

удовлетворительно совпадают с натурными данными, а незначительное отклонение наблюдается на подошве деятельного слоя.

### Выводы

Сущность предложенной методологии состоит в замене исходного объекта его «образом» — математической моделью, и в дальнейшем её изучении с помощью реализуемых на компьютере вычислительно-логических алгоритмов. Сама постановка вопроса о математическом моделировании какого-либо объекта состоит из трех этапов: модель — алгоритм — программа.

Построение модели или качественное описание исследуемого процесса должны пройти этапы структурной (конструктивной) и параметрической идентификации факторов неоднородности.

Динамику термического режима криолитозоны более реально отражает математическая модель средней сложности.

Предложенную методику численного моделирования следует рекомендовать для расчета термического режима грунтов слоя годовых теплооборотов в условиях меняющегося климата.

### Литература

1. *Об использовании резервов оптимизации вычислений в компьютерных технологиях решения задач прикладной и вычислительной математики с требуемыми значениями характеристик качества* / М.Д. Бабич, В.К. Завдирака, В.А. Людвиченко, И.В. Сергиенко // Журн. вычислит. математики и мат. физики. – 2010. – Т. 50, № 12. – С. 2285–2295.
2. *Гречищев С.Е.* Оптимальные модели природных процессов погрешности и надежность // Анализ и оценка природных рисков в строительстве: материалы конференции. – М. – 1997. – С. 14–16.
3. *Алифанов О.М.* Идентификация процессов теплообмена летательных аппаратов. – М. : Машиностроение, 1979. – 216 с.
4. *Пермяков П.П.* Идентификация параметров математической модели тепловлагоденоса в мерзлых грунтах. – Новосибирск : Наука, 1989. – 86 с.
5. *Самарский А.А.* Устойчивость разностных схем / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М. : Едиториал УРСС, 2005. – 384 с.
6. *Павлов А.В.* Актуальные аспекты моделирования и прогноза термического состояния криолитозоны в условиях меняющегося климата / А.В. Павлов, Г.З. Перлыштейн, Г.С. Типенко // Криосфера Земли. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 3–12.
7. *Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии* / Г.М. Фельдман, А.С. Тетельбаум, Н.И. Шендер, Р.И. Гаврильев. – Якутск : Изд-во ИМЗ СО РАН, 1988. – 240 с.
8. *Варламов С.П.* Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии / С.П. Варламов, Ю.Б. Скачков, П.Н. Скрябин. – Якутск : Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002. – 218 с.
9. *Павлов А.В.* Теплофизика ландшафта. – Новосибирск : Наука, 1979. – 284 с.
10. *Скрябин П.Н.* Межгодовая изменчивость теплового режима грунтов района Якутска / П.Н. Скрябин, С.П. Варламов, Ю.Б. Скачков. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1998. – 144 с.

Поступила в редакцию 04.02.2016

УДК 624.131:551.345

## Опыт составления инженерно-геологической карты Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000

А.А. Шестакова, В.Б. Спектор, Я.И. Торговкин, В.В. Спектор

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск*

*Инженерно-геологическая карта территории Республики Саха (Якутия) охватывает площадь около 3 млн. км<sup>2</sup>, составляющую 1/5 часть территории России. На карте показаны грунтовые и гео-*

---

ШЕСТАКОВА Алена Алексеевна – к.г.н., н.с., aashest@mail.ru; СПЕКТОР Владимир Борисович – д.г.-м.н., г.н.с., vbspector@mpi.ysn.ru; ТОРГОВКИН Ярослав Ильич – к.г.н., н.с., torgovkin@mpi.ysn.ru; СПЕКТОР Валентин Владимирович – к.г.н., доцент, зав.лаб., vvspector@mpi.ysn.ru.

криологические условия, выделены активные разломы, а на картах врезках – сейсмичность, схемы районирования по различным факторам инженерно-геологических условий и общая схема инженерно-геологического районирования 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, существенно усложняющие инженерно-геологические условия территории.

