. Колымы (устье р. Омо-лон) к мысу Св. Нос на берегу пролива Дмитрия Лаптева. Преимущественно распространены твердомерзлые дисперсные высокольдистые грунты четвертичного возраста, которые относят к ледовому комплексу. На побережье морей Лаптевых и Восточно-Сибирского моря распространен арктический тип ледового комплекса, в котором содержится 60-80 % и более льдов, слагающих повторно-жильные образования мощностью первые десятки метров. В более южных участках низменности и на побережье моря Лаптевых распространен континентальный тип ледового комплекса, в котором содержится до 60 % текстурообразующих и повторно-жильных льдов. Значительную часть площади района слагают участки развития твердомерзлых илисто-торфяных грунтов, выполняющих осушенные участки озерных котловин – аласы. Такие же грунты вскрываются и на дне многочисленных термокарстовых озер. Меньше распространены песчаные твердомерзлые грунты, четвертичного возраста, которые приурочены главным образом к дельте р. Лены. Очень ограниченно развиты морозные песчаные угленосные грунты палеогенового и неогенового возраста. Низменность характеризуется практически горизонтальным положением вершинной поверхности с низкими (до 100 м) средними отметками. Небольшие островные возвышенности (340-540 м) протягиваются от мыса Св. Нос в сторону побережья Селляхской губы. Для района характерны термоабразия, оползни, термокарст, морозобойное растрескивание, заболачивание. Надмерзлотные воды района неагрессивны.

III.2. Новосибирский район охватывает острова Новосибирского архипелага, цоколь которых, в тектоническом отношении, принадлежит мезозойской Новосибирско-Чукотской складчатой системе. В пределах островов преимущественным распространением пользуются твердомерзлые дисперсные грунты ледового комплекса. На о-ве Котельном распространены поля развития морозных карбонатных и терригенно-карбонатных скальных и полускальных грунтов раннего и среднего палеозоя. Восточная часть о-ва Котельный – Земля Бунге представляет собой поле развития твердомерзлых песчаных морских грунтов. На о-ве Новая Сибирь известны небольшие поля морозных дисперсных песчаных и супесчаных грунтов палеоген-неогенового возраста. На о-ве Б. Ляховский известны выходы морозных терригенных полускальных и скальных интрузивных (граниты) грунтов. Рельеф островов низменный, в среднем не превышающий первых десятков метров над уровнем моря. Максимальные отметки известны на о-ве Б. Ляховский – 293 м. Для островов характерна низкая расчле-

ненность рельефа, указывающая на малоамплитудные современные положительные движения. Подъем уровня моря, вероятно, происходит с большей скоростью, что обеспечивает высокие темпы термоабразии берегов. Основные активные экзогенные процессы – термоабразия, оползни, термокарст, морозобойное растрескивание, заболачивание. Надмерзлотные воды района неагрессивны.

III.3. Колымский район в тектоническом отношении – современная межгорная впадина. На большей части территории района распространены твердомерзлые дисперсные льдистые грунты ледового комплекса, твердомерзлые органо-минеральные грунты донных отложений осушенных участков озер (аласов). Ограниченное распространение имеют терригенные морозные песчаные грунты палеогенового и неогенового возраста, еще меньшее грубообломочные склоновые четвертичные твердомерзлые грунты. Из докайнозойских образований широким распространением пользуются морозные полускальные и скальные грунты вулканогенного генезиса мелового возраста, полускальные кристаллические сланцы среднепалеозойского возраста, полускальные вулканогенно-терригенные грунты юрского возраста. Большая (восточная) часть территории района относится к Колымской низменности, для этой территории свойственно низкое положение вершинной поверхности (в среднем до 50 м), над которой возвышаются (до 250 м) небольшие островные массивы. Активные экзогенные процессы в этой части района – термокарст, заболачивание, подтопление. В западной части района, на Алазейском плоскогорье, вершинная поверхность которого поднимается до 800-900 м, преобладают восходящие тектонические движения, которые сопровождаются осыпями, оползнями, глубинной эрозией. Надмерзлотные воды района неагрессивны.

К Охотско-Чукотской области отнесены небольшие участки, расположенные вдоль восточной границы территории РС (Я), объединенные относительно широким распространением вулканогенных образований позднемезозойского возраста. В данной области выделено несколько пространственно разобщенных районов.

IV.1. Сунтарский район располагается в южной части хребта Сунтар-Хаята и представляет собой часть Верхояно-Колымской складчатой системы [11], охваченную вулканизмом в конце мезозоя. Здесь распространены морозные полускальные терригенные (алевролиты, аргиллиты, песчаники) верхнепалеозойского и раннемезозойского возраста и полускальные вулканогенные и вулканогенно-осадочные грунты. Район относится к самой высокой (до 2800 м) части хр. Сунтар-Хаята и характеризуется глыбовыми восходящими движениями в четвертичное время. Экзогенные процессы – обвалы, осыпи, оползни, курумы, донная эрозия. Надмерзлотные воды характеризуются общекислотной агрессивностью.

