

Шестакова А.А.^{1,2}, Спектор В.Б.³, Торговкин Я.И.⁴

ОПЫТ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрено инженерно-геокриологическое районирование территории Республики Саха (Якутия), которое осуществлено с помощью анализа основных факторов формирования инженерно-геокриологических условий на территории РС (Я) и их картографического обобщения. Составлены карты-схемы районирования: рельефа (морфоструктурная), криогенных процессов, грунтовых условий, геокриологических условий и сейсмичности. Проведена балльная оценка разновидностей инженерно-геокриологических условий и выделены территории, в различной степени благоприятные для осуществления инженерной деятельности. Статья начинается кратким «Введением», в котором раскрываются цели и актуальность работы. Последующий раздел «Методика работ» освещает проведение ранжирования видов инженерно-геокриологических условий для удобства районирования. Далее рассматриваются «Факторы формирования инженерно-геокриологических условий территории Республики Саха (Якутия)», такие, как геодинамический, морфоструктурный, геокриологический, гидрогеологический и сейсмичность территории. В разделе «Результаты исследования и их обсуждение» рассматриваются составленные карты-схемы районирования по отдельным видам инженерно-геокриологических условий. Это карты-схемы морфоструктурного (геоморфологического) районирования, карты-схемы районирования по интенсивности криогенных процессов, по грунтовым условиям, по геокриологическим условиям и сейсмического районирования. Также приведен комплексный анализ перечисленных выше факторов инженерно-геокриологических условий. В разделе «Выводы» указывается, что исключительно сложным в инженерном отношении является регион Приморской низменности и мелководного шельфа. В дальнейшем для уточнения инженерных условий представляется рациональным составление мерзлотно-ландшафтной и геоморфологической карты территории РС (Я) и других карт, которые позволят оценить экономическую целесообразность различных видов инженерной деятельности на территории республики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: районирование, инженерно-геокриологические условия, криогенные процессы, грунтовые условия, морфоструктура.

¹ Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Мерзлотная, д. 36, 677010, Якутск, Россия, *e-mail*: aashest@mail.ru

² Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, д. 58, 677027, Якутск, Россия, *e-mail*: aashest@mail.ru

³ Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Мерзлотная, д. 36, 677010, Якутск, Россия, *e-mail*: vbspector@mpi.ysn.ru

⁴ Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Мерзлотная, д. 36, 677010, Якутск, Россия, *e-mail*: torgovkin@mpi.ysn.ru

Alyona A. Shestakova^{1,2}, Vladimir B. Spektor³, Yaroslav I. Torgovkin⁴

EXPERIENCE OF ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL MAPPING OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

ABSTRACT

Engineering-geocryological zoning of the Republic of Sakha (Yakutia) is considered in the work, which was performed based on the analysis of the main factors controlling engineering-geocryological conditions in the region and their cartographic generalization. The schematic maps of zoning are made: relief (morphostructural), cryogenic processes, ground conditions, geocryological conditions and seismicity. A scoring of varieties of engineering-geocryological conditions was carried out and territories were identified in various degrees favorable for the implementation of engineering activities. The article begins with a short "Introduction", in which the goals and relevance of the work are revealed. The following section "Methods of work" highlights the ranking of the types of engineering-geocryological conditions for the convenience of zoning. Next, "Factors forming engineering geocryological conditions of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)" are considered, such as geodynamic, morphostructural, geocryological, hydrogeological and seismicity of the territory. In the section "Results of the study and their discussion", the compiled schematic maps of the zoning for individual types of engineering-geocryological conditions are considered. These are schematic maps of morphostructural (geomorphological) zoning, zoning schematic maps based on the intensity of cryogenic processes, ground conditions, geocryological conditions and seismic zoning. A complex analysis of the above-listed factors of engineering-geocryological conditions is also given. In the "Conclusions" section it is indicated that the region of the Primorsky lowland and shallow shelf is exceptionally difficult in engineering terms. In the future, to clarify the engineering conditions, it seems rational to compile a permafrost-landscape and geomorphological map of the territory of the RS (Y), and other maps that will enable us to assess the economic feasibility of various types of engineering activities on the territory of the Republic.

KEYWORDS: zoning, engineering-geocryological conditions, cryogenic processes, ground conditions, morphostructure.

ВВЕДЕНИЕ

Инженерно-геокриологическое районирование – один из методов инженерной геокриологии, объектом которого является геологическая среда криолитозоны, взаимодействующая с инженерными сооружениями.

Актуальность представленной работы объясняется ускорением освоения северных (в том числе Арктических) территорий, необходимостью информационного обеспечения планирования инженерной деятельности на территории РС (Я), принятия принципиальных решений по размещению объектов строительства и направлениям магистральных транспортных и инженерных коммуникаций, основ генеральных схем инженерной защиты от опасных геологических процессов, оценки эффективности строительства и эксплуатации крупных инженерных сооружений на территории РС (Я), предотвращения критических технических и экологических ситуаций.

¹ Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Merzlotnaya str., 36, 677010, Yakutsk, Russia, *e-mail*: aashest@mail.ru

² North-Eastern Federal University in Yakutsk, Belinsky str., 58, 677027, Yakutsk, Russia, *e-mail*: aashest@mail.ru

³ Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Merzlotnaya str., 36, 677010, Yakutsk, Russia, *e-mail*: vbspektor@mpi.ysn.ru

⁴ Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Merzlotnaya str., 36, 677010, Yakutsk, Russia, *e-mail*: torgovkin@mpi.ysn.ru

Под инженерно-геокриологическим районированием понимается пространственная оценка территории с точки зрения изменчивости инженерно-геокриологических условий. Инженерно-геокриологические условия определяются свойствами мерзлых и оттаивающих пород, развитием мерзлотно-геологических процессов, состоянием горизонтов межмерзлотных и подмерзлотных вод, быстрой временной изменчивостью температурного поля пород [Основы..., 1999]. Анализ инженерно-геокриологических условий проведен на глубину 10–20 м, соответствующую зоне взаимодействия большинства инженерных сооружений, возводимых и планируемых на территории РС (Я), с криолитозоной.