Ключевые слова: инженерно-геологическая карта, виды грунтов, разновидности грунтов, мерзлые грунты, надмерзлотные воды, сейсмичность, сейсмические пояса, активные разломы, экзогенные процессы, Республика Саха (Якутия).

## **Experience in Engineering Geological Mapping of the Republic of Sakha (Yakutia), Scale 1:1,500,000**

A.A. Shestakova, V.B. Spektor, Ya.I. Torgovkin, V.V. Spektor

*Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk*

*The Engineering Geological Map of the Republic Sakha (Yakutia) covers about 3 million square km which is one-fifth of the territory of Russia. The map displays ground and geocryological conditions and active faults. Seismic intensity, schemes of zoning by factors of engineering geological conditions, and the general scheme of engineering geological zoning of the Republic Sakha (Yakutia,) or the RS(Y), are shown on the inset maps. The map is required to provide information for planning, construction and exploitation of engineering structures in the RS(Y). A distinguishing feature of the map is the indication of almost blanket distribution of the frozen ground class. Types of the frozen ground class are separated by lithology, while ground varieties are separated by temperature. Fresh and ultra-fresh suprapermafrost waters are predominant within the territory. The compiled map indicates parts of the Arctic-Asian and Baikalo-Stanovoi planetary seismic belts that make engineering geological conditions more complicated.*

Key words: engineering geological map, ground types, frozen ground, suprapermafrost waters, seismicity, seismic belts, active faults, exogenous processes, Republic of Sakha (Yakutia).

### **Введение**

К настоящему времени составлено несколько средне- и крупномасштабных карт инженерно-геологического содержания для территории некоторых промышленных объектов и крупных населенных пунктов, расположенных в Республике Саха (Якутия). На этих картах отражены, главным образом, особенности состава, распространения и температуры грунтов. В меньшей степени освещены агрессивность поверхностных вод, развитие экзогенных и эндогенных процессов. По площади суммарно эти карты не закрывают и 1% территории РС (Я). Они составлены по разным легендам и не дают достаточного представления о разнообразии и особенностях инженерно-геологических условий региона. Для территории России в целом составлена обзорная инженерно-геологическая карта масштаба 1:2500000 [1], однако на ней не нашли отражения геокриологические особенности территории республики.

Инженерно-геологическая карта Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1500000 (рис. 1) необходима для планирования и реализации технических проектов на территории республики. Научное значение карты заключается в систематизации данных об инженерно-геологических условиях, оценке воздействия на них различных природных факторов, их взаимовлиянии и прогнозе изменения окружающей среды при возведении и эксплуатации различных инженерных сооружений и промышленных объектов.

Карта составлена в электронном варианте в формате «ArcGIS 10 version 10.1». На электронном макете карты картографируемая информация, согласно легенде, была сгруппирована по следующим разделам: 1 – инженерно-геологические группы и виды грунтов и геокриологические факторы; 2 – гидрогеологические факторы; 3 – активные разрывные нарушения; 4 – рельеф; 5 – гидрографическая сеть.