IV.2. Юкагирский район в тектоническом отношении отвечает Приколымскому горст-антиклинорию Верхояно-Колымской складчатой системы, затронутому вулканизмом в конце мезозоя. В его пределах распространены докембрийские морозные скальные метаморфические и вулканогенные, скальные

карбонатные и терригенно-карбонатные палеозойские, скальные и полускальные туфогенные и терригенные верхнепалеозойские и мезозойские, меловые вулканогенные полускальные грунты. В межгорных впадинах преобладают твердомерзлые грубообломочные грунты ледникового и склонового происхождения. В пределах Юкагирского плоскогорья вершинная поверхность располагается в интервалах высот 300-1100 м. Активные экзогенные процессы: на поднятиях – осыпи, курумы, оползни, донная эрозия; во впадинах – заболачивание, боковая эрозия. Агрессивность вод – общекислотная.

IV.3. Анюйско-Омолонская район охватывает участок Олойской вулканогенной впадины, В пределах вулканогенной Олойской впадины распространены морозные полускальные вулканогенные девонские, туфо-терригенные полускальные мезозойско-верхнепалеозойские, скальные интрузивные меловые, вулканогенные меловые грунты. В небольших впадинах развиты твердомерзлые тонкодисперсные грунты ледового комплекса. На правобережье приустьевом отрезка р. Колымы распространены мерзлые полускальные терригенные триасовые, вулканогенные полускальные юрские, скальные интрузивные меловые и вулканогенные полускальные меловые грунты. Рельеф рассматриваемого участка характеризуется высотами вершин до 1000 м. Активные экзогенные процессы – осыпи, оползни, курумы, солифлюкция, морозобойное растрескивание, донная эрозия. Надмерзлотные воды неагрессивны.

Алдано-Становая область представлена одним районом, который относится к Алданскому щиту Сибирской платформы. Самая южная часть рассматриваемой территории, относящаяся к Становому хребту и Алданское нагорье представляют собой молодой ороген, активизированный, скорее всего, в позднем кайнозое. В пределах территории щита преимущественно распространены морозные и талые кристаллические метаморфогенные грунты (кристаллосланцы, гнейсы, плагиогнейсы, кварциты, реже кальцифиры, мраморы, метагаббро), интрузивные (граниты, щелочные граниты) грунты, относящиеся к архею. Менее распространены морозные скальные терригенные грунты протерозоя, талые и морозные карбонатные скальные грунты венда и кембрия. Во впадинах наблюдаются малольдистые мерзлые, морозные и талые смешанные по классам группам (полускальные и дисперсные) терригенные грунты: песчаники, пески, алевролиты, аргиллиты, угли, алевроиты, конгломераты. Подчиненное значение имеют мерзлые дисперсные обломочные грунты, относящиеся к аллювиальным и ледниковым образованиям. Рельеф района характеризуется глыбово-блоковым, а на отдельных участках линейно-блоковым строением. По границам блоков вершинная поверхность испытывает перемещения по высоте на 1000 м и более. На приподнятых блоках вершинная поверхность располагается на высотах около 1700 м, а в опущенных – 700-800 м и менее. Область характеризуется активизацией разнообразных склоновых процессов – обвалов, осыпей, оползней, курумов, солифлюкции. Весьма активны и эрозионные процессы, в частности, донная эрозия. Большая часть территории (на севере и Становом хребте) принадлежит к зоне распространения надмерзлотных вод общекислотной агрессивности с глубиной менее 3 м. Участки мезозойских впадин относятся к зонам неагрессивных надмерзлотных малоглубинных (до 3 м) вод. На

участках талых пород распространены неагрессивные грунтовые воды с глубиной залегания 3-10 м.

Анализ представленных материалов позволяет предварительно оценить инженерно-геологические условия РС (Я) и выделить территории наименее устойчивые в инженерно-геологическом отношении.

При оценке грунтовых условий к наименее устойчивым территориям относятся, в первую очередь, площади развития дисперсных высокольдистых грунтов – «ледовый комплекс», охватывающие область Приморских низменностей и Центрально-Якутский район области Средней Сибири. Небольшие участки развития этого комплекса в виде маломощных покровов встречаются практически повсеместно на всей территории Республики и выделены на карте в виде верхнего слоя двухслойных разрезов.

Низкотемпературные (ниже -5°C), твердомерзлые разновидности занимают большую часть области Приморской низменности. И в этих условиях рассматриваемые грунты характеризуются высокой чувствительностью по отношению к внешнему воздействию. На участках выхода этих грунтов на побережье арктических морей наблюдаются высокие скорости термоабразии (несколько десятков метров в год), а в береговых обрывах русел рек – высокие скорости боковой эрозии (до 20 м/год). На поверхности полей распространения этой разновидности грунтов протекает интенсивный термокарст, даже в условиях среднегодовых температур около $-15^{\circ}\div-20^{\circ}\text{C}$. Нарушение напочвенного покрова этой разновидности грунтов приводит к заболачиванию и последующему нарастанию термокарста.