МЕТОДИКА РАБОТ

Задачи инженерно-геокриологического районирования решены с помощью построения карт-схем, отражающих разные виды инженерно-геологических условий: 1 – строение рельефа; 2 – опасные геокриологические процессы (экзодинамической); 3 – грунтовые условия; 4 – геокриологические условия; 5 – гидрогеологические условия; 6 – сейсмические условия.

Для удобства районирования проведено ранжирование видов инженерно-геокриологических условий. Наивысший классификационный таксон – в ранге региона – был присвоен наиболее крупным элементам рельефа. Второй ранг – провинции – также закреплен за менее крупными элементами рельефа и тесно с ними связанными, криогенными процессами. Третий, более низкий по уровню таксономический уровень – ранг областей – был закреплен за грунтовой составляющей. Ранг районов был присвоен криогенной составляющей инженерно-геокриологических условий.

Вне ранжирования, на схемах-врезках, показаны гидрогеологическая составляющая инженерно-геокриологических условий и сейсмичность.

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Проблему комплекса видов инженерно-геологических условий, определяющих сложность территории в инженерном отношении, нельзя считать окончательно решенной. Как пишет В.И. Попов, «для характеристики и оценки инженерно-геологических условий строительства должны быть освещены: а) строение земной коры и слагающие ее породы; б) строение поверхности земной коры; в) подземные воды; г) современные геологические процессы» [Попов, 1961, с. 8]. По мнению В.Т. Трофимова, «инженерно-геологические условия обычно рассматривают как комплекс современных геологических особенностей (параметров, факторов), определяющих условия инженерных изысканий, строительства и эксплуатации инженерных сооружений (узкий подход) или условия инженерно-хозяйственной деятельности человека в целом (широкий подход)» [Трофимов, 2002]. Компонентами инженерно-геологических (геокриологических) условий являются: 1) геологическое строение местности и характер слагающих ее пород; 2) рельеф; 3) гидрогеологические условия; 4) мерзлотные условия; 5) современные геологические процессы [Трофимов, Аверкина, 2007].

По определению В.Т. Трофимова, основной закон региональной инженерной геологии – закон И.В. Попова – приобретает вид: «Современные особенности инженерно-геологических структур Земли определяются историей их геологического развития, современными структурно-тектоническим положением и климатическими условиями, а на освоенных территориях и характером техногенных воздействий» [Трофимов, 1999, с. 34].

В приведенных высказываниях подчеркивается ведущая роль среди факторов, характеризующих инженерно-геологические условия, историко-геологического, тектонического фактора, определяющего, по мнению исследователей, облик основных элементов инженерно-геологического районирования – структурных зон. Эти структурные зоны, по мнению многих исследователей, контролируют набор определенных формаций, характеризуются особенностями магматизма, гидрогеологических условий и современных геологических процессов [Инженерная..., 1977]. Можно согласиться с тем, что историко-тектонический фактор в некоторой степени контролирует состав и размещение скальных и полускальных грунтов. Однако состав и распространение дисперсных грунтов, а также современные геологические процессы контролируются, главным образом, геодинамической обстановкой и зонально-климатическим, а в пределах территории РС (Я) геокриологическим фактором.

Геодинамический фактор обуславливает пространственное размещение основных *морфоструктурных элементов* – регионов равнин, плато, гор. Современная геодинамическая обстановка территории РС (Я) определяется находящимися в ее пределах современными границами двух литосферных плит: Евразийской и Северо-Американской – на восточной половине территории РС (Я) [Парфенов и др., 2001] и Байкало-Станового складчато-надвигового пояса – на юге территории РС (Я) [Тектоника..., 2001].

Морфоструктурный фактор определяет интенсивность и виды экзогенных процессов и грунтовые условия. Именно от этого фактора зависит сложность возведения и эксплуатации инженерных сооружений.

Геокриологический фактор оказывает непосредственное влияние на геологическую среду и в особенности на грунтовую составляющую инженерно-геологических условий [Основы..., 1999].

Гидрогеологический фактор – это в значительной степени геокриологические условия – приуроченность рассматриваемой территории к области распространения сплошной криолитозоны. Преобладающим типом вод здесь являются ультрапресные воды деятельного слоя.

Сейсмичность территории тесно связана с геодинамическим фактором и зонально-климатическим фактором, контролирующим перигляциальные области активных гляцио-изостатических движений.

Обзор факторов, влияющих на формирование инженерно-геологических условий, показывает, что все эти факторы объединяются геодинамической обстановкой и климатической зональностью. Все факторы взаимосвязаны, и каждый в отдельности и все вместе влияют на рельеф, экзогенные процессы, на состав, свойства, температуру и размещение дисперсных грунтов и, в конечном итоге, на весь комплекс инженерно-геокриологических условий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже рассматриваются составленные карты-схемы районирования по отдельным видам инженерно-геокриологических условий.

Морфоструктурное (геоморфологическое) районирование территории Республики Саха (Якутия) (рис. 1).

Районирование территории РС (Я) проведено по морфоструктурному принципу. В соответствии с размерами рассматриваемой территории морфоструктуры (регионы) приняты авторами в качестве таксонов первого порядка: I – регион Приморской низменности и береговой зоны шельфа, II – регион равнин и плато Средней Сибири, III – Байкало-Становой регион, IV – Верхояно-Чукотский регион, V – Трансрегиональные области – долины крупных рек. Предлагаемая классификация близка к предлагаемой в работе [Основы..., 1999]. В зависимости от высотного положения вершинной поверхности, раз-

меров морфоструктур, их пространственного положения и ландшафтных особенностей регионы разделяются на менее крупные таксоны – провинции. Всего на карте-схеме морфоструктурного районирования выделено, в составе пяти регионов, около 90 провинций. Типы провинций показаны в табл. 1. В этой же таблице в баллах оценена сравнительная степень сложности инженерных условий (при прочих равных условиях) в зависимости от сложности рельефа на основных видах морфоструктурных регионов и провинций.