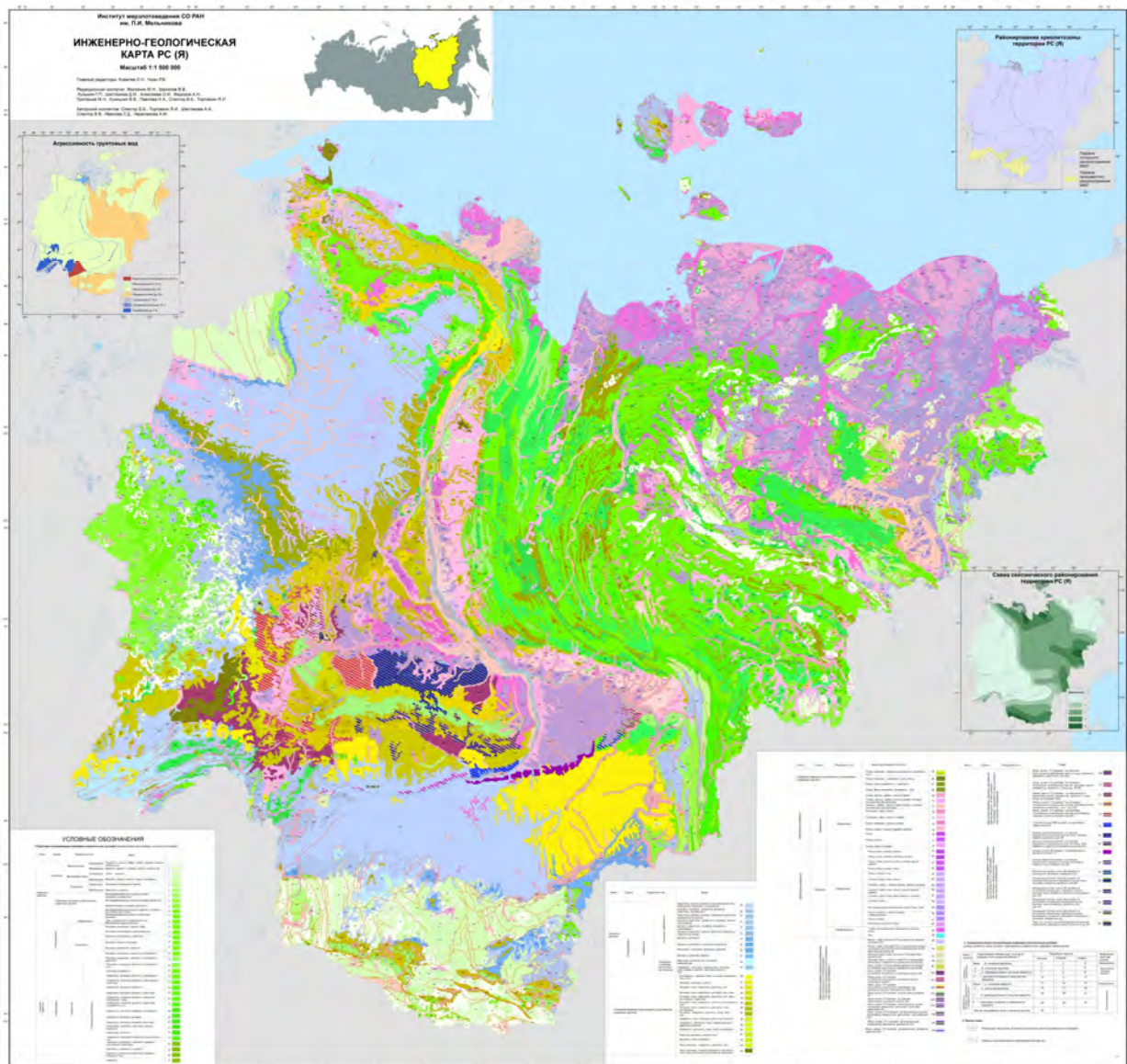


Рис. 1. Инженерно-геологическая карта Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1500000

#### Материалы и методы исследования

При составлении карты были использованы материалы среднемасштабной геологической съемки, а также обобщения по изданным в разные годы работам [2–5]. Рассмотрены в значительной части фондовые работы, хранящиеся в фондах Государственного комитета по геологии и недропользованию РС (Я) и Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН.

Основным содержательным элементом представляемой карты является грунтовый фактор инженерно-геологических условий, который отображается цветом (рис. 2). Наиболее устойчивые разновидности грунтов и их сочетаний отображаются на карте менее яркими и светлы-

ми оттенками, наименее прочные – более густыми и яркими.