Высокотемпературные разновидности (выше -5°C) ледового комплекса сосредоточены в Центрально-Якутском районе. Здесь они подвергаются интенсивному разрушению в результате природных и антропогенных воздействий. Инженерные сооружения, использующие эти грунты в качестве оснований без специальных мероприятий, регулирующих их тепловой режим, характеризуются крайне низкими степенями устойчивости. Остальные виды грунтов на территории РС (Я) имеют значительно более высокую степень устойчивости и могут быть использованы в качестве оснований инженерных сооружений при условии соблюдения определенных правил регулирования их теплового режима.

При оценке динамических условий (экзогенных и эндогенных процессов), помимо площадей развития ледового комплекса, наименее благоприятной для инженерных сооружений являются Верхояно-Колымская, Охотско-Чукотская и Алдано-Становая области, характеризующиеся интенсивным проявлением склоновых процессов и высокой сейсмичностью. Также следует принять во внимание, что некоторые площади РС (Я) характеризуются развитием крайне низких зимних температур (ниже -40°C), которые вызывают температурные деформации инженерных сооружений. Эти площади охватывают Центрально-Якутский район и практически всю Верхояно-Колымскую область.

Таким образом, все упомянутые выше районы можно отнести к неблагоприятным в инженерно-геологическом отношении территориям. Их общая площадь составляет около 70 % территории республики.

Список используемых источников:

1. Геологическая карта Якутской АССР. Масштаб 1:1500000. Редактор Л.И. Красный. Омск, 1978.
2. Геологическая карта Республики Саха Якутия. Масштаб 1:1500000. Редактор В.А. Янжиншин. Л.: Картафабрика ВСЕГЕИ, 2006.
3. Геология Якутской АССР. М.: Недра, 1981. 300 с.
4. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2500000. Картопредприятие, 1997.
5. Хименков А.Н. Геосистемный подход в геофизиологии // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII. № 2. С. 74-82.
6. Трофимов В.Т. Термин «грунт»: ретроспектива и современное содержание // Вестник Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 2000. №1. С. 58-61.
7. Трофимов В.Т., Вознесенский Е.А. Королев, В.А. Инженерная геология России. Т. 1. М.: КДУ, 2011. 672 с.
8. Мельников В.П. и др. Криогенные геосистемы: проблемы исследования и моделирования. Новосибирск: Гео, 2010. 390 с.
9. Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск: Гео, 2011, 169 с.
10. Трофимов В.Т., Красилова Н.С. Инженерно-геологические карты. М.: КДУ, 2007. 384 с.
11. Мокшанцев К.Б. Тектоника Якутии. Новосибирск: Наука, 1975. 198 с.

References:

1. Geological Map of Yakut ASSR. Scale 1:1,500,000. Editor L.I. Krasnyi. Omsk, 1978.
2. Geological Map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1:1,500,000. Editor V.A. Yanzhinshin. Leningrad, 2006.
3. Geology of Yakut ASSR. Moscow: Nedra, 1981. 300 p.
4. Geocryological Map of the USSR. Scale 1:2,500,000. Cartographic factory, 1997.
5. Khimenkov A.N. Geosystem Approach in Geocryology. Earth's Cryosphere. 2013. Vol. XVII. №2. P. 74-82.
6. Trofimov V.T. The Term "ground": Retrospective and Contemporary Content. Vestnik of Moscow University. 2000. V. 4. Geology. № 1. P. 58-61.
7. Trofimov V.T., Voznesenskiy E.A., Korolev V.A. Engineering Geology of Russia. Vol. 1. Moscow: KDU, 2011. 672 p.
8. Melnikov V.P. and etc. Cryogenic Geosystems: Problems of the Research and Modeling. Novosibirsk: Geo, 2010. 390 p.
9. Shepelev V.V. Suprapermafrost Water in the Cryolithozone. Novosibirsk: Geo, 2011. 169 p.
10. Trofimov V.T., Krasilova N.S. Engineering-Geological Maps: Study Guide. Moscow: KDU, 2007. 384 p.
11. Mokshantsev K.B. The Tectonics of Yakutia. Novosibirsk: Nauka, 1975. 198 p.

© 2015, Спектор В.Б., Шестакова А.А.,
Торговкин Я.И., Спектор В.В.
Обобщение данных о криолитозоне на
инженерно-геологической карте Республики
Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000

© 2015, Spector V.B., Shestakova A.A., Torgovkin Y.I.,
Spector V.V.
Permafrost Information in the Engineering Geological
Map of the Republic of Sakha (Yakutia), Scale
1:1,500,000