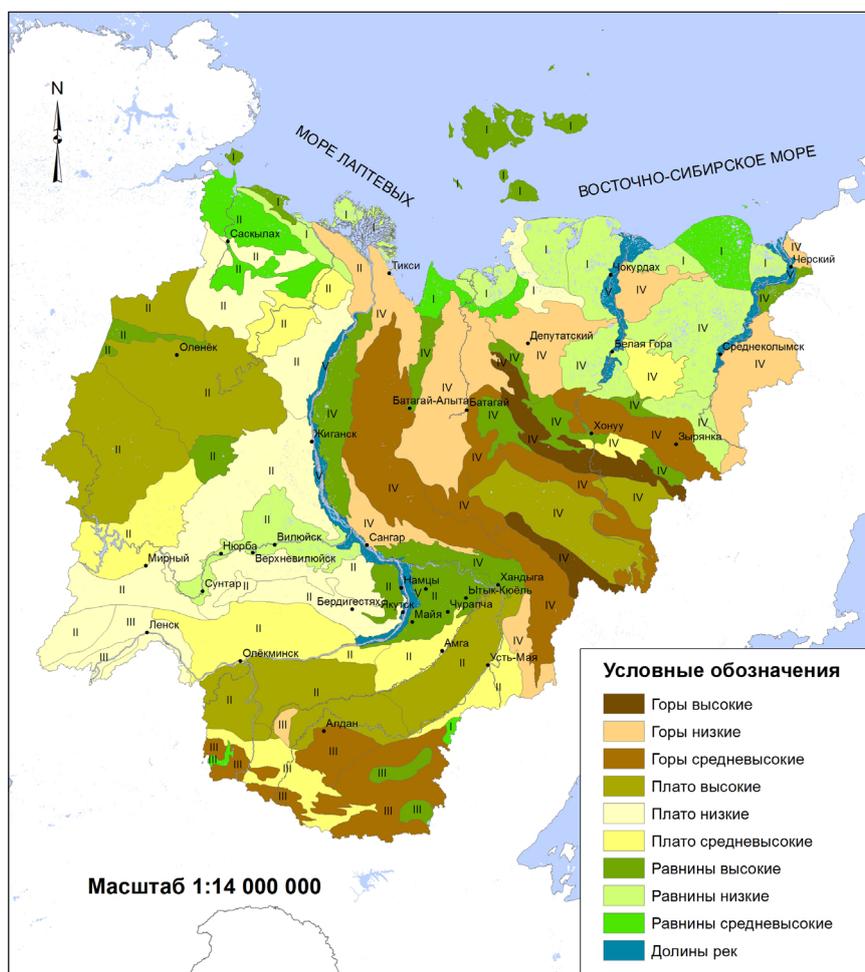


Рис. 1. Карта-схема морфоструктурного (геоморфологического) районирования
Fig. 1. Schematic map of morphostructural (geomorphological) zoning

Таблица 1. Виды морфоструктурных провинций
Table 1. Types of morphostructural provinces

Формы рельефа и их генезис	Равнины	Плато	Горы
Аккумулятивные (аллювиальные, флювиогляциальные)	Низкие – 4	–	–
Денудационно-аккумулятивные	Средневысокие и приподнятые – 3	–	–
Денудационно-аккумулятивные	Высокие – 1	–	–
Денудационные	–	Низкие – 4	Низкие – 7, 8
	–	Средние – 5	Средние – 9, 10
	–	Высокие – 6	Высокие – 10–12

Районирование территории Республики Саха (Якутия) по интенсивности криогенных процессов (рис. 2).

В качестве примера характеристики криогенных процессов приведен лишь один из фрагментов таблицы (табл. 2), составленной нами для всей территории республики.

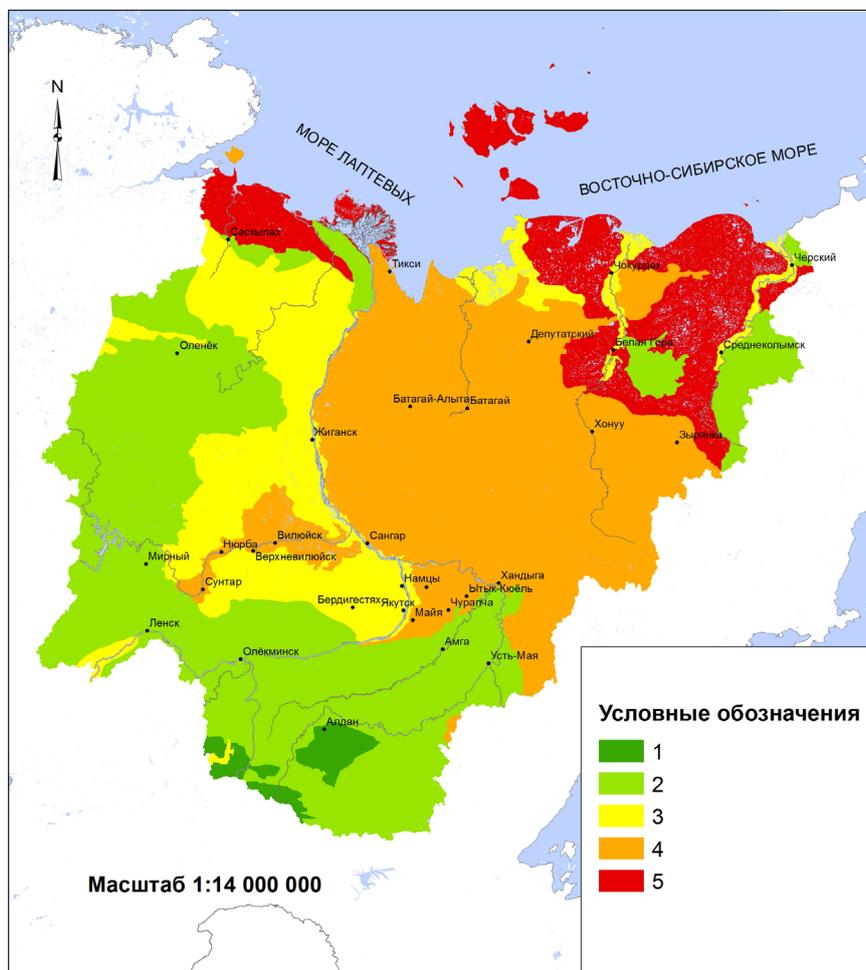


Рис. 2. Карта-схема районирования по интенсивности криогенных процессов
Fig. 2. Schematic map of zoning by the intensity of cryogenic processes