В условиях повсеместного распространения многолетней мерзлоты грунт является составной частью единой криогенной геосистемы. Под криогенной геосистемой [6] понимается геологическое образование (грунтовое тело или совокупность грунтовых тел) 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 динамические системы, исследуемые в связи с планируемой, осуществляемой или осуществленной инженерной



**Рис. 2. Фрагмент инженерно-геологической карты РС (Я) (среднее течение р. Лены)**

деятельностью человека» [7, с. 59]. Сложность и многокомпонентность грунтов подчеркивается и в более поздних работах В.Т. Трофимова [8, с. 4]. В нашем случае, в области сплошного распространения многолетней мерзлоты, грунтовая составляющая является основой криогенной геосистемы, которая состоит из двух подсистем: литогенной и криогенной. Как пишет А. Н. Хименков, «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 криоген-

ных (мерзлотно-грунтовых по Спектору В.Б.) геосистем различных иерархических уровней» [6, 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 в опубликованных ранее работах [6, 9], этот фактор формирует криогенную подсистему единой криогенной геосистемы. «Криогенная подсистема представлена ледяными включениями или целиком состоит из

льда» [6, с. 77]. В это определение не включен температурный показатель. Для инженерно-геологической карты территории РС (Я) такой показатель имеет большое значение, поскольку от него зависят прочностные свойства грунтов. Мерзлые льдистые дисперсные грунты, имеющие температуру выше  $-5^{\circ}\text{C}$  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 грунтов 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 и надмерзлотные грунтовые воды [10]. 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 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 ассоциаций 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 табл. 1. Номера знаков, проставленные в легенде, представляют собой знаменатель цифрового обозначения знака на карте (рис. 2). Числитель этой дроби, как было показано выше, может отвечать любому из 124 знаков цифрового обозначения грунтовой составляющей.

Гидрогеологический фактор. 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. На большей части территории распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания менее 3 м.

Характеристика сейсмичности. В Якутии около 1,5 млн. км<sup>2</sup> являются сейсмоопасными, что соответствует 30% всей сейсмоактивной территории России. Известны и могут произойти землетрясения интенсивностью в эпицентре до 6–9 баллов по шкале MSK-64. Сейсмоопасные районы располагаются на востоке и юго-востоке Сибирской платформы и Верхояно-Чукотской орогенной области, главным образом, на границах крупных литосферных плит. Территорию Якутии пересекают два сейсмических пояса: Арктико-Азиатский (ААСП) и Байкало-Становой (БССП).

### Обсуждение результатов и выводы

Построенная по изложенным выше принципам инженерно-геологическая карта территории Республики Саха (Якутия) позволила отразить основные особенности инженерно-геологических условий весьма разнородного по своему геологическому строению и природным условиям самого крупного по площади административного региона России. Районирование территории РС (Я) по особенностям инженерно-геологических условий проведено с учетом региональных факторов по принципам, изложенным В. Т. Трофимовым [11]. Наиболее крупные региональные единицы, выделяемые на карте, – области принадлежат к крупным тектоническим структурам (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 (группы грунтов) или их устойчивых сочетаний.

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 $-5^{\circ}\text{C}$	1	2	3	Твердомерзлые грунты
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов $-3\div-5^{\circ}\text{C}$	4	5	6	
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов $-1\div-3^{\circ}\text{C}$ (прерывистая мерзлота)	7	8	9	Высокотемпературные прочные грунты
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов $0\div-1^{\circ}\text{C}$ (островная и прерывистая мерзлота)	10	11	12	
Дисперсные грунты и сочетание дисперсных и полускальных грунтов	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов ниже $-5^{\circ}\text{C}$	13	14	15	Твердомерзлые грунты
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов $-3\div-5^{\circ}\text{C}$	16	17	18	Пластично-мерзлые грунты
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов $-1\div-3^{\circ}\text{C}$ (прерывистая мерзлота)	19	20	21	
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов $0\div-1^{\circ}\text{C}$ (островная и прерывистая мерзлота)	22	23	24	
	Частое чередование талых и многолетнемерзлых грунтов	25			

В пределах территории республики 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 (рис. 3).

Инженерно-геологическая область равнин и плато Средней Сибири (I) (рис. 3) 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.

Горная Верхояно-Колымская область (II) охватывает значительную часть Верхояно-

Колымской складчатой системы: антиклинории и синклинории, расположенные между Сибирской платформой и Колымским массивом [12]. В области выделяется 3 инженерно-геологических района: Верхоянский – на западе области, Черско-Момский – на востоке и разделяющий их Янский – в центральной части области (рис. 3). На юго-западе области выделяется Сетте-Дабанский район, который резко отличается карбонатным составом грунтов от смежного с ним Верхоянского, продолжением которого он является (табл. 2).

Большая часть области Приморских низменностей и шельфа (III) 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 (рис. 3, табл. 2).



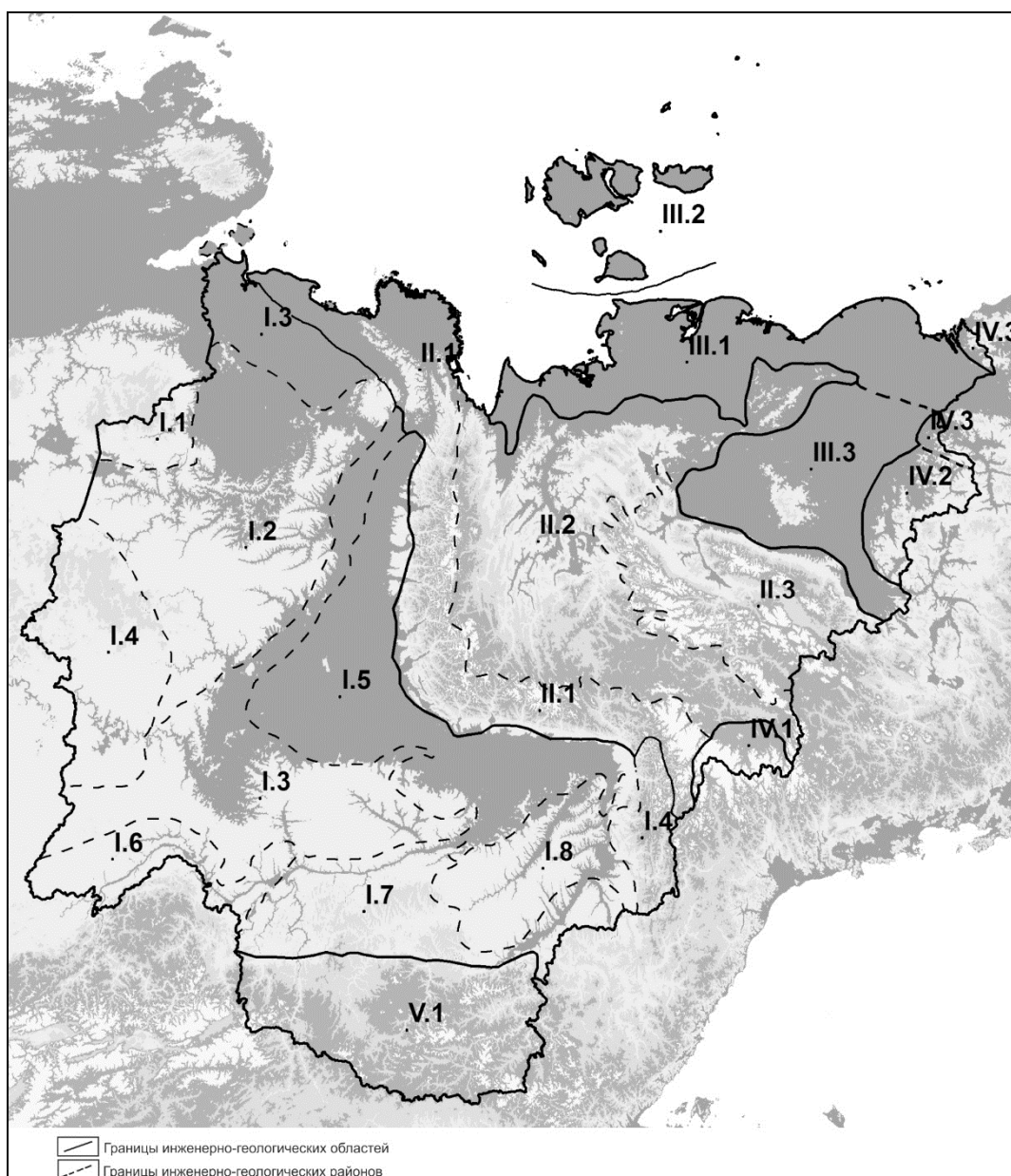


Рис. 3. Схема инженерно-геологического районирования территории Республики Саха (Якутия)

К Охотско-Чукотской области (IV) отнесены небольшие участки, расположенные вдоль восточной границы территории Республики, объединенные относительно широким распространением вулканогенных образований позднемезозойского возраста. В данной области выделено несколько пространственно разобщенных районов (табл. 2).