В колонке 2 этой таблицы приведена оценка степени опасности криогенных процессов для наземного строительства. В соответствии с классификацией, разработанной на кафедре геокриологии Геологического факультета МГУ [Основы..., 1999], по степени опасности криогенные процессы разделяются на следующие классы: незначительно опасные – 1 класс; малоопасные – 2 класс; умеренно-опасные – 3 класс; опасные – 4 класс; чрезвычайно-опасные – 5 класс. В третьей колонке таблицы приведены характеристики зонально-секторальных типов ландшафтов и их климатическая характеристика в соответствии с классификацией по работе. В четвертой колонке приведены виды криогенных процессов, интенсивность их проявления. Эти показатели оценены авторами карты на основании собственных предшествующих геокриологических и геоморфологических исследований на территории РС (Я). Классификация интенсивности проявления процессов по площади была проведена по методике, изложенной в работе [Основы..., 1999, таблица 5.3, с. 188]. Принятые сокращения видов процессов следующие: Т – термокарст; П – морозное пучение грунтов; Н – относительная наледность; С – солифлюкция; Сп – сплывы (оползни); Тэ – термоэрозия;

Та – термоабразия. На карте-схеме интенсивность экзогенных (криогенных) процессов показана цветом. На основе анализа интенсивности криогенных процессов проведена сравнительная оценка выделенных регионов по этому показателю (табл. 3).

Таблица 2. Фрагмент таблицы морфоструктурного районирования и характеристики интенсивности и видов криогенных процессов
Table 2. Fragment of the table of morphostructural zoning and characteristics of intensity and types of cryogenic processes

Таксоны морфоструктурного районирования	Интенсивность криогенных процессов в баллах	Зонально-секторальный тип ландшафта	Комплекс процессов с указанием интенсивности в баллах
Регион Приморской низменности и мелководного шельфа Провинции:		Арктический и субарктический	
I-1. Острова Анжу и Де-Лонга	5	ум-м	Та ₄₋₅ Сп ₃₋₄ Тэ ₃₋₄ Т ₂ П ₂
I-2. Ляховские острова	5	ум-м	Та ₄₋₅ Сп ₃₋₄ Тэ ₃₋₄ Т ₂ П ₂
I-3. Остров Бол. Бегичева	4	ум-м	Та ₃₋₄ Т ₃₋₄ Тэ ₃₋₄ П ₂₋₃ Сп ₂₋₃ С ₂
I-4. Полуостров Мамонтов Клык	5	ум-м	Та ₃₋₄ Т ₃₋₄ Тэ ₃₋₄ П ₂₋₃ Сп ₂₋₃ С ₂

Примечание. Содержание буквенных обозначений по [Основы..., 1999, табл. 5.2, с. 183–187]: ум – умеренно-морской, ук – умеренно-континентальный, к – континентальный, рк – резко-континентальный.

Таблица 3. Оценка сложности инженерно-геокриологических условий по экзодинамическому показателю
Table 3. Estimation of the complexity of engineering-geocryological conditions according to the exodynamic index

Регион	Преобладающий тип морфоструктур	Преобладающие экзогенные процессы	Оценка интенсивности экзогенных процессов в баллах
I. Приморской низменности и береговой зоны шельфа	Равнины низкие	Т ₄₋₅ Тэ ₂ П ₂₋₃ С ₁ Сп ₁	4–5
II. Равнин и плато Средней Сибири	Плато низкие и средневысокие	Тэ ₂₋₃ С ₂₋₃ Сп ₂₋₃ Т ₁₋₂ П ₁₋₂	2–3
III. Байкало-Станового складчато-надвигового пояса	Средневысокие горы и плато	С ₂ Сп ₁₋₂ Тэ ₁₋₂	1–2
IV. Верхояно-Чукотский	Горы низкие и средневысокие	Сп ₃₋₄ С ₂₋₃ П ₁₋₂ Тэ ₁₋₂ Т ₁	3–4
V. Трансрегиональные регионы – долины крупных рек	Низкие равнины	Тэ ₂₋₃ Т ₂₋₃ Н ₂₋₃ П ₂₋₃ С ₁₋₂ Сп ₁₋₂	2–3

Районирования территории Республики Саха (Якутия) по грунтовым условиям (рис. 3). Для задач районирования грунтовых условий столь большой территории ранг грунтовых таксонов был ограничен классом и группой грунтов. Дополнительно были выделены переходные группы – сочетания карбонатных и терригенных грунтов, сочетания дисперсных и полускальных грунтов, двуслойные разрезы. Характеристика выделенных единиц по грунтовым условиям приведена в табл. 4.