Алдано-Становая область (V) представлена одним районом, который относится к Алданскому щиту Сибирской платформы (рис. 3, табл. 2). Самая южная часть рассматриваемой территории, относящаяся к Становому хребту, и Алданское нагорье представляют собой молодой оро-

ген, 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

**Характеристика инженерно-геологических районов и экзогенные процессы  
на территории Республики Саха (Якутия)**

Инженерно-геологические области	Инженерно-геологические районы	Тектоническое и морфо-структурное положение	Преобладающие грунты	Экзогенные процессы
I. Равнины и плато Средней Сибири	I. 1. Анабарский	Анабарский щит, Анабарское плато	Скальные – гнейсы и кристаллические сланцы архея	Осыпи, обвалы, оползни, курумы, морозобойное растрескивание, солифлюкция, термоэрозия
	I. 2. Оленекский	Анабарская антеклиза и Оленекское поднятие, Средне-Сибирское плоскогорье	Скальные – карбонатные породы кембрийского возраста	Осыпи, курумы, солифлюкция, карст, морозобойное растрескивание
	I. 3. Лено-Вилуйский	Борта Вилуйской синеклизы, Зона перехода Центрально-Якутской равнины к смежным плато	Чередование полускальных и дисперсных грунтов юрского и мелового возраста	Осыпи, оползни, солифлюкция, курумы, морозобойное растрескивание, термоэрозия
	I. 4. Тунгусский	Тунгусская синеклиза, Вилуйское плато	Скальные базальты, туфы, туфогенные грунты	Осыпи, курумы, обвалы, морозобойное растрескивание, термоэрозия
	I. 5. Центрально-Якутский	Центральная часть Вилуйской синеклизы, Центрально-Якутская равнина	Дисперсные связные и несвязные грунты неоген-четвертичного возраста в предгорной равнине	Термокарст, заболачивание тукуланы, солифлюкция, термоэрозия, термосуффозия
	I. 6. Верхне-Ленский	Зоны Ленских (Прибайкальских) складок: Нюйской, Березовской впадин и Уринского антиклинория; Приленское плато	Скальные карбонатные и терригенно-карбонатные грунты	Осыпи, курумы, оползни, карбонатный карст, эрозия и термоэрозия
	I. 7. Лено-Алданский	Алданская антеклиза, Приленское плато	Скальные карбонатные грунты	Осыпи, курумы, оползни, карст, солифлюкция, морозобойное растрескивание
	I. 8. Амгинский	Восточная часть Алданской антеклизы, Приленское плато	Чередование полускальных и дисперсных грунтов юрского и мелового возраста	Осыпи, оползни, солифлюкция, термоэрозия
	I. 9. Анабаро-Оленекский	Лено-Анабарский краевой прогиб, Северо-Сибирская низменность	Преимущественно дисперсные грунты	Оползни, солифлюкция, осыпи, термокарст, термоэрозия
II. Верхояно-Колымская	II. 1. Верхоянский	Верхоянский антиклинорий, Верхоянский хребет, кряжи Чекановского, Прончищева	Полускальные терригенные грунты, редко карбонатные грунты позднего палеозоя и раннего триаса	Обвалы, осыпи, курумы, оползни, термоэрозия, морозобойное растрескивание
	II. 2. Янский	Область развития аклинориев. Янское, Эльгинское, Оймьконское плоскогорья, хребты Кулар, Полоусный, Улахан Сис, наложенные впадины	Преимущественно полускальные терригенные грунты триаса и юры, дисперсные грунты в пределах наложенных впадин	Осыпи, оползни, курумы, термоэрозия, морозобойное растрескивание, термокарст
	II. 3. Черско-Момский	Полоусненский синклиний, Тас-Хаяхтахский антиклинорий, Момский антиклинорий, Момо-Зырянская впадина Хребты Черского, Момский, Момская впадина	Скальные (мезозойские граниты, палеозойские карбонатные) грунты, полускальные терригенные юрские и меловые грунты, дисперсные грунты	Обвалы, осыпи, курумы, наледи, карст, термоэрозия
	II. 4. Сетте-Дабанский	Сетте-Дабанский антиклинорий, Хребты Сетте-Дабан, Кыллахский	Скальные карбонатные палеозойские грунты и позднепротерозойские	Осыпи, обвалы, курумы, карст, эрозия
III. Приморских низменностей и шельфа	III. 1. Яно-Колымский	Приморская наложенная впадина, Яно-Колымская и Колымская низменности, дельта р. Лены, п-ов Мамонтов Клык	Преимущественно дисперсные, связные сильно льдистые грунты ледового комплекса, несвязные грунты дельты р. Лены, органогенные грунты аласов и термокарстовых котловин	Термокарст, оползни, термоабразия, термоэрозия, заболачивание, морозобойное растрескивание