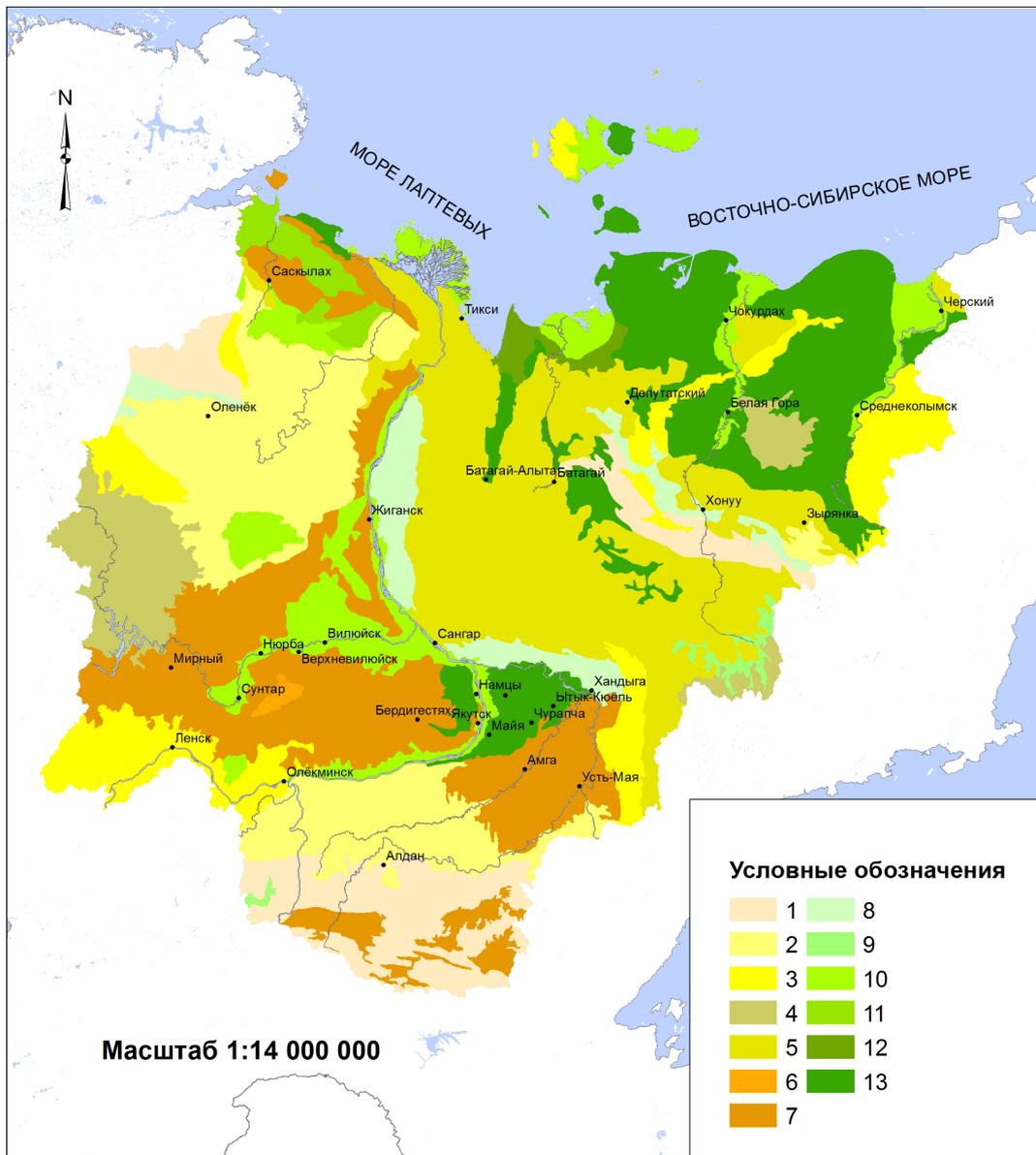


Рис. 3. Карта-схема районирования по грунтовым условиям:

1 – интрузивные, траппы, гнейсы, сланцы, роговики; 2 – известняки, доломиты; 3 – сочетание карбонатных и терригенных грунтов; 4 – туфы, лавы; 5 – переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов, пласты и прослои углей; 6 – известняки, доломиты, гипс; 7 – сочетание песков, песчаных алевролитов, алевролитов, аргиллитов; 8 – щебни, галька, гравий, глыбы с песчано-суглинистым заполнителем; 9 – галечники, пески, супеси; 10 – пески, супеси с галькой, гравий, щебни; 11 – суглинки, супеси, глины, пески с гравием; 12 – илы минеральные и органические супеси, пески, торф; 13 – лессовидные суглинки, супеси, льдистые (>40 %)

Fig. 3. Schematic map of zoning by ground conditions

Таблица 4. Элементы грунтовой составляющей районирования инженерно-геокриологических условий
Table 4. Elements of the soil component of the zonation of engineering-geocryological conditions

Классы мерзлых и морозных грунтов	Группа	Группы видов и разновидностей
Скальные	Силикатные	Интрузивные всех групп, излившиеся траппы, метаморфические породы – 1
	Карбонатные, карстующиеся	Известняки, доломиты – 2
Полускальные	Сочетание скальных и полускальных	Сочетание карбонатных и терригенных грунтов: известняки, мергели, доломиты, прослой аргиллитов, алевролитов, песчаников, конгломератов – 2
	Вулканические	Туфы, лавы – 1
	Терригенные	Переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов, пласты углей, прослой вулканитов, конгломератов – 1
Скальные и полускальные с прослоями растворимых		Терригенные и карбонатные с прослоями гипсов, доломитов, ангидритов, каменной соли – 6

Районирование Республики Саха (Якутия) по геокриологическим условиям.

Определяющим критерием состояния мерзлых грунтов для строительства наземных сооружений показан интервал температур $0 \div -2$ °С. Этот интервал температур контролирует пластические свойства мерзлых грунтов, определяя их твердомерзлое и пластично-мерзлое состояние (табл. 5). Кроме них на карте-схеме выделяются охлажденные и морозные грунты (рис. 4). Небольшие площади на юге территории, на участках островной и прерывистой мерзлоты, могут находиться и в талом состоянии. В скобках приведена оценка усложнения инженерно-геологических условий в зависимости от льдистости и температуры грунтов.

Таблица 5. Характеристика геокриологических условий
Table 5. Characteristics of geocryological conditions

Состав грунтов	Температура грунтов, °С	Состояние грунтов	Льдистость грунтов		
			Слабая	Средняя	Сильная
Дисперсные	Ниже -2°	Твердо-мерзлые	А (1)	Б (2)	В (4)
	$0 \div -2$ °С	Пластично-мерзлые	Г (2)	Д (3)	Е (5)
Скальные и полускальные	Ниже 0 °С	Охлажденные	Ж (4)		
		Мерзлые	З (0)	И (1)	К (2)
	Выше 0 °С	Талые	Л (1)		

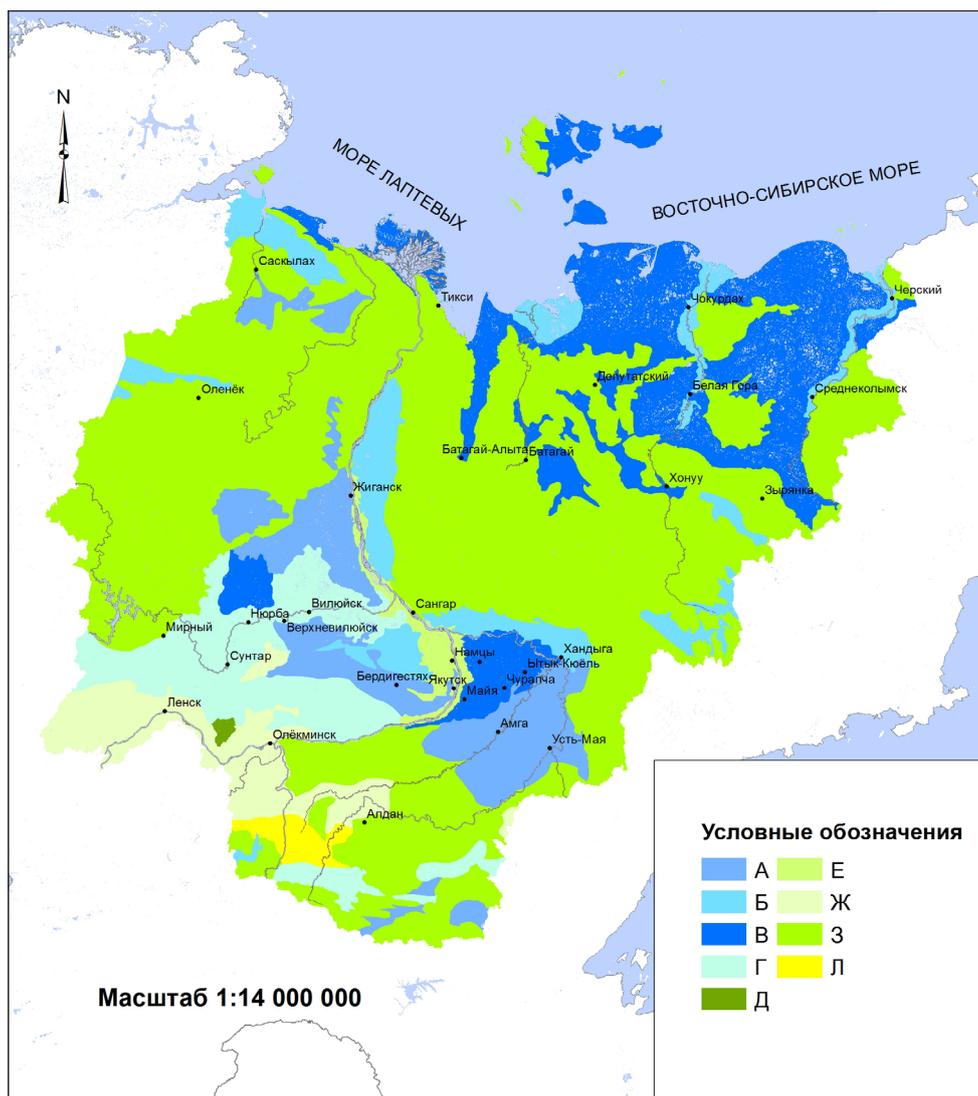


Рис. 4. Карта-схема районирования по геокриологическим условиям
Fig. 4. Schematic map of zoning by geocryological conditions

Районирование территории Республики Саха (Якутия) по гидрогеологическим условиям проведено по свойствам состава и агрессивности межмерзлотных и надмерзлотных вод.

На большей части территории надмерзлотные воды характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым составом и не обладают агрессивными свойствами [Гидрогеологическая..., 1967; Гидрогеологическая карта СССР, 1969; Карта..., 1980, 1993]. На юго-западе территории в Байкало-Становом регионе отмечаются выходы минерализованных вод (в среднем 4 г/л) с сульфатной агрессивностью, приуроченные к участкам развития прерывистой и островной мерзлоты (табл. 6).

Карта-схема сейсмического районирования территории Республики Саха (Якутия) (рис. 5, автор Б.М. Козьмин, ИГАиБМ СО РАН). Проведено разделение территории по балльности землетрясений. Около 50 % территории РС (Я) относится к зонам, имеющим балльность около 6 баллов и выше. На остальной части территории возможны землетрясения интенсивностью 5 баллов (табл. 7).

Таблица 6. Характеристика гидрогеологических условий
Table 6. Characteristics of hydrogeological conditions

Тип криолито- зоны (КЛЗ)	Глубина залегания надмерзлотных и грунтовых вод	Тип агрессивности надмерзлотных и грунтовых вод	Оценка усложнения инженерно- геокриологических условий в баллах
Сплошная КЛЗ	До 3 м, в зонах разломов более 3 м	Неагрессивная	1
		Общекислотная + выщелачивающая	1
	До 3 м и до 10 м в межмерзлотных таликах	Неагрессивная	1
		Общекислотная + выщелачивающая	2
		Общекислотная + сульфатная	3
	3–10 м, спорадически более 10 м	Сульфатная (в переходной зоне)	3
Выщелачивающая (тукуланы)		3	
Прерывистая КЛЗ	3–10 м, спорадически более 10 м	Неагрессивная	1
		Сульфатная	3
Островная	Более 10 м	Сульфатная	3