	III. 2. Новосибирский	Новосибирско-Чукотская и Верхояно-Колымская складчатые системы, Шельф Ледовитого океана Острова Новосибирского архипелага, Медвежий о-ва, о. Бол. Бегичев	Дисперсные связные сильно льдистые грунты с окнами скальных, полускальных грунтов	Термоабразия, оползни, термокарст, морозобойное растрескивание, заболачивание
	III. 3. Колымский	Колымский срединный массив, Колымская низменность, Алазейское плоскогорье	Дисперсные связные льдистые грунты ледового комплекса с окнами вулкано-генных скальных грунтов палеозойского и мезозойского возраста	Термокарст, заболачивание, оползни, солифлюкция, термоэрозия, осыпи
IV. Охотско-Чукотская	IV. 1. Сунтарский	Охотско-Чукотский вулкано-генный пояс. Южная часть хр. Сунтар-Хаяга	Скальные вулкано-генные и полускальные терригенные грунты мезозойского и палеозойского возраста	Обвалы, осыпи, оползни, курумы, термоэрозия
	IV. 2. Юкагирский	Юкагирское плоскогорье	Скальные и карбонатные грунты Приколымского поднятия	Осыпи, курумы, оползни, заболачивание, термоэрозия
	IV. 3. Анюйско-Омолонский	Охотско-Чукотский пояс и Новосибирско-Чукотская складчатая система, Юкагирское плоскогорье	Скальные и полускальные вулкано-генные и терригенные грунты системы, дисперсные связные льдистые и несвязные грунты кайнозойских впадин	Осыпи, оползни, курумы, солифлюкция, морозобойное растрескивание, термоэрозия
V. Алдано-Становая		Алданский щит, Нерюнгринская, Токкинская и др. мезозойские впадины Алданское нагорье и Становой хребет	Скальные магматические и метаморфические грунты, мезозойские полускальные грунты	Осыпи, обвалы, оползни, курумы, морозобойное растрескивание, солифлюкция, эрозия и термоэрозия

грунты: песчаники, пески, алевролиты, аргиллиты, угли, алевриты, конгломераты. Подчиненное значение имеют мерзлые дисперсные обломочные грунты, относящиеся к аллювиальным и ледниковым образованиям. Рельеф данной области 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 общеислотной 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.

Каждая из выделенных выше областей охарактеризована с точки зрения главных черт гео-

логического строения, тектонических особенностей, новейшей тектоники, активных экзогенных процессов, агрессивности надмерзлотных вод, преобладающего комплекса видов и разновидностей грунтов. Краткая характеристика особенностей, выделенных в пределах данных областей районов, приведена в табл. 2.