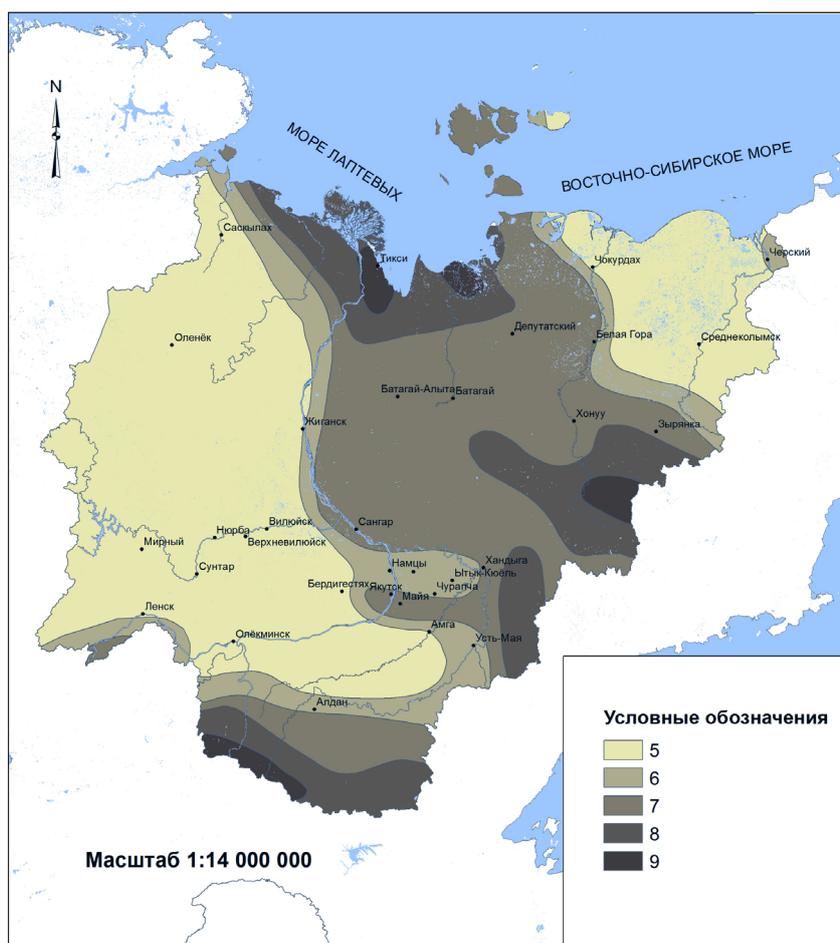


Рис. 5. Карта-схема сейсмического районирования
Fig. 5. Schematic map of seismic zoning

Таблица 7. Преобладающая интенсивность землетрясений
в инженерно-геокриологических регионах территории Республики Саха (Якутия)
Table. 7. The prevailing intensity of earthquakes in engineering-geocryological
regions of the Republic of Sakha (Yakutia)

Регион	Интенсивность землетрясений в баллах	Оценочная балльность региона
I. Приморской низменности и береговой зоны шельфа	9–5	9
II. Равнин и плато Средней Сибири	5	5
III. Байкало-Станового складчато-надвигового пояса	9–6	9
IV. Верхояно-Чукотский	9–7	9
V. Трансрегиональные регионы – долины крупных рек	6–7	7

Комплексный анализ факторов инженерно-геокриологических условий

Составленные карты-схемы распространения факторов инженерно-геокриологических условий позволяют оценить относительную устойчивость выделенных элементов районирования разного таксономического ранга. Остановимся на сравнительной оценке для самых крупных единиц районирования – регионов (табл. 8). Подход к оценке условий строительства и эксплуатации инженерных сооружений в условиях криолитозоны заимствован из известных работ [Основы..., 1999; Оспенников и др., 1980 и др.]. Исходные данные о сложности разных видов условий по выделенным регионам приведены в табл. 3–7 и на рис. 1–5.

Таблица 8. Сравнительная оценка сложности инженерно-геокриологических условий
Table 8. Comparative evaluation of the complexity of engineering-geocryological conditions

Регион	Сложность инженерно-геокриологических условий в баллах						Сумма баллов
	Рельеф	Криогенные процессы	Грунтовые условия	Криологические условия	Гидрогеологические условия	Сейсмические условия	
I. Приморской низменности и береговой зоны шельфа	4	5	10	4	1	9	33
II. Равнин и плато Средней Сибири	3	3	6	4	3	5	24
III. Байкало-Станового складчато-надвигового пояса	9	2	6	4	3	9	33
IV. Верхояно-Чукотский	12	4	2	1	1	9	29
V. Трансрегиональные регионы – долины крупных рек	4	3	7	1	1	7	23

Таким образом, наиболее благоприятными инженерно-геокриологическими условиями характеризуются долины крупных магистральных рек (23 балла) и близкие к ним по оценке равнины и плато Средней Сибири (Центральная Якутия). Наихудшие условия инженерной деятельности – в регионе Приморской низменности и шельфа, а также Байкало-Станового пояса, которые характеризуются сложностью около 33 баллов. Необходимо отметить, что данная оценка является сугубо ориентировочной, основанной на приближенных оценках сложности и не учитывает экономического значения регионов.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований на основе современных технологий и программ (ArcGis10.1) были составлены детальные карты-схемы районирования территории РС (Я) по отдельным видам инженерно-геокриологических условий: рельефу, криогенным процессам, грунтовым условиям, пластическим свойствам грунтов, учитывающим температуру и льдистость, гидрогеологическим особенностям и сейсмичности территории. Каждая из этих карт-схем представляет собой самостоятельный предмет для анализа.

Исключительно сложным в инженерном отношении является регион Приморской низменности и мелководного шельфа. Эта сложность связана с грунтовыми и динамическими условиями. На территории суши рассматриваемого региона распространены преимущественно высокольдистые грунты ледового комплекса, имеющие оценку сложности 10 баллов. Высокая сейсмичность свойственна в основном акватории моря Лаптевых. Скорость криогенных процессов на этой территории представляется недостаточно оцененной. Наибольшую опасность здесь представляют термокарстовые процессы. Их средняя скорость (0,5–2 м/год) может быть оценена исходя из размеров наиболее крупных из них (5–20 км) и периода голоценового потепления (10 тыс. лет), наступившего после сарганского оледенения. В действительности современные скорости термокарста могут быть значительно выше в силу положительных обратных связей температур приземного слоя воздуха и процесса термокарста. В частности, скорость современных термоабразионных процессов достигает в отдельные годы первых десятков метров. Требуется дальнейшего уточнения и фактор эндогенной динамики рельефа. Некоторые наблюдения указывают на обусловленность эндогенных движений поверхности в зависимости от изменений климата. В частности, побережье моря Лаптевых, по данным повторных геодезических измерений, испытывает современные положительные движения [Бочаров и др., 1982], связанные с гляциоизостатическим поднятием. С учетом этих явлений оценка сложности инженерных условий на Приморской низменности может быть увеличена.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 17-05-41079.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, No 17-05-41079.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров Г.В., Гусев Г.С., Евсикова Л.В., Спектор В.Б. Карта современных вертикальных движений территорий Якутской АССР // Геотектоника. 1982. № 3. С. 60–64.
2. Гидрогеологическая карта СССР. Масштаб 1 : 2 500 000 / Ред. Д.И. Жив. М.: ГУГК, 1969. 16 л.

3. Гидрогеологическая карта Якутской АССР. Масштаб 1 : 2 500 000 / Ред. А.И. Ефимов, И.К. Зайцев. Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, Изд-во Якутского гос. ун-та, 1967. 4 л.
4. Инженерная геология СССР. Т. 4. Дальний Восток. М.: МГУ, 1977. 502 с.
5. Карта мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири. Масштаб 1 : 2 500 000 / Ред. П.И. Мельников. Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1980. 4 л.
6. Карта надмерзлотных вод Республики Саха (Якутия). Масштаб 1 : 2 500 000 / Ред. П.И. Мельников. Якутск: Аэрогеодез. предпр., 1993. 6 л.
7. Основы геокриологии. Ч. 5: Инженерная геокриология / Ред. Э.Д. Ершов. М.: МГУ, 1999. 526 с.
8. *Оспенников Е.Н., Труш Н.И., Чижов А.Б., Чижова Н.И.* Экзогенные геологические процессы и явления (Южная Якутия). М.: МГУ, 1980. 227 с.
9. *Парфенов Л.М., Прокопьев А.В., Спектор В.Б.* Геодинамическая природа горных хребтов Восточной Якутии и их связь с раскрытием Евразийского бассейна // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 4. С. 708–725.
10. *Попов И.В.* Инженерная геология СССР. Ч. I. М.: МГУ, 1961. 178 с.
11. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: «МАИК» Наука / Интерпериодика, 2001. 571 с.
12. *Трофимов В.Т.* Основные законы инженерной геологии и ее научных направлений // Теоретические проблемы инженерной геологии: Тр. Междунар. науч. конф. М.: МГУ, 1999. С. 30–34.
13. *Трофимов В.Т.* Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: МГУ, 2002. 348 с.
14. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И.* Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: ГЕОС, 2007. 464 с.
15. *Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. и др.* Грунтоведение / Под ред. В.Т. Трофимова. 6-е изд., перераб. и доп. М.: МГУ, 2005. 1024 с.

REFERENCES

1. *Bocharov G.V., Gusev G.S., Evsikova L.V., Spector V.B.* Map of modern vertical movements of the territories of the Yakut ASSR. *Geotectonica*. 1982. No 3. P. 60–64 (in Russian).
2. Engineering geology of the USSR. V. 4. Far East. Moscow: Izd-vo Mosk. Univ., 1977. 502 (in Russian).
3. Fundamentals of Geocryology. Part 5: Engineering Geocryology / Ed. E.D. Ershov. Moscow: Izd-vo Mosk. University, 1999. 526 p. (in Russian).
4. Hydrogeological map of the USSR. Scale 1 : 2 500 000 / Ed. D.I. Zhiv. Moscow: GUGK, 1969. 16 liters (in Russian).
5. Hydrogeological map of the Yakut ASSR. Scale 1 : 2 500 000 / Ed. A.I. Efimov, I.K. Zaitsev. Yakutsk: Izd-vo Permafrost Institute Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, Yakut State University, 1967. 4 liters (in Russian).
6. Map of the over-frozen waters of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1 : 2 500 000. Ed. P.I. Melnikov. Yakutsk: Aerogeodez. predpr., 1993. 6 liters (in Russian).
7. Map of the permafrost-hydrogeological zoning of Eastern Siberia. Scale 1 : 2 500 000 / Ed. P.I. Melnikov. Yakutsk: Izd-vo Permafrost Institute Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1980. 4 liters (in Russian).
8. *Ospennikov E.N., Trush N.I., Chizhov A.B., Chizhova N.I.* Exogenous geological processes and phenomena (South Yakutia). Moscow: Izd-vo Mosc. University, 1980. 227 p. (in Russian).

9. *Parfenov L.M., Prokopiev A.V., Spector V.B.* Geodynamic nature of the mountain ranges of Eastern Yakutia and their relationship with the disclosure of the Eurasian basin. *Geology and Geophysics*. 2001. V. 42, No 4. P. 708–725 (in Russian).
10. *Popov I.V.* Engineering geology of the USSR. Part I. Moscow.: Izd-vo Mosk. University, 1961. 178 p. (in Russian).
11. Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). Moscow: MAIK Science / Interperiodica, 2001. 571 p. (in Russian).
12. *Trofimov V.T.* Basic laws of engineering geology and its scientific directions. *Theoretical Problems of Engineering Geology*. Tr. Int. scientific. Conf. Moscow: Izd-vo Mosk. University, 1999. P. 30–34 (in Russian).
13. *Trofimov V.T.* Zoning of engineering-geological conditions of the continents of the Earth. Moscow: Izd-vo Mosk. University, 2002. 348 p. (in Russian).
14. *Trofimov V.T., Averkina T.I.* Theoretical bases of regional engineering geology. Moscow: GEOS, 2007. 464 p. (in Russian).
15. *Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesensky E.A. et al.* Ground science / Ed. V.T. Trofimov. 6th ed., Pererabot. and additional. Moscow: Izd-vo Mosk. Univ., 2005. 1024 p. (in Russian).