Анализ представленных на карте материалов позволяет предварительно оценить инженерно-геологические условия Республики Саха (Якутия) и выделить территории, наименее устойчивые в инженерно-геологическом отношении. В пределах рассматриваемой территории распространены разнообразные по составу и степени устойчивости мерзлые грунты и протекающие на поверхности и в недрах экзогенные и эндогенные процессы.

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 равнин и плато 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 двух-слойных разрезов. Низкотемпературные (температура грунтов на подошве слоя годовых теплооборотов ниже  $-5^{\circ}\text{C}$ ), твердомерзлые разновидности занимают большую часть области Приморской низменности. В подобных 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 средних годовых температур воздуха около  $-15^{\circ}\text{C}$ – $-20^{\circ}\text{C}$ . Нарушение напочвенного покрова этой разновидности грунтов приводит к заболачиванию и последующему нарастанию термокарста. Высокотемпературные разновидности (выше  $-5^{\circ}\text{C}$ ) пород 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 республики характеризуются значительно более высокой степенью 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 благоприятными для инженерных сооружений являются Верхояно-Колымская, Охотско-Чукотская и Алдано-Становая области. Эти горные области характеризуются интенсивным проявлением склоновых процессов и высокой сейсмичностью. Следует принять во внимание и то, что некоторые площади республики характеризуются развитием крайне низких зимних температур воздуха (ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ ), вызывающими температурные деформации инженерных сооружений. Эти площади охватывают Центрально-Якутский район и практически всю Верхояно-Колымскую область.

Таким образом, все выше упомянутые области можно отнести к неблагоприятным в инженерно-геологическом отношении территориям,

общая площадь которых составляет около 70% территории республики.

### Заключение

В связи с существующими государственными планами по ускоренному развитию арктических территорий, для обеспечения устойчивого развития, снижения затрат на исследование инженерно-геологических условий, выбора приоритетов строительства представляется актуальным издание составленной электронной карты и объяснительной записки на твердом (бумажном) носителе.

Издание инженерно-геологической карты Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000 и объяснительной записки к ней на твердом носителе имеет большое практическое значение, поскольку делает информацию по инженерно-геологическим условиям региона доступной для всех заинтересованных пользователей.

### Литература

1. *Инженерно-геологическая* карта СССР: Масштаб 1:2500000. – М.: ВАГТ, 1972.
2. *Геологическая* карта Якутской АССР: Масштаб 1:1500000 / ред. Л.И. Красный. – Омск: ГУГК, 1978.
3. *Геологическая* карта Республики Саха Якутия: Масштаб 1:15000000 / ред. В.А. Янжиншин. – Л.: ВСЕГЕИ, 2006.
4. *Геология* Якутской АССР. – М.: Недра, 1981. – 300 с.
5. *Геокриологическая карта* СССР: Масштаб 1:2500000. – М.: Картпредприятие, 1997.
6. *Хименков А.Н.* Геосистемный подход в геокриологии // Криосфера Земли. – 2013. – Т. XVII, № 2. – С. 74–82.
7. *Трофимов В.Т.* Термин «грунт»: ретроспектива и современное содержание // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2000. – № 1. – С. 58–61.
8. *Трофимов В.Т.* Инженерная геология России / В.Т. Трофимов, Е.А. Вознесенский, В.А. Королев. – М.: КДУ, 2011. – Т. 1. – 672 с.
9. *Криогенные геосистемы: проблемы исследования и моделирования* / В.П. Мельников, А.Н. Хименков, А.В. Брушков и др. – Новосибирск: Гео, 2010. – 390 с.
10. *Шепелев В.В.* Надмерзлотные воды криолитозоны. – Новосибирск: Гео, 2011. – 169 с.
11. *Трофимов В.Т.* Инженерно-геологические карты: учеб. пособие / В.Т. Трофимов, Н.С. Красилова. – М.: КДУ, 2007. – 384 с.
12. *Мокшанцев К.Б.* Тектоника Якутии. – Новосибирск: Наука, 1975. – 198 с.

Поступила в редакцию 11.04.2016